Załącznik nr 1/1
do Zarządzenia Rektora PG nr 5/2015 z 10 lutego 2015 r.

POLITECHNIKA GDAŃSKA

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI

Imię i nazwisko autora rozprawy: Czubenko Michał
Dyscyplina naukowa: automatyka i robotyka

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: Antropoidalny Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego dla Jednostek Autonomicznych

Tytuł rozprawy w języku angielskim: Anthropoidal Model of Intelligent System of Decision-making for Autonomous Units

Promotor *podpis*	
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczuk	

Gdańsk, rok 2017

Politechnika Gdańska

Wydział Elektroniki
Telekomunikacji i Informatyki

Katedra Systemów Decyzyjnych i Robotyki

Czubenko Michał

Antropoidalny Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego dla Jednostek Autonomicznych

Rozprawa Doktorska

Promotor:
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczuk
Wydział Elektroniki Telekomunikacji
i Informatyki
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 1 czerwca 2017

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

pamięci Taty

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Podziękowanie:

Wielce serdecznie dziękuję Profesorowi Zdzisławowi Kowalczukowi, który poświęcił olbrzymią ilość czasu, za opiekę nad przebiegiem pracy, cenne wskazówki, serdeczną atmosferę i umiejętność stawiania wymagań, które doprowadziły do powstania tej pracy.

Dziękuję wszystkim, którzy się przyczynili do powstania niniejszej pracy, w szczególności Tomaszowi Mercie, za niekończące się dyskusje filozoficzne w przyjaznej atmosferze, Mariuszowi Domżalskiemu, za konsultacje matematyczne, Piotrowi Dalce za szlif (zwłaszcza interpunkcyjny) oraz Marii Sienkiewicz za emocjonalne podejście do jachtów.

W szczególności zaś dziękuję Rodzicom, którzy wspierali mnie na całej drodze edukacji oraz uczynili mnie tym kim jestem.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Spis treści

1 Wprowadzenie **1**
1.1 Tło pracy . . . 1
1.2 Motywacja . . . 3
1.3 Cel pracy . . . 3
1.4 Krótkie omówienie rozdziałów . . . 4

2 Przegląd i synteza wiedzy z zakresu psychologii **7**
2.0.1 Krótkie wprowadzenie do psychologii poznawczej . . . 7
2.0.2 Teorie motywacji . . . 7
2.0.3 Osobowość i jej modele . . . 8
2.1 Psychologia kognitywna . . . 9
2.1.1 Percepcja – system przetwarzania informacji . . . 11
2.1.2 Uwaga oraz mechanizmy selekcji i zarządzania pamięcią . . . 15
2.1.3 Pamięć – organizacja . . . 24
2.1.4 Pamięć – procesy . . . 33
2.1.5 Myślenie i rozumowanie . . . 36
2.2 Motywacja do działania . . . 39
2.2.1 Motywacja ewolucyjna . . . 40
2.2.2 Motywacja psychodynamiczna . . . 40
2.2.3 Behawiorystyczne podejście do motywacji . . . 40
2.2.4 Teorie potrzeb . . . 41
2.2.5 Teoria pragnień . . . 42
2.3 Emocje . . . 44
2.3.1 Powstawanie emocji . . . 46
2.3.2 Modele psychologiczne emocji . . . 49
2.3.3 Parametryzacja emocji . . . 51
2.4 Podsumowanie . . . 52

3 Przegląd rozwiązań naśladujących człowieka **55**
3.1 Roboty antropoidalne . . . 55
3.1.1 Przegląd robotów humanoidalnych . . . 57
3.1.2 Wymagania robota humanoidalnego . . . 62
3.2 Obliczeniowe systemy emocji . . . 63
3.2.1 Przegląd wybranych systemów . . . 64
3.2.2 Porównanie wybranych systemów . . . 71
3.3 Komputerowe systemy decyzyjne . . . 72
3.3.1 Ucieleśniona Inteligencja . . . 73
3.3.2 Przegląd zaawansowanych systemów decyzyjnych . . . 75
3.3.3 Porównanie architektur kognitywnych . . . 79

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3.4 Problem autonomicznego kierowcy . . . 81
3.4.1 Projekty naukowe . . . 82
3.4.2 Projekty komercyjne . . . 86
3.5 Podsumowanie . . . 88

4 Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego 89
4.1 Model percepcji . . . 89
4.1.1 Mechanizmy detekcji sensorycznej . . . 91
4.1.2 Wrażenia . . . 98
4.1.3 Spostrzeżenia . . . 112
4.1.4 Ścieżka informacji . . . 121
4.2 Model pamięci . . . 122
4.2.1 Pamięć sensoryczna . . . 124
4.2.2 Pamięć krótkotrwała . . . 124
4.2.3 Pamięć sceny . . . 126
4.2.4 Pamięć wyobraźni . . . 127
4.2.5 Pamięć długotrwała . . . 127
4.3 Aspekty uwagi . . . 134
4.3.1 Selekcja i mechanizmy z nią związane . . . 134
4.3.2 Przeszukiwanie środowiska agenta . . . 136
4.3.3 Stopień uwagi . . . 136
4.3.4 Sterowanie aktuatorami . . . 137
4.3.5 Dostęp do pamięci . . . 137
4.3.6 Nadzorowanie wykonywanych reakcji . . . 137
4.4 Mechanizmy motywacyjne agenta ISD . . . 138
4.4.1 Model potrzeb . . . 138
4.4.2 System emocjonalny xEmotion . . . 141
4.5 Myślenie w ISD . . . 154
4.5.1 Mechanizmy realistyczne . . . 154
4.5.2 Mechanizmy autystyczne . . . 172
4.6 Podsumowanie . . . 173

5 Studium badań symulacyjnych 175
5.0.1 Inne projekty skojarzone z ISD . . . 175
5.1 qFix . . . 176
5.1.1 Implementacja modułu decyzyjnego na robocie mobilnym . . . 178
5.2 xDriver . . . 179
5.2.1 Model drogi i jej otoczenia . . . 180
5.2.2 Model samochodu . . . 182
5.2.3 Symulacja systemu potrzeb . . . 183
5.2.4 Symulacja emocji w xDriverze . . . 188
5.3 xEmotion – symulacja . . . 191
5.4 Podsumowanie . . . 194

6 Zakończenie 197
6.1 Architektury poznawcze, a ISD . . . 197
6.2 Kierunki rozwoju ISD . . . 198
6.3 Podsumowanie . . . 198

Spis rysunków 201

Spis tablic 205

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń **207**

Bibliografia **211**

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

1

Wprowadzenie

W obecnej chwili istnieje wiele projektów próbujących stworzyć sztuczne życie, sztuczną inteligencję (w dosłownym znaczeniu[1]), czy robota działającego na podobieństwo człowieka. Można do nich zaliczyć zarówno projekty mające na celu tworzenie sztucznych kończyn, 'inteligentnego' sprzętu domowego, implantów wojskowych, jak i chatter-boty[2] internetowe, czy roboty będące towarzyszami człowieka (pozwalające na interakcję).

1.1 Tło pracy

Od dłuższego czasu obserwuje się postępującą automatyzację. Coraz więcej urządzeń, posiada wbudowane komputery, podejmujące częściowe decyzje. Robotyka weszła do szkół, gdzie dzieci na podstawie współpracy z robotami uczą się języków oraz rozwiązują zadania. Najprawdopodobniej dzięki niektórym robotom, zawody takie jak strażak czy żołnierz wkrótce zmienią całkowicie swój profil (Breland *et al.*, 2012). Roboty wykorzystywane są również w medycynie, wśród nich wymienić można: ultra-dokładne roboty chirurgiczne (operujące z dużo większą precyzją niż człowiek), roboty pomagające w rehabilitacji, bądź zajmujące się ludźmi starszymi, dziećmi, osobami niepełnosprawnymi, itp. (Boucenna *et al.*, 2014; Shamsuddin *et al.*, 2012; Broadbent *et al.*, 2009). Postęp ten zachodzi wraz ze zwiększającą się autonomią robotów (Saunders, 2012; Magill i Erden, 2012). Coraz dynamiczniej rozwijane są projekty autonomicznych samochodów. Coraz częściej również używa się autonomicznych samolotów bezzałogowych, które same podejmują decyzję dotyczącą ich ruchu (Deutsch *et al.*, 2011).

Jednym z ciekawych przykładów ostatnich lat jest SyNAPSE[3] (ang. *Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics*). Program ten realizowany na zlecenie DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) z udziałem HRL (Hughes Research Laboratories), HP (Hewlett-Packard) i IBM (International Business Machines Corporation), miał na celu stworzenie systemu (na poziomie kognitywnego komputera) naśladującego działanie mózgu ssaka. W ramach projektu, został zaprojektowany i wykonany mikrokomputer, w technologii 24 nm, posiadający 5.4 miliardów tranzystorów, które obsługują milion neuronów z 256 milionami połączeń synaptycznych. Komputer działa na zasadzie uczenia neuronów (reguła Hebba), w sposób analogiczny do biologicznego (Srinivasa i Cruz-Albrecht, 2012).

Innym projektem IBM'a, zwanym Blue Brain, jest sieć neuronowa obrazująca korę mózgową kota. Symuluje ona około 10 miliardów synaps (Markram, 2006), działając na

[1] Inteligencja podobna do ludzkiej, którą wykazuje system komputerowy.
[2] Program komputerowy symulujący język naturalny człowieka. Zazwyczaj zadaniem chatbota jest takie prowadzenie rozmowy, aby użytkownik (rozmówca) miał wrażenie, że rozmawia z żywym, inteligentnym człowiekiem (tzw. test Turinga).
[3] Projekt został zakończony w 2014 roku.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

147 tysiącach procesorów i 144 TB pamięci. Wcześniej w ramach tego samego projektu udało się zasymulować działanie mózgu szczura, a następnie, w sposób bardzo dokładny jego korę somatosensoryczną (Muralidhar *et al.*, 2013; Ramaswamy *et al.*, 2015). Aktualnie trwają prace nad poprawą szybkości działania modelu, gdyż cały program działa około 100 razy wolniej niż rzeczywisty mózg (Lytton *et al.*, 2016).

Spoglądając dalej, z punku widzenia szczegółowości, można wyróżnić aspekt *iudicium corpum* (*łac. decyzja ciała*), który skupia się na problemie sterowania manipulatorami za pomocą ciała człowieka (haptycznie). Typowym przykładem takiego podejścia jest sztuczna ręka sterowana poprzez sygnały miotyczne (EMG) klatki piersiowej (Farina *et al.*, 2014; Ge *et al.*, 2013), lub przedramienia (Drzewiecki i Kowalczuk, 2007). Rozbudowany haptyczny system zdalnego sterowania przemysłowym robotem mobilnym przedstawiono w (Kowalczuk i Tatara, 2017). Do tego typu projektów można również zaliczyć poruszanie kursorem myszy tylko za pomocą ruchów gałek ocznych – system CyberEye (Czyżewski *et al.*, 2014). Systemy takie pozwalają już na realizację idei budowy sprzętu odgadującego, co człowiek ma na myśli.

Innym przykładem tej idei może być komunikacja werbalna na poziomie przechodzącym przez test Turinga (Turing, 1950). Inaczej mówiąc: maszyna umiejąca wyciągnąć ze zdania wpisanego w języku naturalnym informacje dotyczące zadania jakie, ma wykonać. Wiadomo oczywiście, że nie istnieje jeszcze program, który jest w stanie w pełni przejść test Turinga, choć w zależności od ścisłości definicji testu, niektóre chatterboty (Cleverbot, Eugene Goostman) są już tak klasyfikowane jako takie (Warwick i Shah, 2014). Zanotowany został postęp w tej dziedzinie. Ostatnimi czasy Microsoft zaprezentował chatterbota Tay, który na Twitterze naśladował amerykańską nastolatkę. Program ten bardzo szybko i skutecznie się uczył, w szczególności treści nieprzyzwoitych, rasistowskich i obraźliwych, którymi użytkownicy Twittera go *karmili*. Z tego to powodu projekt został zamknięty (Hunt, 2016).

Ostatnim aspektem przywodzącym na myśl teorie cybernetyczne (podpatrywanie z natury) jest memrystor. Po wielu badaniach naukowcom z CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) udało się stworzyć memrystor, czyli sztuczną synapsę działającą w sposób niemal identyczny jak u człowieka (Boyn *et al.*, 2017). Memrystor posiada zdolność regulowania rezystancji za pomocą impulsów napięcia, dzięki czemu może odwzorowywać sposób uczenia się człowieka.

Wyższym stadium jest stworzenie interaktywnego towarzysza człowieka. Dawno temu podjęto próby stworzenia sztucznego psa, kota, czy innych zrobotyzowanych zwierząt domowych (Kahn, Jr. *et al.*, 2006). Jednym ze słynniejszych przykładów jest Aibo firmy Sony. Pomimo zaprzestania produkcji, oraz wsparcia (w 2014 roku), społeczność posiadaczy Aibo nadal istnieje (szeroko też protestowała przeciwko *uśmierceniu* ich pupili).

Interaktywny towarzysz, sztuczna opiekunka, czy robot-policjant również są aktualnie dostępne na rynku, oraz tworzone w projektach naukowych (De Graaf *et al.*, 2015; Sefidgar *et al.*, 2016). Jest to tak zwany aspekt socjalny robotyki. Jakkolwiek tego rodzaju projekty są bardzo zaawansowane pod względem konstrukcji, czy sposobów sterowania (potrafią np. chodzić na dwóch nogach, otwierać drzwi, czy używać prostych narzędzi), to pod względem zachowania bardzo łatwo rozpoznać sztuczność. Dodatkowo, tego typu projekty, w większości, nie uwzględniają podejmowania decyzji w sposób *człowieczy*. Ich systemy decyzyjne oparte są w większości na systemach eksperckich, rozmytych, a nawet na prostych zachowaniach regułowych (Milighetti i Kuntze, 2007; Arkin, 1998; Fakoor *et al.*, 2016). Ostatnimi czasy, stają się bardziej popularne systemy emocjonalne oraz architektury kognitywne (Kirtay *et al.*, 2016; Seepanomwan *et al.*, 2015).

We wszystkich wyżej wymienionych projektach, główną istotą jest próba naśladowania rzeczywistego organizmu. Aby cel ten osiągnąć, należy dążyć nie tylko do naśladownictwa mechaniki (w szczególności neurologicznej), ale także psychiki. Warto zauważyć, iż

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

istnieje już nauka ścisła próbująca naśladować ludzkie sposoby rozwiązywania problemów – jest nią teoria decyzji. Tym nie mniej ciekawym i interesującym podejściem jest metoda matematycznego modelowania psychologii kognitywnej, wraz z uwzględnieniem pewnych elementów psychologii osobowości.

1.2 Motywacja

Głównym powodem opracowywania systemu, przedstawionego w niniejszej pracy, jest niewielkie zainteresowanie podejściem odgórnym (top-down) do problemu sztucznej inteligencji, a w szczególności do naśladowania człowieka. Istnieją pojedyncze systemy, które częściowo modelują psychologię człowieka (tzw. architektury kognitywne szerzej opisane w sekcji 3.3.2). Jednakże, przeprowadzone do tej pory poszukiwania systemu, który w sposób spójny modeluje psychologię człowieka w celu sterowania autonomicznym robotem, nie przyniosły właściwego rezultatu.

Oczywiście istnieje wiele różnych systemów uwzględniających pojedyncze teorie psychologiczne, jak np. obliczeniowe systemy emocji. Istnieją również systemy oparte na robotyce zachowawczej (ang. *behavor-based robotics*), które skupiają się na prostych modelach użytych w skomplikowanych sytuacjach. Można również wspomnieć o systemach opartych na potrzebach, czy w ogólności na systemach modelujących motywację człowieka.

Z drugiej strony można wskazać wiele teorii dotyczących systemów pamięci (opartych na psychologii), takich jak ramki Minsky'ego, sieci semantyczne, czy (bardziej abstrakcyjny) model 4+1 Bullera (1998). Oprócz teorii pamięciowych dysponujemy szerokim spektrum różnorodnych algorytmów przetwarzających dane sensoryczne, w dużej części opartych na wiedzy z zakresu neuropsychologii. Analogicznie jest w przypadku podejmowania decyzji, zwłaszcza w kontekście systemów autonomicznych. Można pokusić się o stwierdzenie, że nadmiar tego typu systemów modelujących jeden aspekt psychologii nie koniecznie jest zjawiskiem pożądanym. Można przez to przeoczyć kluczowe aspekty modelowania, oraz zgubić się gąszczu rozwiązań bardzo podobnych do siebie.

Projektując system autonomiczny rzadko kiedy sięga się do osiągnięć psychologii poznawczej. Z drugiej strony, psycholodzy również nie starają się dowodzić swoich tez za pomocą implementacji w sztucznym środowisku. Zasadniczą motywacją do niniejszej pracy, jest próba pogodzenia podejść robotycko-informatycznych i psychologicznych, w celu uzyskania systemu autonomicznego jak najbardziej zbliżonego sposobem działania do człowieka. Obie dziedziny nauki mogą na takiej próbie skorzystać, bowiem z jednej strony można dowieść teorii psychologicznych, a z drugiej – uzyskać lepsze rezultaty w systemach autonomicznych.

Tego typu podejście stara się pogodzić paradygmat cybernetyczny (naśladowanie natury), symboliczny z paradygmatem ucieleśnionej inteligencji (ang. *embodied intelligence*), mówiącym o złożeniu pojedynczych algorytmów w celu budowy skomplikowanego systemu (szerzej opisanym w sekcji 3.3). Dzięki temu można uzyskać spójny matematyczny opis system poznawczo-motywacyjnego człowieka wykorzystany w celu sterowania agentem wirtualnym bądź robotem.

1.3 Cel pracy

Podstawowym celem pracy jest opracowanie modelu procesów psychologicznych – od momentu otrzymania bodźca do momentu podjęcia adekwatnej reakcji – zachodzących w mózgu człowieka. Model ten nazwany **Inteligentnym Systemem Decyzyjnym** (ISD), dokładnie opisany w rozdziale 4, może mieć zastosowanie w systemie sterowania jednostką autonomiczną (agentem). Dziedziną odpowiedzialną za procesy przetwarzania informacji u człowieka jest psychologia poznawcza. Jednakże w kwestii podejmowania odpowiedniej reakcji, nie można pominąć teorii motywacji, którą zajmują się różne gałęzie psychologii, takie jak psychologia humanistyczna, ewolucyjna i inne.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Koncepcje klasycznych systemów decyzyjnych koncentrują się głównie na problemie wyszukiwania odpowiedniego rozwiązania, mając dokładnie sformułowany problem. W przypadku gdy nie ma takiej jasności lub gdy problem jest zbyt abstrakcyjny, tego rodzaju systemy decyzyjne przestają być skuteczne. Analogiczna sytuacja zachodzi, gdy rozwiązywany problem ulega zmianie (np. w wyniku oddziaływania środowiska). W niniejszej rozprawie rozważa się budowę systemu składającego się z kilku równoległych procesów współdziałających ze sobą. Poczynając od postrzegania, poprzez zaawansowane spostrzeganie, uwagę, procesy pamięciowe, a kończąc na myśleniu. Procesy te powinny ze sobą doskonale współgrać, tak aby po pojawieniu się nowej informacji na wejściu systemu, szybko można było wygenerować reakcję.

Głównym problemem poruszanym w pracy jest budowa spójnego modelu ogólnego psychologii poznawczej oraz modeli poszczególnych procesów. Implementacja takiego modelu może posłużyć jako kontroler dla jednostek autonomicznych, robotów i wirtualnych agentów. Stąd też można sformułować tezę główną niniejszej dysertacji jak następuje:

Model procesów psychologicznych człowieka może być podstawą inteligentnego systemu decyzyjnego jednostek autonomicznych.

W celu jej udowodnienia zostanie nakreślony zarys teorii psychologicznych, na podstawie których zostanie przedstawiony spójny model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego. Zaprezentowany system jest pierwszą próbą stworzenia kompleksowego modelu psychologii człowieka. Pomimo, że jest on przedstawiony teoretycznie, wnosi dużo nowych informacji do dziedziny sztucznej inteligencji oraz jednocześnie weryfikuje niektóre teorie psychologiczne. System ISD, oparty na przedstawionym modelu, zostanie częściowo zaimplementowany, aby dowieść jego przydatności w autonomicznych systemach sterowania.

Tezy pomocnicze niniejszej dysertacji dają wgląd na zastosowaną metodologię:

Psychologia poznawcza dostarcza dostatecznej wiedzy na temat przetwarzania informacji, która może być użyteczna przy konstrukcji matematycznego modelu inteligentnego systemu decyzyjnego.

Antropoidalny system motywacji stanowi użyteczny pierwowzór adaptacyjnego procesu w inteligentnym systemie decyzyjnym.

Psychologia poznawcza mówi o wszystkich procesach psychologicznych zachodzących od odebrania bodźca do wykonania reakcji. Przenosząc tę wiedzę można stworzyć model matematyczny służący do przetwarzania informacji w systemie decyzyjnym. Ponieważ system motywacyjny człowieka pozwolił mu przetrwać i rozwinąć się do dominującego gatunku na kuli ziemskiej, jego model matematyczny może stanowić użyteczny pierwowzór dla jednostek autonomicznych. Integracja obu modeli jest głównym celem analizy i syntezy dokonanej w niniejszej pracy.

1.4 Krótkie omówienie rozdziałów

Praca została podzielona na sześć rozdziałów. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do całości zagadnień poruszanych w pracy, przedstawia tezy dysertacji, jej motywację, oraz cele.

Rozdział następny obejmuje przegląd wiedzy z zakresu psychologii poznawczej oraz różnorakich teorii motywacji. W części dotyczącej psychologi poznawczej wyróżnia się poszczególne procesy kognitywne, takie jak percepcja, uwaga, pamięć z punktu widzenia jej organizacji i osobno – jako procesy pamięciowe, oraz myślenie. Z kolei dalsza część tego rozdziału traktuje o teoriach motywacji opartych na potrzebach, pragnieniach i innych nieemocjonalnych aspektach (teorie: ewolucyjna, psychodynamiczna, behawiorystyczna,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

potrzeb i pragnień). Ostatnią, istotną częścią rozdziału 2, jest opis teorii emocjonalnych, sposobów powstawania emocji, rozmaitych modeli, oraz parametryzacji emocji.

Rozdział 3 przedstawia stan wiedzy (ang. *state of the art*) w szeroko pojętym kontekście antropogenicznych systemów i robotów. Rozdział ten podzielony jest na cztery sekcje. Pierwsza dotyczy przeglądu znanych (czasem niedostępnych na rynku) robotów humanoidalnych. Należy zauważyć, iż branża robotyki humanoidalnej dynamicznie się rozwija, stąd też informacji w nim zawarte mogą się różnić od aktualnego stanu wiedzy. Po przeglądzie i zdefiniowaniu wymagań robota humanoidalnego dedykowanego dla Inteligentnego Systemu Decyzyjnego następuje przegląd obliczeniowych systemów emocji, jako że jednym z głównych podsystemów motywacyjnych ISD jest system xEmotion (stworzony w ramach niniejszej pracy) modelujący emocje człowieka. Następnie opisane są pokrótce systemy decyzyjne ze szczególnym uwzględnieniem architektur kognitywnych. Można zaobserwować (jak opisano w dalszych rozdziałach) podobieństwo pomiędzy nimi, psychologią poznawczą, a ISD. Na zakończenie rozdziału zostały opisane systemy dotyczące problemu autonomicznego kierowania samochodem na autostradzie (większość symulacji przedstawionych w rozdziale 5 odnosi się do systemu xDriver – autonomicznego kierowcy, zbudowanego w oparciu o ISD).

Rozdział 4 zatytułowany „Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego" ma na celu przybliżenie szczegółów systemu ISD. Rozdział ten ma strukturę bardzo podobną do rozdziału 2, jednakże ze zmianami, niezbędnymi ze względu na czytelność – po opisie mechanizmów percepcji agenta została opisana jego pamięć. Następnie rozdział daje wgląd na mechanizmy uwagi, dwa równoległe systemy motywacyjne, oparte kolejno na potrzebach oraz emocjach, oraz na mechanizmy związane z myśleniem. Rozdział ten stanowi kwintesencję niniejszej pracy. Przedstawia całkowity i koherentny model psychologii poznawczej i teorii motywacji.

Rozdział 5 prezentuje studium symulacji przeprowadzonych z użyciem ISD. Pierwszą z nich jest symulacja systemu potrzeb na robocie mobilnym qFix. Następnie przechodzimy do symulacji związanych z użyciem ISD jako autonomicznego kierowcy. Początkowo symulacja odnosi się bezpośrednio do doboru reakcji, następnie do systemu pamięciowego oraz dalej do systemu emocjonalnego (użytego w kontekście systemu harmonogramowania wzmocnienia z teorii sterowania adaptacyjnego). Na koniec rozdziału zaprezentowano pełniejszą symulację systemu emocjonalnego z przykładami dotyczącymi elementów postrzeganych przez agenta na jachcie.

Rozdział ostatni podsumowuje przedstawione aspekty oraz wskazuje dalsze kierunki prac. W szczególności przedstawia krótkie porównanie ISD z innymi architekturami kognitywnymi omówionymi w rozdziale 3. Opis jest krótki ze względu na brak możliwości implementacji wszystkich systemów w jednym, wspólnym środowisku. Rozdział ten odnosi się też bezpośrednio do przedstawionych we wprowadzeniu tez.

Po podsumowaniu Czytelnik znajdzie wykaz wszystkich oznaczeń i skrótów użytych w niniejszej pracy, spis tablic i rysunków oraz bibliografię.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2

Przegląd i synteza wiedzy z zakresu psychologii

Psychologia jest dyscypliną naukową zajmującą się mechanizmami związanymi z ludzkim zachowaniem. Ze względu na rozległe pole badań, można wyróżnić kilka podstawowych gałęzi psychologii: stosowana, behawioralna, poznawcza, językowa, neuropsychologię, organizacyjna, sensoryczna, socjalna, również psychologię osobowości i gestalt.

Model oparty na 'kompletnej' psychologii człowieka byłby zbyt skomplikowany i niezrozumiały. A biorąc pod uwagę fakt, iż dość często teorie psychologiczne się wykluczają, wręcz bezużyteczny. Dlatego położona nacisk na dwóch dziedzinach psychologii: teorii motywacji oraz psychologii poznawczej.

2.0.1. Krótkie wprowadzenie do psychologii poznawczej

Psychologia poznawcza zajmuje się problematyką przetwarzania informacji i wszelkiego rodzaju związkami pomiędzy bodźcami, a reakcją. Dąży ona do odkrycia mechanizmów umysłu związanych z myśleniem, a nawet ze snem. Pozawala na sformułowanie jasnych struktur wiedzy, oraz na budowę koherentnego modelu procesów przetwarzania informacji (Nęcka *et al.*, 2008).

Struktury i modele procesów poznawczych są istotne z punktu widzenia projektowania systemów autonomicznych, a zwłaszcza dedykowanych pod rozwiązania mobilne. Podpowiadają one, jakich mechanizmów należy użyć w pewnych sytuacjach, np. spójne określenie, które elementy otocznia są najistotniejsze, oraz w jaki sposób należy przetwarzać bodźce (dane z sensorów), aby otrzymać adekwatną reakcję.

Procesy poznawcze są procesami obejmującymi różnorakie czynności i akty poznawcze, prowadzące do zdobywania wiedzy o rzeczywistości. Ukazują one drogę od bodźca do reakcji, oraz sposób postrzegania świata przez człowieka. Równolegle z teorią motywacji (potrzebami i emocjami) stanowią one dobrą podstawę do zbudowania koherentnego systemu autonomicznego. Sam pomysł, aby modelować procesy poznawcze nie jest nowy. Znane są modele blokowe procesów poznawczych (Atkinson i Shiffrin, 1971), koncepcja poziomów przetwarzania informacji (Craik i Lockhart, 1972), koncepcja umysłu jako systemu modułowego (Fodor, 1983; Gigerenzer i Todd, 1999; Buss, 2008), oraz najbardziej popularne sieciowe modele, czyli sztuczne sieci neuronowe (Tadeusiewicz, 1993).

2.0.2. Teorie motywacji

Posiadając model przetwarzania i przechowywania informacji, najważniejszym zadaniem projektowym jest postawienie celu działania agenta/robota. Celami człowieka, tj. jego motywacją do działania, zajmuje się teoria motywacji. Motywacja jest głównym elementem napędzającym człowieka, skłaniającym go do jakichkolwiek działań. Proces motywacyjny pozwala na ukierunkowanie wysiłku, w stronę celu (wybór adekwatnej reakcji),

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

oraz zmianę selektywności uwagi ze względu na konkretny cel. Motywację można podzielić na zewnętrzną (wzbudzanie potrzeb ze względu na globalne kary/nagrody, motywacje prawne, społeczne itp.) i wewnętrzną (samo-motywowanie, zaspokajanie własnych potrzeb, ciekawość).

Istnieje wiele psychologicznych modeli motywacji (Petri i Govern, 2012). Wśród nich należy przede wszystkim wymienić teorię dążeń/pragnień sformułowaną przez Freuda (1957) – dualne, przeciwstawne pragnienia, oraz jej rozwinięcia: regularną teorię (8 par) pragnień (Szondi, 1947) i teorię redukcji pragnień (Hull, 1943) – dodanie sprzężenia zwrotnego, podział na podstawowe i zaawansowane pragnienia. Kolejnymi teoriami są: teoria instynktów, odnosząca do emocji (James, 1918) oraz teoria pobudzeń (Cherry, 2014). Jednym z bardziej popularnych (i wciąż aktualnych) elementów teorii motywacji jest jednak piramida potrzeb Maslowa (1943).

Aktualnie jest prowadzonych wiele badań naukowych dotyczących systemów modelujących elementy teorii motywacji. Skupiają się one na modelowaniu zachowania człowieka grającego w gry komputerowe (Przybylski *et al.*, 2010) lub modelowaniu zachowania robotów/agentów (Matsumoto *et al.*, 2011; Miwa *et al.*, 2003; Yen i Volz, 2003; Herve i Sorin, 2009; Chen *et al.*, 2001), lub innych (Novak, 2014; Gunnell *et al.*, 2014).

Elementem motywacyjnym, który warto uwzględnić, są emocje. Upraszczają one proces podejmowania decyzji, tak aby jednostka (człowiek, zwierzę, agent, robot) mogła podjąć decyzję prawie natychmiast kierując się konkretnymi emocjami. Pierwotnie emocje służyły do ucieczki przed drapieżnikiem oraz do komunikacji niewerbalnej. W przypadku robota, mogą one służyć w tych celach.

Prace naukowe dotyczące modeli obliczeniowych emocji są coraz bardziej popularne. Wśród nich można zwrócić szczególną uwagę na FLAME, system rozmyty (El-Nasr *et al.*, 2000), który na podstawie zaobserwowanych zdarzeń/obiektów jest w stanie wygenerować własną emocję i wdrożyć związane z nią zachowanie. Dodatkowo posiada on wbudowane algorytmy uczące zwiększające jego zdolność adaptacyjną. ParleE (Bui *et al.*, 2002) modeluje emocje w środowisku wielo-agentowym, w szczególności dla agentów konwersacyjnych. System implementuje model osobowości Rousseau (Rousseau, 1996) i jest oparty głównie na teorii prawdopodobieństwa. EMA - EMotion and Adaptation (Gratch i Marsella, 2004) stanowi system modelujący zmiany emocji w zależności od historii, aktualnie obserwowanych obiektów/zdarzeń, oraz zleconych zadań. Model ten bierze pod uwagę takie czynniki jak plan, wierzenia, intencje, etc. i oparty jest ściśle na teorii ocennej Lazarusa (1999).

2.0.3. Osobowość i jej modele

Odwzorowując umysł człowieka w celu wyznaczenia zachowania, nie można zapominać o różnicach w osobowości. Rozmaitymi aspektami, różnicami i podobieństwami pomiędzy działaniami poszczególnych jednostek zajmuje się psychologia osobowości. Jednakże dotyczy ona tylko cech trwałych jednostki nadających spójność jej zachowaniu (Engler, 2008). Cechy te dotyczą zarówno zdrowia psychicznego, szybkości zmian emocji, jak i temperamentu jednostki.

Najbardziej istotne teorie osobowości (w szczególności teorie cech) opierają się na podziale temperamentu Hipokratesa, który wierzył, że pewne zachowania (emocje) ludzi spowodowane są przez nadmiar lub brak fluidów (humorów): 'krwi', 'żółci', 'czarnej żółci' i 'flegmy'. Teorię tą rozbudował Galen (1904), który przełożył fluidy na współcześnie uznawane temperamenty: sangwinik, choleryk, melancholik i flegmatyk (Kagan, 1998), pokazane na rys. 2.1.

Wśród teorii cech należy przede wszystkim wspomnieć teorię Allporta (1937), która opiera się na różnych rodzajach cech: centralnych (podstawowe dla danej osobowości), peryferyjnych (wspólnych kulturowo) i kardynalnych (indywidualnych, wyróżniających daną jednostkę). Jedną z bardziej popularnych teorii jest tzw. 'teoria wielkiej piątki' (ang. *big*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rysunek 2.1 Cztery temperamenty wg Galena – Charles Le Brun (1674); prawa autorskie: Charles Le Brun, Wikimedia Commons.

five) opracowana przez Goldberga (1993). Wyróżnia ona pięć cech osobowości: otwartość na doświadczenia, sumienność, ekstrawersje, ugodowość i neurotyzm (Ellis *et al.*, 2008). Jej rozwinięciem jest model HEXACO z ang. *Honesty-Humility, Emotionality, eXtraversion, Agreeableness, Conscientiousness, Openness to Experience* (Ashton i Lee, 2007; Lee i Ashton, 2005).

Wspomniane powyżej modele używane są w analizowaniu osobowości człowieka. Jednakże z punktu widzenia robotyki, modele osobowości są wtórne. Dużo ważniejsze jest modelowanie systemu poznawczego człowieka, oraz motywacji. Osobowość co prawda wpływa zarówno na poznanie, jak i motywację, jednakże nie jest ona niezbędną do modelowania tych aspektów. Dopiero po odpowiedniej implementacji i weryfikacji modeli poznawczych i motywacyjnych, można będzie pokusić się o modelowanie osobowości (choć również w ograniczonym zakresie). Z tych względów psychologia osobowości nie zostanie szerzej omówiona.

2.1 Psychologia kognitywna

Psychologia kognitywna (poznawcza) odwołuje się do postaw filozofii – racjonalizmu i empiryzmu. W szczególności pojęcie reprezentacji umysłowej zostało dosyć wcześnie sformułowane przez Platona (2012). Twierdził on, że wiedza jest reprezentowana w umyśle, analogicznie do wycinka rzeczywistości. Jego metafora reprezentacji umysłowej jako 'pieczęci odciśniętej na wosku' zapoczątkowała nurt filozoficzny zwany realizmem, który funkcjonował aż do XVIII wieku, kiedy to pojawił się konstruktywizm (wywodzący się zarówno z racjonalizmu jak i empiryzmu) taktujący o różnorodności umysłowych reprezentacji abstrakcyjnych pojęć w ramach jednego obiektu (Kant, 1786; Brooks i Brooks, 1999; Dewey, 1910; Bruner, 1973). Filozofia napędzała rozwój psychologii, jako nauki o umyśle, który został oddzielony od ciała (dualizm) przez Kartezjusza (1960). Jednak podstawą do utworzenia psychologii poznawczej jako dyscypliny były zasadnicze odkrycia dotyczące afazji (Eysneck i Keane, 2000).

Psychologia poznawcza na dobre uformowała się około 1967 roku, za sprawą Neissera (1967), jako dziedzina zajmująca się „nabywaniem, strukturalizowaniem, przechowywaniem oraz wykorzystaniem wiedzy" (Maruszewski, 2001). Bezpośrednią przyczynaą do takiego rozwoju stały się odkrycia związane z wrodzonym charakterem mechanizmu nabywania języka (Chomsky, 1967) oraz z pamięcią krótkotrwałą (Miller, 1956). Do powsta-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

nia psychologii poznawczej przyczyniła się także cybernetyka (Wiener, 1948; McCulloch i Pitts, 1943), w szczególności model perceptronu (Rosenblatt, 1958), a także będąca w ciągłym rozwoju sztuczna inteligencja (Simon, 1957; McCarthy *et al.*, 2006).

Psychologia kognitywna uformowała się z trzech nurtów psychologicznych:

- strukturalizmu
- funkcjonalizmu
- asocjacjonizm.

Z jednej strony, **strukturalizm** poszukiwał konfiguracji elementów umysłu poprzez analizowanie doświadczeń dotyczących poszczególnych komponentów, takich jak recepcja, pamięć, uwaga, itp. (Titchener, 1910). Z drugiej strony, **funkcjonalizm**, nie tworzył struktur - tylko odpowiedzi na pytania *co ludzie robią i dlaczego*? w szerokim sensie (James, 1918; Dewey, 1910). **Asocjacjonizm**, z kolei, zajmował się powiązaniami pomiędzy abstrakcyjnymi bytami umysłu, tj. reprezentacjami rzeczywistych obiektów, idei, itp. (Ebbinghaus, 1885).

W ogólności, podejście poznawcze do problemu podejmowania decyzji postuluje, że wiedza będąca przesłanką decyzji nie jest w prosty sposób tworzona przez gromadzenie danych, ale poprzez aktywne ich przetwarzanie. Oznacza to, że struktury procesów poznawczych człowieka są podstawą dla modelowania procesu podejmowania decyzji istot myślących (Lindsay i Norman, 1977). Dodatkowo, postulat psychologii poznawczej mówi o tworzeniu **modelu** świata rzeczywistego przez umysł (Nęcka *et al.*, 2008; Maruszewski, 2001). Ze względu na strukturę neurologiczną umysłu, można wnioskować, iż procesy poznawcze działają niezależnie od siebie (Rumelhart i Mcclelland, 1986; Neisser, 1994).

Procesy poznawcze zajmują się wieloma różnymi mechanizmami i aktywnością umysłową, które prowadzą do nabywania wiedzy dotyczącej rzeczywistości. Można wśród nich wyróżnić dwie kategorie: podstawową i złożoną, wśród których wyróżniamy procesy takie jak (Sternberg *et al.*, 2012; Eysneck i Keane, 2000):

- podstawowe (proste):
  - percepcja
  - uwaga
  - pamięć
- złożone:
  - myślenie
  - rozwiązywanie problemów
  - podejmowanie decyzji
  - wnioskowanie
  - planowanie
  - procesy językowe.

Dodatkowo, wychodząc z cybernetycznego punktu widzenia lub paradygmatu modelowania funkcjonalnego (Ashby, 1960) oraz funkcjonalizmu (Titchener, 1910), wśród percepcji można wydzielić trzy osobne fazy - percepcję sensoryczną, spostrzeganie niskiego poziomu (wrażeniowe) oraz spostrzeganie wysokiego poziomu (obiektowe).

W analogiczny sposób można podzielić uwagę na dowolną (ang. *covert*) i mimowolną (ang. *overt*). Uwagę możemy również podzielić na świadomą i nieświadomą (z punktu widzenia świadomości czynów), intencjonalną i nieintencjonalną oraz odgórną – *top-down* i oddolną *bottom-up* (Wright i Ward, 2008).

Wśród procesów złożonych można również wydzielić wiele innych procesów, jednakże wymienione powyżej zostały przyjęte jako podstawa do dalszych rozważań.

Zaczynając od bodźca pojawiającego się na receptorach, informacja przechodzi przez systemy percepcji (Nęcka *et al.*, 2008), gdzie jest przetwarzana. Równolegle, uwaga kontroluje procesy filtracji pojawiające się przy przejściu przez każdy kolejny etap percepcji. Następnie systemy uwagi analizują informację i jej wpływ na człowieka, w końcu zaś in-

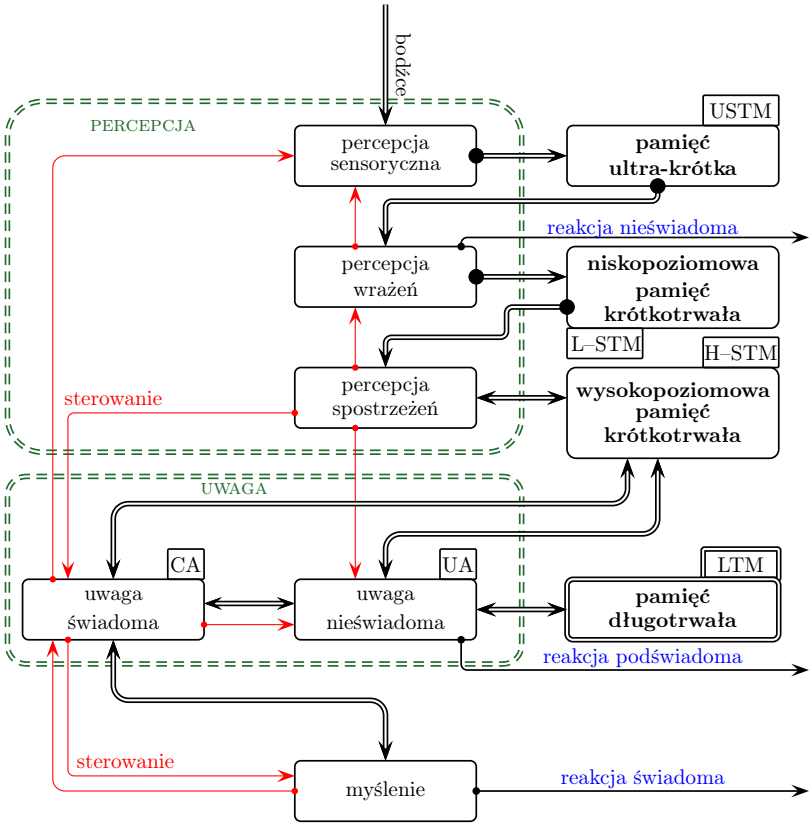
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

formacja jest analizowana poprzez proces myślenia. W odpowiednich miejscach pojawiają się procesy pamięciowe, pozwalające na zapamiętanie – tymczasowe lub długotrwałe – informacji. Biorąc pod uwagę znaną drogę informacji oraz związki pomiędzy poszczególnymi procesami poznawczymi, model procesów poznawczych przedstawiony jest na rys. 2.2.

2.1.1. Percepcja – system przetwarzania informacji

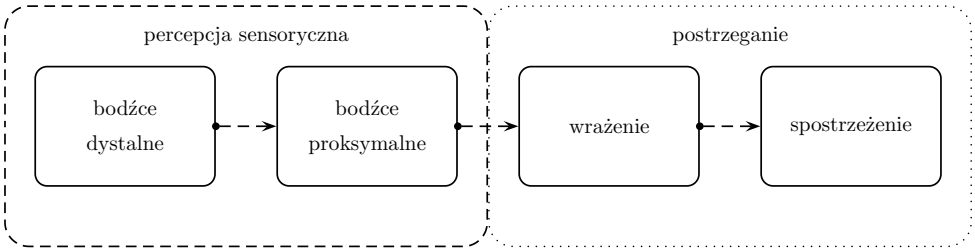
„Percepcja odnosi się do sposobu, w jaki człowiek interpretuje informacje zgromadzone przez zmysły" (Levine, 2000). System percepcji jest dzielony przez psychologów na percepcję sensoryczną oraz spostrzeganie (Maruszewski, 2001). Pierwszy typ jest odpowiedzialny za podstawowe przetwarzanie bodźców, drugi natomiast zajmuje się kodowaniem, rekodowaniem i zaawansowanym przetwarzaniem informacji. Technicznie rzecz ujmując spostrzeganie można podzielić idąc wzdłuż hierarchicznej struktury informacji oraz pamięci. Jako rezultat takie podziału otrzymujemy (Kowalczuk i Czubenko, 2013b) percepcję wrażeń (niskiego poziomu) oraz percepcję spostrzeżeń (wysokiego poziomu). Proces percepcji można przestawić jako sekwencję poszczególnych etapów (rys. 2.3).

Informacja odebrana z receptorów jest kodowana do postaci wrażeń, a następnie rekodowana do postaci spostrzeżeń. **Wrażenie** jest prostą cechą obiektu (kolor, kształt, tekstura, głośność, itp.), wykrytą z pomocą sensorów oraz mechanizmów przetwarzania informacji. Z punktu widzenia neurologicznego, wrażenia są aktywnością ścieżek wschodzących, prowadzących od receptorów do mózgu (Hebb, 1958). Należy zaznaczyć, iż wrażenia nie zawsze samodzielnie odzwierciedlają wykryte cechy, np. wrażenia dotyczące kształtu tworzone są poprzez zsumowanie wyników wykrycia linii i kątów. Oczywiście wrażenia nie muszą odzwierciedlać tylko cech fizycznych, mogą także dotyczyć ładunku emocjonalnego,



Rysunek 2.2 Podstawowy model procesów poznawczych wraz z mechanizmami reakcji (Kowalczuk i Czubenko, 2010a, 2011b).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.3 Spostrzeżenie jako wynik odbioru informacji sensorycznych (Maruszewski, 2001).

wyznaczonego na podstawie wyrobionych wcześniej schematów wartościowania (Ledoux, 1998).

Następnym etapem przetwarzania informacji jest formowanie spostrzeżeń: „Każdy narząd zmysłu (...) wysyła połączenia do wspólnej przestrzeni, nieswoistego systemu projekcji lub pobudzenia, który miesza je i wysyła je do kory mózgu" (Hebb, 1958). Proces ten może być traktowany jako rekodowanie informacji, synteza wrażeń. Łączenie wrażeń do postaci spostrzeżeń jest wynikiem percepcyjnego uczenia się (Maruszewski, 2001) oraz grupowania wrażeń ze względu na lokalizację w rzeczywistym środowisku.

Przedstawione powyżej podejście jest nazywane oddolnym (ang. *bottom-up approach*) (Gibson, 1972). Traktuje ono o pasywnym przetwarzaniu informacji, bez zmian w aktuatorach oraz bez zaangażowania mechanizmów wyszukujących dodatkowych informacji. Upraszczając, podejście bottom-up nie angażuje sprzężeń zwrotnych. Przeciwstawnym podejściem jest podejście odgórne (ang. *top-down approach*), które mówi o dodatkowych procesach angażujących pamięć i uwagę, które umożliwią wyszukiwanie i interpretację danych zmysłowych (Gregory, 1974).

2.1.1.1. Percepcja sensoryczna

Percepcja sensoryczna stanowi pierwszy etap przetwarzania informacji. Odpowiada za odbiór bodźców ze środowiska, odzwierciedlenie ich w receptorach, zapisanie ich w pamięci ultra-krótkotrwałej USTM (ang. *Ultra-short Time/Term Memory*) oraz wykrycie prostych wzorców – wrażeń (np. krawędzi).

Percepcja sensoryczna dzieli się na dwie fazy, związane z bodźcami dystalnymi, rzeczywistymi obiektami z otoczenia, oraz proksymalnymi, informacją bezpośrednio odwzorowującą bodźce dystalne w receptorach (Maruszewski, 2001; Gibson, 1966). Idąc tą drogą również można podzielić zmysły na dalekie i bliskie (Nęcka *et al.*, 2008). Do zmysłów dalekich, odwzorowujących zewnętrzne bodźce, należy: wzrok i słuch[1], podczas gdy do zmysłów bliskich, bezpośrednio odbierających bodźce, można zaliczyć smak, dotyk[2] i węch.

Z neurologicznego punktu widzenia, zostało dowiedzione, że istnieją grupy komórek odpowiedzialnych za wykrywanie pewnych cech. Grupy te zwane są detektorami cech (Lettvin *et al.*, 1959). Detektory różnią się zarówno strukturą, jak i złożonością (Lindsay i Norman, 1977). Są one bezpośrednio powiązane ze zmysłami. Percepcja sensoryczna koduje bodźce dystalne, ich natężenie oraz jakość za pomocą detektorów cech, do postaci ułatwiającej ich dalsze przetwarzanie i identyfikowanie. Detektory cech u człowieka wiążą się przede wszystkim z rozpoznawaniem twarzy oraz jej różnych stanów emocjonalnych (Sergent, 1987; Yin, 1978). Do detektorów odziedziczonych w wyniku ewolucji (dla wizji), należą także detektory ruchu i wielkości (Lettvin *et al.*, 1959). Ciekawym eksperymentem

[1]Do zmysłu słuchu zalicza się także zmysł równowagi i propriocepcji.
[2]Za dotyk w rzeczywistości odpowiadają trzy typy receptorów – czuciowe, nocycepcyjne (czucie bólu) oraz temperaturowe.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

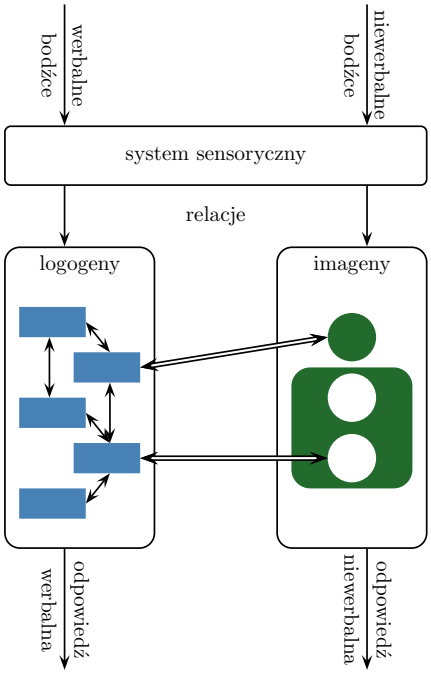
obrazującym detektory cech jest maszyna *Pandemonium* (Selfridge, 1958). Zaimplementowane zostały w niej detektory linii, kątów oraz krzywych otwartych i zamkniętych. Natłok wykrytych cech był jednak zbyt duży – niczym chór demonów (stąd też nazwa projektu).

Oprócz detektorów poszczególnych cech, człowiek posiada mechanizm tworzenia i edytowania schematów poznawczych (Neisser, 1976). Seria badań eksperymentalnych dowiodła, że człowiek posiada zdolność uogólniania wzorców w celu tworzenia prototypów, schematów (Goldman i Homa, 1977). We wspomnianych eksperymentach wykryto, że zdolność uogólniania wzorców człowieka jest podobna do algorytmu k-średnich (prototyp w przypadku rozpoznawania wzorów kropek okazał się średnią arytmetyczną grupy).

Percepcja sensoryczna jest ściśle związana z pamięcią sensoryczną, ultra krótkotrwałą (USTM). Pamięć sensoryczna przechowuje bodźce proksymalne, przed ich przekodowaniem na wrażenia, cechy (Nęcka *et al.*, 2008). Proste dekodery cech, wbudowane w zmysły, pomijają ten etap. Zostało dowiedzione istnienie osobnych magazynów pamięciowych dla przynajmniej dwóch zmysłów: wzroku (Sperling, 1960) i słuchu (Crowder i Morton, 1969). Pamięć ikoniczna (wzrokowa) przechowuje informacje bardzo krótko (około 100 ms), po tym czasie informacje albo są przetwarzane przez zaawansowane detektory cech, albo są nadpisywane przez nowe informacje.

2.1.1.2. Kodowanie informacji. Reprezentacje umysłowe

W psychologii poznawczej istnieje kilka teorii kategoryzujących umysłowe reprezentacje rzeczywistości (Nęcka *et al.*, 2008). Jedną z nich jest teoria Allana Paivio (1990), która rozróżnia *logogeny*, zapamiętane obiekty, które można ująć w słowa (etykiety), ale nie można operować nimi w przestrzeni (obracać, przybliżać, itp.) oraz *imageny*, elementy graficzne lub inne obrazy rzeczywistości. Imageny i logogeny są odpowiednio ze sobą połączone za pomocą wewnętrznych skojarzeń. Teorię Paivio, znaną również jako teoria podwójnego kodowania (Saltzman i Pick, 1978), przedstawiono na rys. 2.4.



Rysunek 2.4 Schematyczny diagram reprezentacji podwójnego kodowania Paivio (1990).

Inna teoria reprezentacji umysłowej obiektu, przedstawiona przez Stephena Kosslyna (1996), mówi o bezpośredniej reprezentacji w trójwymiarowej przestrzeni psychicznej na

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

nośniku, zwanym też *medium*. Obiekty są zapamiętywane jako uogólnione zbiory cech, na podstawie których można odtworzyć obiekt. Nośnik pozwala na operowanie obiektem w kontekście właściwości geometrycznych:

- może ukazywać właściwości przestrzenne w kontekście innych obiektów (np. proporcje)
- może być przybliżany lub oddalany, obracany i przesuwany
- może rozmywać detale obiektu (co jest związane z czasem).

Według Kosslyna, pamięć długotrwała (LTM), używana do przechowywania reprezentacji obiektów, składa się tylko z dwóch podstawowych rodzajów elementów: obrazów i twierdzeń, które przyjmują formę *plików*, opisujących właściwości obiektu (Eysneck i Keane, 2000). Pliki obrazowe zawierają wszystkie informacje niezbędne do wizualizacji obiektu na nośniku.

Z punktu widzenia inżynierii, jest jeszcze jeden problem do rozwiązania: 'co zrobić z matematyką'? Teoria podwójnego kodowanie wskazuje, że wszystkie obiekty mogą być reprezentowane jako imageny lub logogeny. To samo dotyczy abstrakcyjnych operacji (jak np. pierwiastek kwadratowy). Jednakże ewaluacja samego pierwiastka za pomocą logogenów lub imagenów napotyka na pewne trudności. Z pomocą przychodzą tutaj niektóre techniki proceduralne. W sposób naturalny McCloskey i Macaruso (1995) zaproponowali wykorzystanie reprezentacji numerycznych jako trzeciej formy kodowania, w oparciu o język matematyki (Campbell, 2005). Ten rodzaj reprezentacji pozwala na szybkie manipulacje liczbami i operacjami matematycznymi. Prawdopodobnie ten rodzaj kodowania jest kodowaniem nabytym.

2.1.1.3. Spostrzeganie

Spostrzeganie jest procesem bardziej skomplikowanym od percepcji sensorycznej. Funkcjonalnie, w spostrzeganiu można wyróżnić dwie fazy: postrzeganie wrażeń (cech) i postrzeganie spostrzeżeń. Postrzeganie wrażeń jest wstępnym etapem przetwarzania informacji, poszukuje i rozpoznaje proste cechy (takie jak kolor, kształt, tekstura, dźwięk, zapach, dotyk, itp.) powiązane poprzez zestaw punktów w przestrzeni bodźców reprezentowanej przez USTM. Dodatkowo, oprócz ekstrakcji cech, proces postrzegania wrażeń może nadawać obiektom wartość emocjonalną (Öhman, 1987). Wrażenia powiązane są z lokalizacją w przestrzeni, bez niej jakiekolwiek dalsze przetwarzanie byłoby bezużyteczne.

Wykazano (Broadbent, 1958), że podczas przetwarzania wrażeń percepcja może rozpoznawać określone niebezpieczne cechy, które w konsekwencji prowadzą jednostkę do specyficznego stanu powiązanego z nieświadomymi reakcjami (np. odruchowe cofnięcie ręki parzonej przez ogień).

Postrzeganie spostrzeżeń jest konsekwencją poprzedniego etapu przetwarzania informacji. Polega na przetwarzaniu wrażeń na postać spostrzeżeń, co jest wykonywane w odniesieniu do korelacji w przestrzeni (umiejscowienie w określonej części środowiska). Pojedyncze spostrzeżenie jest grupą wrażeń dotyczących jednego fizycznego obiektu. Wykreowanie spostrzeżeń można nazwać klasyfikacją percepcyjną (oddolną). Dalsza analiza informacji polega na rozpoznaniu treści – dopasowania spostrzeżeń wykrytych w przestrzeni do zapamiętanych wcześniej kategorii spostrzeżeń. Jest to proces identyfikacji obiektu zwany również klasyfikacją semantyczną.

Spostrzeganie jest efektem konfrontacji przetworzonych danych sensorycznych oraz danych pamięciowych (Bruner, 1973). Najistotniejszym aspektem spostrzegania jest przynależność do pewnej, określonej kategorii – abstraktu (Posner *et al.*, 1969). Abstrakty z reguły mają określone nazwy/etykiety, ułatwiające komunikację wewnętrzną i międzyludzką. Konfrontacja danych sensorycznych z danymi pamięciowymi polega na znalezieniu jak najlepszego dopasowania cech. Według Maruszewskiego (2001), ważną informacją (przekazywaną dalej) jest nie tylko przynależność do określonego zbioru, ale również brak

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przynależności do innych, sprawdzanych zbiorów. W przypadku wystąpienia wieloznaczności (kiedy nie wszystkie cechy się pokrywają), może nastąpić sprzężenie zwrotne. W takim wypadku agent/człowiek sprawdza obiekt (wchodzi w interakcję z otoczeniem) pod kątem odpowiednich cech, tj. znajduje (np. patrząc z innej perspektywy) za pomocą odpowiedniej reakcji, cechy obiektu, które pozwolą na klasyfikację.

Skuteczność spostrzegania i rozpoznawania obiektów nie zależy tylko od złożoności obiektu, ale także od nastawienia percepcyjnego (ang. *perceptual set*) człowieka (kontekstowego dla agenta). Nastawienie percepcyjne (gotowość percepcyjna) to „łatwość wykorzystania określonej kategorii pamięciowej do danego materiału percepcyjnego" (Maruszewski, 2001). Gotowość percepcyjna zależy od 'spodziewania się', czyli prawdopodobieństwa wystąpienia określonego obiektu w danej sytuacji. Eksperymentem potwierdzającym tę zależność jest prezentacja ciągu obrazów zwierząt, po którym następuje obraz człowieka podobnego do zwierzęcia, który (w takiej sytuacji) zostaje wykryty jako zwierzę (Bugelski i Alampay, 1961). Przedstawione zjawisko (Carr *et al.*, 1982; Henderson, 1992) nazywane jest efektem torowania (ang. *priming*). Na efekt torowania (Maruszewski, 2001) wpływa:

- częstość uprzednich doświadczeń
- monopol kategorii
- integracja systemu kategorii i podobieństwo zachodzące między nimi
- konsekwencje motywacyjne (np. efekt różowych okularów)
- konsekwencje społeczne (np. efekt rozproszenia odpowiedzialności).

Zjawiskiem przeciwstawnym do torowania jest obronność percepcyjna. Pewne obiekty są dużo trudniej postrzegane, np. ze względu na traumatyczne doświadczenia (Perry, 1999).

Teorie spostrzegania dotyczą sposobu tworzenia spostrzeżeń, a także ich opisu. Traktują o tym, czy wrażenia są ważniejsze od spostrzeżeń (prymat części nad całością), czy na odwrót. Mówią, w jaki sposób obiekty są identyfikowane. Mogą też drastycznie różnić się między sobą, a w niektórych punktach być przeciwstawne. Wśród nich można wyróżnić (Nęcka *et al.*, 2008; Maruszewski, 2001):

- cykl percepcyjny Neissera
- koncepcję asocjacjonistyczną
- teorię postaciową
- teorię wzorców
- teorię cech
- teorię obliczeniową
- teorię ekologiczną.

2.1.2. Uwaga oraz mechanizmy selekcji i zarządzania pamięcią

Uwaga jest procesem, który pozwala na zorientowanie procesów percepcji na pewne obiekty lub zdarzenia (James, 1918). Typowym wykorzystaniem uwagi jest tak zwany efekt bankietu (ang. *cocktail party effect*). Dzięki świadomemu wykorzystaniu uwagi jesteśmy w stanie wytężyć słuch skupiając się na jednej osobie aktualnie nas interesującej, pomijając szum muzyki oraz innych rozmów (Cherry, 1953; Arons, 1992). Bodźce, które *przeszkadzają* w wyodrębnieniu pożądanych bodźców (tych, na które skierowana jest uwaga) noszą miano dystraktorów (Maruszewski, 2001).

Pojęcie uwagi nie jest tożsame z pojęciem świadomości. Świadomość jest wyższego rodzaju korelacją pomiędzy procesami mentalnymi, a zachowaniem mózgu (Atmanspacher, 2011). Można stwierdzić, że procesy świadome to te, z których zdajemy sobie sprawę. Należą do nich zarówno procesy wewnętrzne (np. myślenie), jak i zewnętrzne (oparte na sygnałach środowiskowych). Analogicznie, świadomość należy podzielić na świadomość introspekcyjną (wewnętrzną) oraz percepcyjną (zewnętrzna) (Armstrong, 1981). Świadomość percepcyjna jest ściśle związana z uwagą, a konkretnie z filtrowaniem spostrzeżonych

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

zdarzeń i obiektów. Zaś świadomość introspekcyjna może mieć wpływ na uwagę, ale równie dobrze może być *wyłączona* (Nęcka, 2004).

Procesy uwagi możemy więc podzielić na świadome (z których zdajemy sobie sprawę) oraz automatyczne (Shiffrin i Schneider, 1977). Czynności automatyczne są nabyte w długotrwałym procesie uczenia, ale dzięki temu działają bez udziału świadomości i są dużo szybsze niż czynności kontrolowane (świadome). Procesy uwagi również możemy podzielić w podobny sposób jak procesy percepcji. Procesy mimowolne są wyzwalane bodźcami zewnętrznymi ze środowiska, oddolnymi (ang. *bottom-up*), podczas gdy procesy dowolne są wyzwalane bodźcami odgórnymi (ang. *top-down*), wewnętrznymi, związanymi z myśleniem i świadomością (Buschman i Miller, 2007). Uwagę możemy też (Hunt i Kingstone, 2003) podzielić na ukrytą (ang. *covert*) i jawną (ang. *overt*). Uwaga jawna odpowiada za świadomą zmianę orientacji, a w szczególności za kontrolowane przemieszczenia gałek ocznych, za które odpowiada płat czołowy (Posner, 1980). Uwaga ukryta przenosi ostrość z jednego obiektu na drugi, bez ruchów gałkami ocznymi (Posner i Petersen, 1990; Hunt i Kingstone, 2003; Eriksen i Colegate, 1971).

Można zauważyć, że podziały przedstawione powyżej są bardzo do siebie podobne, część procesów jest kontrolowana świadomie, wewnętrznie, a część automatycznie – nieświadomie, ze względu na wyuczone wcześniej czynności wyzwalane bodźcami zewnętrznymi.

Uwaga odpowiada za szereg ważnych funkcji (Strelau, 2004), w tym za:

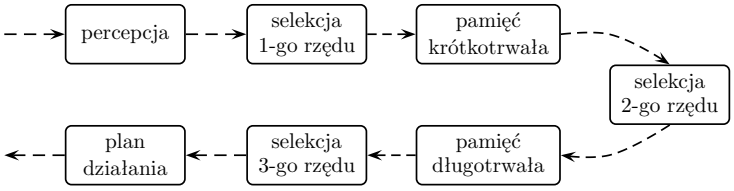
- selektywność
- przeszukiwanie
- koncentrację (czujność)
- alokację zasobów (przerzutność i podzielność uwagi).

Jest ona też wspierana przez mechanizmy fizjologiczne, takie jak (Maruszewski, 2001):

- odruch orientacyjny (Lewicki, 1960)
- mechanizm indukcji ujemnej (Pavlov, 1928)
- układ aktywacyjno-hamujący (Domańska, 1997).

2.1.2.1. Selekcja

Aby system poznawczy był efektywny, nie może przetwarzać wszystkich informacji pojawiających się na receptorach. System staje się efektywny, dopiero kiedy analizuje niewielkie ilości informacji (Lehrl i Fischer, 1988). Proces poznawczy zwany uwagą przede wszystkim zajmuje się zjawiskami selekcji. Selekcja może dotyczyć zarówno elementów zapamiętywanych jak i bodźców postrzeganych na wejściu sensorycznym (dzięki czemu mniej ważne bodźce nie są przetwarzane). Uwaga filtruje także elementy, które mają zostać przepisane z pamięci krótkotrwałej do pamięci długotrwałej (elementy zapamiętywane). Selektywność uwagi ujawnia się również w przypadku planowania i wykonywania planowanej reakcji (Maruszewski, 2001). Wszystkie trzy poziomy selekcji, oraz drogę informacji między nimi ukazuje, w bardzo uproszczony sposób, rys. 2.5.



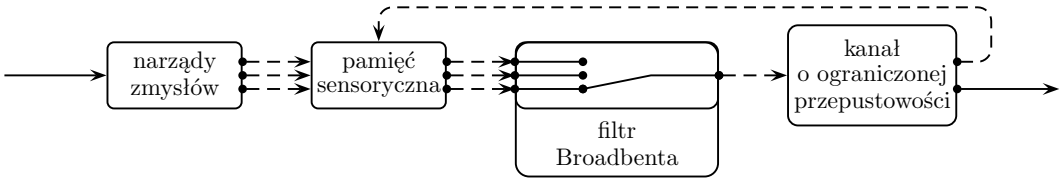
Rysunek 2.5 Droga selekcji informacji.

Selekcja 1-go rzędu (wczesna, pierwotna) to selekcja bodźców odbieranych przez narządy zmysłowe (Maruszewski, 2001). Człowiek jest w stanie przeanalizować dużą liczbę

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

bodźców jednocześnie, jednakże nie tyle ile receptorów posiada. Zatem tylko część informacji jest przesyłana do dalszej analizy w centralnym układzie nerwowym. O tym, która to część, decyduje selekcja pierwotna.

Z teorią selekcji pierwotnej wiąże się tzw. filtr Broadbenta (1958). Zaproponował on filtr przerzutnikowy, zgodnie z zasadą „wszystko, albo nic". Uwaga według Broadbenta przełącza się pomiędzy wieloma kanałami. Każdy kanał może być tylko albo całkowicie przepuszczany, albo całkowicie blokowany. W kanale blokowanym informacje są nadpisywane przez kolejne nadchodzące informacje ze zmysłów. Filtr Broadbenta tworzy tzw. wąskie gardło w ścieżce przetwarzania informacji. Filtr Boradbenta (rys. 2.6) został skonstruowany na podstawie danych eksperymentalnych uzyskanych przy technice słuchania dwuusznego (Cherry, 1953).



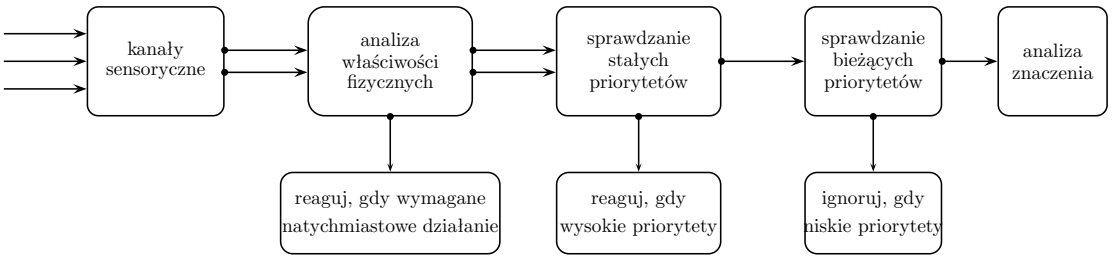
Rysunek 2.6 Teoria uwagi Broadbenta (Maruszewski, 2001; Broadbent, 1957).

Teoria filtracji Boradbenta była szeroko krytykowana, a zwłaszcza zasada bramkowania. Dowiedziono (w kontekście kanałów słuchowych), że drugi kanał nie jest całkowicie zamykany (Moray, 1959). Badania dotyczące przetwarzania sygnałów mieszanych (liczbowo-sylabowych) pokazały, że uwaga nie tylko nie odcina *drugiego* kanału, ale także pomaga zgrupować dane w sensowną (semantycznie) całość – cyfry zostały *zbrylowane* w liczbę, a sylaby w słowo (Gray i Wedderburn, 1960). Z drugiej strony badania opierające się na zmianie czasu ekspozycji poszczególnych sygnałów (bodźców) dowiodły, że filtr Broadbenta może działać w przypadku szybko następujących po sobie informacji (Broadbent i Gregory, 1964). Innymi słowy można stwierdzić, że filtr Broadbenta jest dobrym zabezpieczeniem przed dużym nagromadzeniem informacji.

Zważywszy na możliwość przełączania pomiędzy różnymi kanałami ze względu na przenoszone informacje (ich znaczenie semantyczne), wyróżniono kolejne poziomy filtracji. Modelem takim jest filtr Treisman (1960; 1970). Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów udowodniono możliwość sklejania sentencji (połączone semantycznie treści), których części były podawane na różne kanały. Filtr Treisman działa według *zasady semantycznej*, która głosi, że im bardziej informacje wejściowe pasują (semantycznie) do aktualnie przetwarzanych informacji, tym większa jest szansa na ich przepuszczenie przez filtr. Następuje tu pewien rodzaj sprzężenia zwrotnego. Filtr Treisman uwzględnia również reagowanie na określone bodźce lub informacje na poszczególnych etapach filtracji. Pierwszy etap odpowiada za analizę własności fizycznych (formowanie wrażeń, wg teorii spostrzegania). W przypadku wykrycia wrażeń zagrażających (jak np. ból, czy głośny krzyk), wywoływane są reakcje. Gdy odbierane wrażenia nie wymagają podjęcia reakcji, następuje etap rozpoznawania spostrzeżeń. Spostrzeżenia są analizowane, najpierw ze względu na stałe (długofalowe) priorytety, potem zaś ze względu na priorytety krótkofalowe (rys. 2.7). Po przejściu całej drogi, bez wywołania reakcji, spostrzeżenia są poddawane analizie znaczenia.

Kolejnym filtrem jest filtr Deutschów (1963; 1967), który postuluje, aby informacje były selekcjonowane tylko na poziomie świadomym. Informacje nigdy nie są odrzucane. Natomiast przetwarzane są do poziomu głębokich reprezentacji umysłowych (rozpoznawanie spostrzeżeń). Jednakże bez formułowania jawnej reprezentacji pamięciowej (Nęcka

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

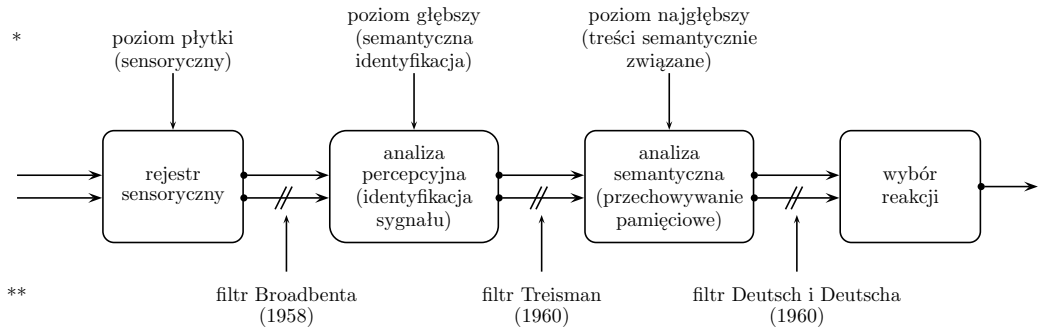


Rysunek 2.7 Wielokrotny filtr uwagi Treisman, (Maruszewski, 2001; Treisman, 1960, 1970).

et al., 2008). Filtr, a właściwie zasada *koniecznej świadomości*, została mocno skrytykowana (Lackner i Garrett, 1972). Pozostało jednak umiejscowienie jednego z filtrów.

W wyniku różnych teorii filtrów uwagi, sformułowano dwa antagonistyczne stanowiska - model wczesnej selekcji informacji i model późnej selekcji informacji (Nęcka *et al.*, 2008). Modele wczesnej selekcji informacji znajdują potwierdzenie w eksperymentach wymagających szybkiego przetwarzania danych, w przypadku dużej liczby bodźców (Lavie, 1995). Z drugiej strony, w przypadku gdy ilość informacji jest niewielka, aktywuje się model późnej selekcji.

Johnston (1978) zaproponował filtr zmieniający swoją rolę ze względu na poziom przetwarzania informacji, dzięki temu filtr ten służyłby zarówno do filtracji na poziomie sensorycznym, jak i semantycznym. Filtr ów powinien działać zgodnie z zasadą *przetargu między szybkością a poprawnością* (Snodgrass *et al.*, 1967; Szymura i Słabosz, 2002). Filtr działający szybko będzie mniej dokładny niż filtr działający na głębokich poziomach analizy (co wielokrotnie go spowalnia). Przykładowo, filtracja sensoryczna zajmuje około 100 ms, w zależności od modalności (typu) bodźca (Woodworth i Schlosberg, 1972), podczas gdy zasada semantyczna trwa około 400 ms (Johnston, 1978). Model ukazujący zasadę działania filtru Johnsone'a przedstawiony jest na rys. 2.8.



Rysunek 2.8 Teoria łączonego filtru Johnstone'a, (Nęcka *et al.*, 2008; Johnston, 1978).

Selekcja wtórna (drugiego rzędu), występująca w procesach pamięciowych, zachodzi w przejściu pomiędzy pamięcią krótkotrwałą a długotrwałą. Pamięć długotrwała nie jest w stanie odebrać wszystkich informacji z pamięci krótkotrwałej. Dodatkowo forma zapisu informacji w pamięci krótkotrwałej jest inna niż w długotrwałej. Zjawisko selekcji wtórnej jest więc spowodowane opóźnieniem związanym z kodowaniem przesyłanego sygnału do postaci trwałej (Maruszewski, 2001). Informacja zapisywana w pamięci długotrwałej powinna mieć relacje (semantyczne) z innymi informacjami. W związku z czym,

* Teoria głębokości poziomów przetwarzania informacji (Craik i Lockhart, 1972)
** Teoria filtrów uwagi selektywnej (Broadbent, 1958; Treisman, 1960; Deutsch *et al.*, 1967)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

aby zapisać taką informację, trzeba najpierw znaleźć skojarzenia z nią związane. Ponadto trzeba sprawdzić, czy czasem informacja nie istnieje już w pamięci trwałej.

Najdłuższe zapamiętywanie informacji ma miejsce w przypadku, gdy informacje napływająca jest dla nas zaskoczeniem. Dodatkowo, na podstawie badań stwierdzono, iż sytuacje związane z brutalnością są dla nas tak zaskakujące, że wolniej je kodujemy (Elliott, 1992). U wielu ofiar zdarzeń, takich jak przemoc seksualna, pojawia się zjawisko amnezji funkcjonalnej, a później odroczonego przypominania. Oznacza to, że ślady pamięciowe w takich wypadkach kodowane są niezwykle wolno i informacje pamięciowe stają się dostępne dużo później. Co więcej, informacje, które mają negatywny znak emocjonalny, są zdecydowanie słabiej zapamiętywane niż informacje neutralne lub pozytywne (Maruszewski, 2001; Wagenaar, 1986). Istotą selekcji wtórnej jest proces osłabiania informacji, które jednostka uważa za mało istotne (Lindsay i Norman, 1977). Dzięki temu ważne informacje stają się relatywnie bardziej wyraziste.

Procesy **selekcji trzeciego rzędu**, zgodnie z rys. 2.5, występują w trakcie myślenia nad planowaną lub wykonywaną reakcją. Taki proces selekcji podpowiada pewne rozwiązania, częściowo automatycznie, a częściowo świadomie. Monsell (1996) przytoczył przykład mówiący o selekcji trzeciego rzędu. Mianowicie podczas wycierania sztućców mąż został poproszony przez małżonkę o pozostawienie ich na wierzchu. Skończywszy wycierać, zaczął jednak wyciągać sztućce z szuflady. Widzimy tutaj przykład zaburzenia uwagi, gdyż mąż nie zmodyfikował *programu* działania, dodając tylko do kolejki nowe polecenie.

2.1.2.2. Przeszukiwanie pola percepcyjnego

Przeszukiwanie pola percepcyjnego, czyli uproszczając, wyszukiwanie elementów o danych cechach w otoczeniu, jest również ważnym elementem uwagi. Najbardziej rozpowszechnioną teorią jest teoria **integracji cech** (Nęcka *et al.*, 2008). Zasadniczym elementem tej teorii są tak zwane mapy lokacyjne, które zapisują lokalizację przestrzenną wykrycia danej cechy (Treisman i Gelade, 1980). Można też wyróżnić mapy w zakresie pojedynczych cech – mapy cech, które notują, gdzie wystąpiła dana cecha. W zakresie mapy cech kodowanie otoczenia odbywa się zawsze różnicowo: gdy pojedyncza cecha występuje w całej kodowanej przestrzeni, jest ona pomijana, dopiero kiedy wystąpią różnice – one są zapisywane. Zjawisko to jest związane bezpośrednio z oszczędnością i optymalizacją przydzielania zasobów poznawczych. Teoria integracji cech mówi też o etapach przetwarzania informacji, co jest ściśle związane z przeszukiwaniem. Pierwszym etapem jest wyżej wymieniony wybór map lokacyjnych, następnie tworzone są mapy cech, po czym cechy integrowane są w pojedynczy obiekt (Treisman i Gelade, 1980).

W przeszukiwaniu pola percepcyjnego można wyróżnić przeszukiwanie proste (obiekt zdefiniowany przez jedną cechę) lub przeszukiwanie koniunkcyjne (obiekt złożony z wielu cech). Przeszukiwanie proste, w przypadku dużych różnic, postępuje równolegle (Treisman i Gelade, 1980). Jednakże gdy obiekty (cechy) – wśród których szukamy – są podobne, proces ten zachodzi szeregowo (Nakayama i Silverman, 1986). Dodatkowo przeszukiwanie proste pewnych cech może być tak samo szybkie i efektywne, jak przeszukiwanie złożenia dwóch specyficznych cech (Albertazzi *et al.*, 2010). Innymi słowy, pewne cechy łatwo łączą się z innymi, przez co umożliwiają przyspieszenie przeszukiwania. W przypadku przeszukiwania koniunkcyjnego, pojawia się efekt wielkości zbioru: w niewielkim zbiorze przeszukiwanie trwa dużo krócej niż analiza dużego zbioru obiektów (Treisman, 1986). Należy również zauważyć, że czas przeszukiwania zależy także od liczby ruchomych dystraktorów w polu percepcyjnym oraz od orientacji obiektów w przestrzeni. Dystraktory ruchome bowiem dużo bardziej rozpraszają uwagę (McLeod *et al.*, 1988), natomiast zmieniona orientacja obiektu (np. jego obrót) zdecydowanie wydłuża czas przeszukiwania (Driver i McLeod, 1992).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Biorąc pod uwagę, że niektóre cechy łatwej się sumuje, oraz inne badania, można wnioskować, że istnieją cechy priorytetowe. Do takich cech należy np. ruch (Driver i McLeod, 1992). Priorytet w tym wypadku oznacza szybszą analizę informacji dotyczących obiektu posiadającego cechę priorytetową. Mechanizm taki został wykształcony genetycznie, związany jest z wykrywaniem ruchu drapieżnika przez roślinożerców. Nie tylko pewne cechy mogą być priorytetowe. Istnieje też teoria mówiąca, że koniunkcja kilku cech niskopriorytetowych w odpowiednim otoczeniu jest dostrzegana priorytetowo (Wolfe *et al.*, 1989; Cave i Wolfe, 1990).

Oprócz teorii integracji cech, istnieją również inne teorie traktujące o przeszukiwaniu pola percepcyjnego. Jedną z nich jest teoria podobieństw (Duncan i Humphreys, 1992). Według niej największe znaczenie ma podobieństwo pomiędzy obiektami, a nie liczba wyszukiwanych cech oraz ich poszczególne znaczenie. W przypadku gdy obiekty w otoczeniu są do siebie bardzo podobne, przeszukiwanie trwa znacznie dłużej. Jednak szybkość przeszukiwania nie zależy od liczby wyszukiwanych cech. Najprostszym przykładem obrazującym tę teorię jest wyszukiwanie (Sternberg *et al.*, 2012) jednej litery w zbiorze liter wielkich (duże podobieństwo) i małych (duża różnorodność).

2.1.2.3. Czujność

Zdolność do wykrywania specyficznych bodźców przez określony czas nazywana jest czujnością (Sternberg *et al.*, 2012). Jest ona ściśle związana z poziomem aktywacji, który umożliwia podjęcie określonej reakcji na dane bodźce (Maruszewski, 2001). Klasycznym przykładem opisującym czujność jest badanie Mackworth'a (1957). Polega ono na obserwowaniu wskazówki sekundnika i kliknięciu na przycisk, gdy przeskoczy ona o dwie sekundy. Przez pierwsze 10 minut wykonania testu, pominięto średnio 12% sygnałów, przez kolejne 20 minut było to około 20%, zaś później 25%, przy czym taki wzrost liczby błędów spowodowany został wzrostem wątpliwości testowanych osobników dotyczących własnych obserwacji. Doświadczenie Mackworth'a dowodzi, że czujność wykrycia danego bodźca spada wraz z czasem.

Do problemu czujności często stosuje się teorię wykrywania sygnałów (Nęcka *et al.*, 2008). Problem ten najprościej można przestawić jako grę jednoosobową o dwóch strategiach (tab. 2.1). W przypadku klasycznym mamy cztery możliwości. Możemy bowiem wykryć bodziec i zareagować (a), wykryć bodziec i nie zareagować (b), albo nie wykryć bodźca i zareagować (c) oraz nie wykryć bodźca i nie zareagować (d) (Maruszewski, 2001). Do każdej sytuacji można dla określonych bodźców i reakcji dobrać określone wartości nagrody/kary. W ten sposób można dostosować strategię do określonej sytuacji. W niektórych przypadkach warto bowiem nadinterpretować i reagować nawet na fałszywy alarm, a w niektórych przeciwnie. Stosunek poprawnych detekcji do fałszywych alarmów można opisać za pomocą krzywej funkcjonowania obserwatora (Maruszewski, 2001; Coombs *et al.*, 1970). Na charakterystykę tej krzywej mają wpływ trzy czynniki:

- SNR – stosunek sygnału do szumu
- macierz wpłat – konsekwencje dla danej reakcji
- oczekiwania – wpływ środowiska.

Tablica 2.1 Gra jednoosobowa przedstawiająca problem czujności (Maruszewski, 2001).

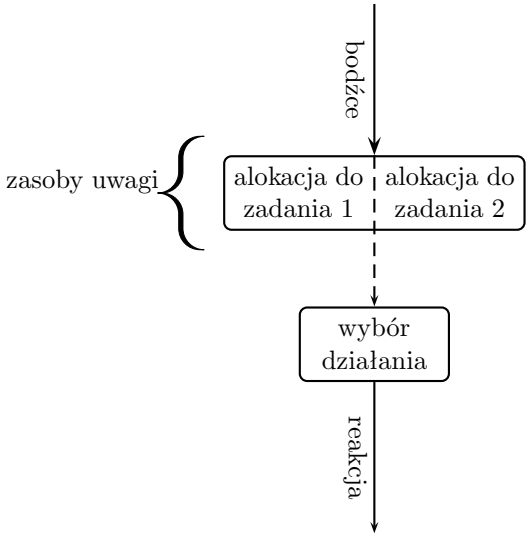
		sytuacja rzeczywista	
		bodziec	brak bodźca
interpretacja	bodziec	prawidłowa detekcja (a)	fałszywy alarm (b)
	brak bodźca	pominięcie bodźca (c)	prawidłowe odrzucenie (d)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W zagadnieniach dotyczących czujności, warto zwrócić uwagę na nastawienie co do lokalizacji bodźca. W zależności od nastawienia, inaczej zadziała bodziec wykryty w tzw. centrum uwagi[3], niż na jej obrzeżu. Nastawiając się na wykrycie bodźca w centrum uwagi można pominąć bodźce na jej obrzeżu i odwrotnie (LaBerge *et al.*, 1992). Wzmożona czujność jest zwykle spowodowana stanem emocjonalnym (Sternberg *et al.*, 2012).

2.1.2.4. Alokacja zasobów uwagi

Teorie pojemnościowe uwagi powstały w odpowiedzi na zagadnienie podzielności uwagi. Wyjaśniają one jak możliwe jest jednoczesne wykonywanie kilku zadań. Teoria alokacji zasobów została sformułowana przez Kahnemana (1973) na postawie krytyki teorii filtrów przeprowadzonej przez Neissera (1976). Według niego bodźce nie są odfiltrowywane przez uwagę, ale uwaga decyduje o tym, które bodźce są pobierane z otoczenia. W związku z powyższym uwaga ma charakter aktywny, a nie pasywny (Maruszewski, 2001). Kahneman zaproponował model, który może przyporządkować odpowiednią wielkość zasobów do każdego zadania (rys. 2.9).



Rysunek 2.9 Teoria alokacji zasobów na podstawie teorii Kahnemana.

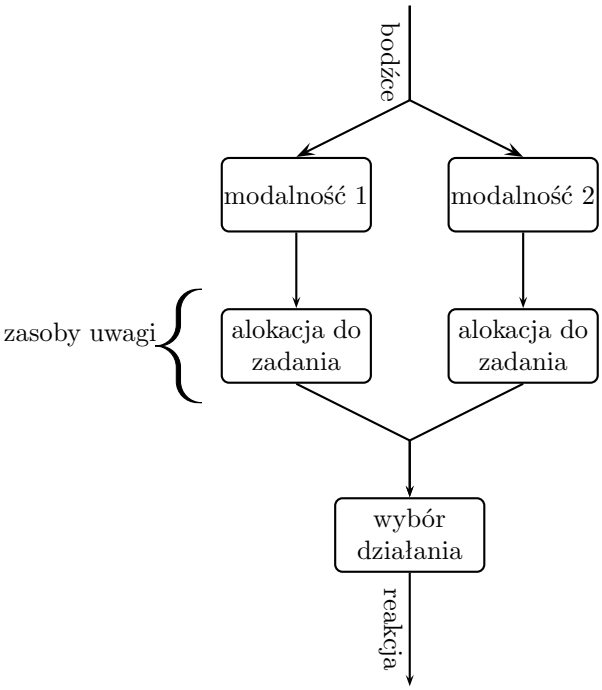
Na wielkość przypisanych zasobów (pojemności uwagi) do określonego zadania wpływa wiele czynników:

- poziom złożoności zadania (zarówno percepcyjnego, jak i wykonawczego) – im jest on wyższy, tym więcej zasobów musi przeznaczyć uwaga na jego rozwiązanie
- poziom pobudzenia – mechanizm wykształcony ewolucyjnie dotyczący możliwości zagrożenia ze strony środowiska: redukuje ospałość jednostki, która może w pełni wykorzystać zasoby uwagi, zaś w przypadku przeciwnym, pozwala optymalizować (oszczędzać) zasoby
- polityka alokacyjna– zarówno chwilowa jak i długotrwała: wpływają na nią własne (wykształcone i nabyte) przekonania, co do ważności zadania i oceny zapotrzebowania.

Takie przedstawienie podzielnej uwagi upraszcza zagadnienie. Dowiedziono, że ludzie lepiej wykonują czynności z podziałem uwagi, jeśli dotyczą one różnych modalności (McDowd, 2007) – w szczególności gdy modalności uwagi dotyczą różnych zmysłów (np. jednoczesne słuchanie i widzenie). Model przedstawiający uwagę podzielną z rozróżnieniem na modalności przedstawia rys. 2.10 (Navon, 1977).

[3]Centrum uwagi jest nierozerwalnie związane z ostrością widzenia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.10 Teoria alokacji zasobów z uwzględnieniem modyfikacji Navona.

Teoria alokacji zasobów często jest krytykowana, jednakże doskonale uzupełnia ona pozostałe teorie uwagi: filtrów, przeszukiwania i czujności (Yantis i Hillstrom, 1994). Dodatkowo wyjaśnia ona mechanizmy związane z przeszukiwaniem pola percepcyjnego, takie jak koncentracja, czy przerzutność uwagi. Ponadto, biorąc pod uwagę teorię alokacji, należy założyć, że istnieje mechanizm, który przekazuje impulsy hamujące i impulsy wyzwalające do receptorów, np. mechanizm układu siatkowatego (Maruszewski, 2001).

2.1.2.5. Fizjologiczne mechanizmy uwagi

Uwaga posiada kilka mechanizmów do własnej dyspozycji. Są to tak zwane mechanizmy fizjologiczne. Dzięki nim może ona (nieświadomie) pobierać dodatkowe informacje z otoczenia lub wyprowadzać pewnego rodzaju reakcje odruchowe (Maruszewski, 2001).

Jednym z głównych fizjologicznych mechanizmów uwagi jest **odruch orientacyjny** (Lewicki, 1960), polegający na kierowaniu receptorów na źródło impulsu wyzwalającego. Na podstawie określonego rodzaju bodźca (z reguły niespodziewanego, niepewnego, czy nawet niespójnego), wzbudzane są sąsiednie receptory i uwaga jest przekierowywana na element otoczenia wywołujący dany bodziec (Berlyne, 1960). Przykładem odruchu orientacyjnego jest reakcja na usłyszenie swojego imienia w tłumie. Odruch taki wzmacnia też chwilowo wrażliwość wszystkich receptorów, nie tylko tych odbierających aktualnie bodźce, ale również tych pozostających w stanie spoczynku. Można stwierdzić, że organizm otwiera się na nowe stymulacje. Jednocześnie następuje wzrost aktywności organizmu. Uaktywnia się na przykład gotowość do wysiłku fizycznego. Reakcja orientacyjna gaśnie po wystąpieniu kilku jednakowych bodźców lub po określonym czasie (Maruszewski, 2001).

Sokolov (1969) twierdzi, że istnieje efekt przeciwny do odruchu orientacyjnego, zwany **reakcją obronną**. Polega on na ograniczaniu dopływu nieprzyjemnej stymulacji lub też na ucieczce od jej źródła. Zarówno odruch orientacyjny, jak i reakcja obronna, stanowią *elementy wykonawcze* selekcji pierwotnej.

Mechanizm **indukcji ujemnej**, polegający na blokowaniu okolic sąsiadujących z obszarem pobudzonym w korze mózgowej, jest kolejnym przykładem fizjologicznego mecha-

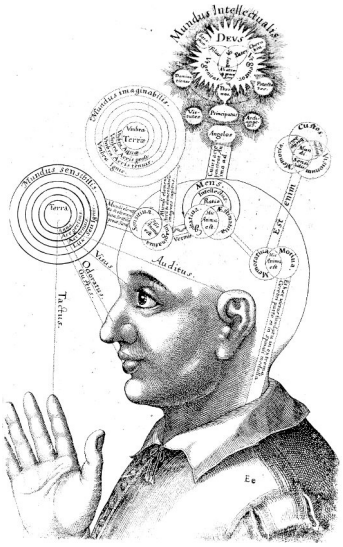
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

nizmu uwagi (Pavlov, 1928). Dzięki temu informacje w korze mózgowej mają charakter zogniskowany. Podobne zjawisko występuje w przypadku pamięci, kiedy okolice kory, które wykazywały zwiększoną aktywność w czasie wydobywania informacji z pamięci epizodycznej, hamują aktywność regionów sąsiednich (Nyberg *et al.*, 1996; Maruszewski, 2001). Zjawisko indukcji ujemnej pomaga w *zogniskowaniu* uwagi na jednym, określonym obiekcie lub zdarzeniu. Czasami jest ono niepożądane, jednakże elementy świadome uwagi mogą je wytłumić.

Za przydzielanie *zasilania* do odpowiednich części kory odpowiedzialny jest **układ siatkowaty** (Domańska, 1997). Zbudowany jest on z różnego typu włókien mających dwa zadania: hamowanie i pobudzanie. Dzięki temu możemy w jednej chwili *wytężać* słuch, zaś w następnej wzrok. Mechanizm ten stanowi wsparcie dla przerzutności uwagi.

2.1.2.6. Świadomości i jej aspekty

Mówiąc o uwadze jako oczywistym procesie poznawczym, nie sposób nie odnieść się do pojęcia świadomości. Należy zauważyć, iż jest to pojęcie szeroko stosowane, i nie do końca jednoznacznie zdefiniowane. Niemniej jednak świadomość jest stanem psychicznym, w którym agent (człowiek lub system) wie o zachodzących zjawiskach wewnętrznych i zjawiskach zewnętrznych oraz jest w stanie reagować na nie. Pierwszymi filozofami używającymi pojęcia świadomości byli Locke (1690) i Descartes (1960).



Rysunek 2.11 Graficzna reprezentacja świadomości Roberta Fludda (1619); prawa autorskie: R. Fludd, Wikimedia Commons.

Pojęcie świadomości jest bardzo mocno skorelowane z procesami uwagi (Atmanspacher, 2011). Wyróżnia się także np. myślenie świadome (Ericsson i Simon, 1993) i nieświadome, które jest w przewadze (Nisbett i Wilson, 1977; Levin, 2004). Bowiem wszelkiego rodzaju decyzje, które podejmujemy, polegają na przesłankach (spostrzeżeniach) zarówno świadomych (tych z których zdajemy sobie sprawę), jak i nieświadomych (o których wie tylko część nieświadoma uwagi). Przykładowo do części nieświadomej należy wyuczony sposób przetwarzania informacji, nie jesteśmy świadomi faktu ich przetwarzania, a mimo to wpływa on na wszelkiego rodzaju podjęte przez nas decyzje. O różnicach w świadomym lub nieświadomym dostępnie do pamięci świadczy zjawisko *mam-to-na-końcu-języka*, czyli brak możliwości świadomego przypomnienia sobie danego słowa, które w przypadku nieświadomym jest dostępne (Sternberg *et al.*, 2012).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ukrycie części procesów (a nawet ich większości) pozwala na odciążenie świadomych części procesów poznawczych. Dzięki czemu możemy podejmować jakiekolwiek decyzje, pomimo powszechnego obecnie szumu informacyjnego (Gibson, 1986).

2.1.3. Pamięć – organizacja

Kolejnym z omawianych procesów poznawczych jest pamięć. Może ona być traktowana zarówno jako proces (a właściwie zespół procesów), jak i zdolność do przechowywania elementów. W ogólności, pamięć to: zdolność do świadczenia usług magazynowania oraz przywoływania konkretnych oraz abstrakcyjnych informacji. Właściwości pamięci umożliwiają jej reorganizację, przez co poprawiają prędkość dostępu do elementów.

Z punktu widzenia lingwistyki wyróżnić można wiele rodzajów pamięci: np. słownikową, twarzy, miejsc, itp. (Norman, 1970; Shettleworth, 1993). Jednakże elementy należące do tych rodzajów mogą być przechowywane zarówno w pamięci długotrwałej (zapamiętane trwale), jak i krótkotrwałej (zapamiętane tymczasowo). Aby uniknąć nadmiernego podziału i niejasności związanych z umiejscowieniem elementów, wprowadzono ogólnie przyjęte kryteria, które muszą zostać spełnione, aby mówić o odrębności systemu pamięciowego (Tulving, 1984; Nęcka *et al.*, 2008). Pomijając różnice neurologiczne, systemy pamięciowe:

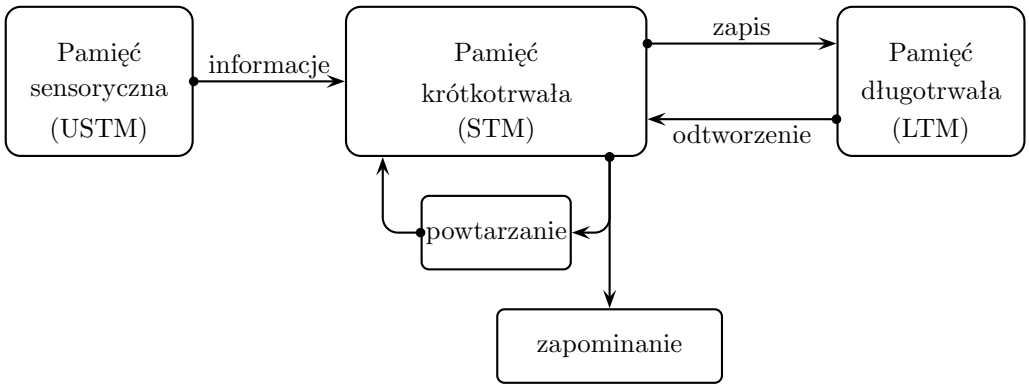
- mają różne funkcje behawioralne i kognitywne
- są wyspecjalizowane w przetwarzaniu różnych informacji
- podlegają różnym zbiorom reguł
- różnią się formatem reprezentowania informacji.

2.1.3.1. Klasyczny podział pamięci

Klasyczny podział pamięci opiera się na czasie przechowywania informacji. Jednakże dodatkowo można wyróżnić podziały oparte na typie przechowywanych elementów (zwłaszcza długotrwale), zapamiętanych cech oraz wielu innych. Odnosząc się do klasycznego podziału należny wspomnieć, że jest on rozwinięciem modelu Waugha i Normana (1965), który rozróżnia pamięć pierwotną i wtórną. Podział klasyczny został zaproponowany przez Atkinsona i Shiffrina (1968) i dzieli on magazyn pamięciowy na:

- sensoryczny/ultra-krótkotrwały (USTM *ultra-short time memory*)
- krótkotrwały (STM *short time memory*)
- długotrwały (LTM *long time memory*).

Zależności pomiędzy powyższymi magazynami obrazuje rys 2.12.



Rysunek 2.12 Model pamięci wg Atkinsona (1968).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przedstawiony podział jest najpopularniejszym w kontekście projektowania systemów autonomicznych. Został on użyty w wielu projektach badawczych (Sun *et al.*, 2007; Ho *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2012; Hoffmann, 2011; Ogiela i Ogiela, 2012).

2.1.3.2. Pamięć sensoryczna

Pamięć sensoryczna (ultra-krótkotrwała) używana jest do bardzo krótkiego, wręcz *zatrzaskowego* przechowywania bodźców (dane nieprzetworzone, surowe). Ma ona za zadanie przygotować bodźce do dalszego przetworzenia. Pełni rolę bufora sensorycznego. Jej pojemność jest znacznie większa niż pojemność pamięci krótkotrwałej, jednakże informacje dużo szybciej ulegają w niej zatarciu. Maksymalny czas przechowywania dochodzi do około 500 ms (Nęcka *et al.*, 2008; Sperling, 1960).

Istnienia pamięci sensorycznej dowodzi tzw. procedura odtwarzania częściowego (Sperling, 1960). Pamięć sensoryczna jest bardzo podatna na wszelkiego rodzaju zakłócenia zewnętrzne. Każda nowa informacja docierająca ze środowiska nadpisuje zawartość pamięci sensorycznej. Zjawisko, nazywane mechanizmem *maskowania wstecznego* (Averbach i Coriell, 1961) zachodzi, gdy odstęp pomiędzy nowymi bodźcami jest mniejszy niż 100 ms; w przeciwnym wypadku bodźce nakładają się na siebie i zlewają w jedno (Eriksen i Collins, 1967). Mechanizm ten, w ogólności, wykorzystywany jest w technologii filmów 3D (Mendiburu, 2012).

Pamięć ultra-krótkotrwała może być podzielona ze względu na użyte zmysły – typy zapamiętywanych elementów (Neisser, 1967). Wyróżniamy zatem pamięć:

- ikoniczną
- echoiczną
- smakową
- dotykową
- zapachową.

Pamięć sensoryczna przechowuje głównie bodźce, nieprzetworzone informacje. Jednakże w przypadku pamięci echoicznej, jak i ikonicznej, pamięć sensoryczna może też w bardzo prosty sposób przetwarzać informacje, np. pamięć echoiczna łączy fonemy (Nęcka *et al.*, 2008).

2.1.3.3. Pamięć krótkotrwała

Pamięć krótkotrwała jest ograniczonym magazynem przechowującym dane wymagające dużej uwagi (zarówno abstrakcyjne, jak i rzeczywiste). Może ona pomieścić około 7 ± 2 elementów (Miller, 1956) lub około 80 bitów informacji (Fisher i Craik, 1977). Jednakże mechanizmy grupowania pozwalają na upakowanie większej ilości informacji. Przykładowo liczba 101001000100001000100 nie zostanie zapamiętana w pamięci krótkotrwałej (składa się bowiem z 21 znaków, tj. informacja jest za duża). Jednakże liczba ta pogrupowana, czyli 10, 100, 1000, 10000, 1000, 100, zostanie zapamiętana (jest to bowiem 6 abstrakcyjnych pojęć/sekwencji) (Miller, 1956; Sternberg *et al.*, 2012). Strategia grupowania odgrywa więc olbrzymią rolę w kompresji pamięci krótkotrwałej.

Badania dowodzą, że większe skupiska danych są słabiej zapamiętywane. W przypadku jednosylabowych słów można ich zapamiętać dużo więcej niż wielosylabowych sentencji (Hulme *et al.*, 2006). Opóźnienia generowane poprzez proces przetwarzania informacji dodatkowo ograniczają magiczną liczbę Millera do poziomu 4 ± 1 (Cowan, 2001).

Inne badania dowodzą, że średni czas przechowywania, który wynosi 15-18 sekund, może zostać rozszerzony poprzez system podtrzymywania informacji (Maruszewski, 2001). Poprawne odtworzenie informacji spada jednak poniżej 50% po 6 sekundach (Peterson i Peterson, 1959).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Informacje w pamięci krótkotrwałej są kodowane werbalnie (Conrad, 1963; Baddeley, 1966). Nawet obrazy najpierw są kodowane werbalnie, a dopiero potem zapamiętywane w pamięci krótkotrwałej (Luck i Vogel, 1997). Słowa (obiekty) o zbliżonym brzmieniu są trudniej zapamiętywane. Sposób kodowania ułatwia także powtarzanie, a co za czym idzie – przedłuża trwanie informacji.

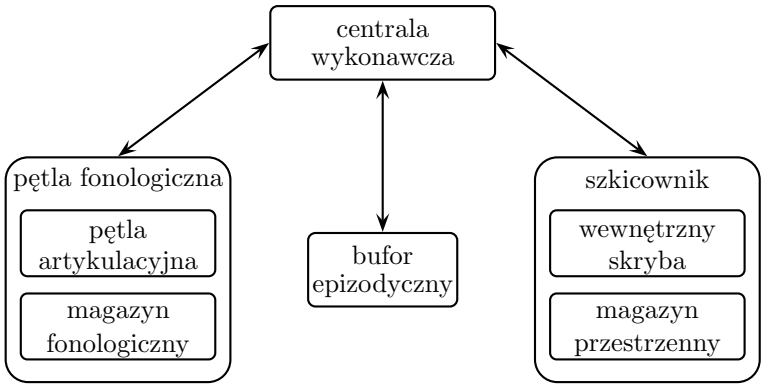
2.1.3.4. Pamięć robocza

Pojęcie pamięci roboczej powstało na skutek ewolucji teorii pamięci krótkotrwałej. Pamięć ta, podobnie jak pamięć RAM w komputerach osobistych, nie tylko przechowuje informacje, ale też umożliwia ich przetwarzanie (Klaus Oberauer, Heinz-martin Süß, Oliver Wilhelm, 2003). Ponadto pamięć robocza ułatwia nadzorowanie i koordynowanie (świadome) innych procesów poznawczych.

Pierwszym modelem pamięci roboczej, był model Baddeleya (1974), ulepszony w dalszych jego pracach (Baddeley, 2000, 2001). Składa się z czterech komponentów (rys. 2.13):

- pętli fonologicznej
- szkicownika wzrokowo-przestrzennego
- bufora epizodycznego
- centrali wykonawczej.

Pętla fonologiczna (dźwiękowa) i szkicownik służą jako bufory oraz tymczasowe pamięci dźwiękowe i graficzne. Pozwalają one na zapamiętywanie elementów (rola STM – pamięci krótkotrwałej) oraz przetwarzanie (na bieżąco) informacji akustycznej i graficznej (rola podobna do medium z teorii Kosslyna). Bufor epizodyczny ma na celu zapewnienie takiej samej funkcjonalności, co pętla fonologiczna i szkicownik, ale dla zaawansowanych informacji, składających się z wielu różnych elementów pogrupowanych w zdarzenia (Nęcka *et al.*, 2008).



Rysunek 2.13 Model pamięci roboczej Baddeleya (2000).

Podstawowe założenie dotyczące modelu mówi, że każdy z komponentów ma ograniczoną pojemność. Komponenty są również relatywnie niezależne od siebie. Wychodząc z tych założeń, nie jest możliwe jednoczesne przetwarzanie przez jeden komponent dwóch różnych zadań (Eysneck i Keane, 2000), co zostało dowiedzione przez Robbinsa (1996) w badaniach dotyczących równoległego wykonywania zadań (np. równoczesnego podejmowania decyzji szachowych i innego zadania dotyczącego jednego z trzech komponentów).

Pętla fonologiczna, analogicznie do modelu Atkinsona (rys. 2.12), podtrzymuje informacje zawarte w magazynie fonologicznym za pomocą operacji powtarzania. Badania prowadzone nad tym zjawiskiem dowiodły, że informacje fonologiczne zanikają po upływie około 2 s (Cohen *et al.*, 1993; Baddeley *et al.*, 1975). Aby podtrzymać je dłużej należy je wewnętrznie, bezgłośnie powtarzać. Dodatkowo Baddeley (1975), eliminując zjawisko

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wpływu długości słów na pętlę fonologiczną, stwierdził, że przetwarzanie słów (pisanych, wraz ze zjawiskiem długości słów) należy do szkicownika wzrokowo-przestrzennego. Pętla fonologiczna ma na celu jedynie przetwarzanie informacji akustycznej. Z tego też względu, w magazynie fonologicznym nie znajduje się informacja semantyczna, a jedynie jej etykieta. Wśród podsystemów pętli fonologicznej wyróżnić można mechanizm aktywny, odpowiedzialny za formułowanie wypowiadanych zdań oraz pasywny, mający związek z przetwarzaniem informacji akustycznej.

Analogicznie do pętli fonologicznej przeanalizować można szkicownik. Wyróżnić tu można podręczny magazyn wzrokowy oraz tzw. *wewnętrznego skrybę*. Magazyn odpowiada za przetwarzanie i przechowywanie informacji pojawiających się w wyniku procesu postrzegania, natomiast skryba stanowi pewnego rodzaju wyobraźnię (medium), dzięki której można manipulować w przestrzenni przywołanym obiektem, a także planować ruchy oraz rozwiązywać zadania przestrzenne (Eysneck i Keane, 2000).

Centrala wykonawcza, czyli tak na prawdę najważniejszy element teorii, realizuje następujące zadania: przetwarza bieżącą informację, koordynuje bufory pamięciowe oraz nadzoruje bieżące operacje. Charakter centrali jest dyskusyjny, bowiem można ją także zaliczyć do systemów uwagi. Według Baddedleya (1996) centrala poprzez nadzór nad bieżącymi operacjami spełnia zadania:

- przełączania pomiędzy aktualnie wdrażanymi planami (akcjami)
- przydzielania aktywności w zagadnieniach wymagających współpracy systemu fonologicznego i wizualnego
- wyboru (uwaga selektywna) właściwych bodźców
- czasowej aktywacji (zapisu/odczytu) LTM.

Podejściem przeciwstawnym do modelu Baddeleya jest integracja pamięci roboczej z pamięcią długotrwałą (Cowan, 1995; Ericsson i Kintsch, 1995). W podejściu Cowana tj. wg teorii aktywacji, informacje zawarte w pamięci długotrwałej posiadają różny stopień aktywacji. Te w pełni aktywowane (powyżej jakiegoś określonego poziomu) są udostępniane świadomości. Oznacza to, że bodziec może jednocześnie aktywować różne obszary pamięci, przez co mogą one pojawić się w świadomości (Cowan, 2001). Z kolei teoria długotrwałej pamięci roboczej Ericssona i Kintscha wydziela kawałek pamięci roboczej zarówno w LTM jak i w STM, dzięki czemu przejście pomiędzy tymi pamięciami staje się łatwiejsze.

2.1.3.5. Pamięć długotrwała

Pamięć długotrwała jest *organem* pamięciowym w potocznym tego słowa znaczeniu. Przechowuje elementy (zarówno abstrakcyjne, jak i konkretne), powiązania między nimi, ich definicje, zdarzenia uporządkowane czasem oraz schematy wykonawcze. Czas przechowywania jest praktycznie (pominąwszy wpływ wieku) nieograniczony (Richardson-Klavehn i Bjork, 2003; Bahrick, 2000). Pamięć długotrwała jest często utożsamiana z wiedzą.

♠ *Wiedza deklaratywna i niedeklaratywna*

Wiedza jest definiowana na różne sposoby, ogólnie uważa się, że wiedza to zbiór przetworzonej informacji potrzebny do lepszego przetwarzania nowej informacji. Według filozofii Platona wiedza jest uzasadnionym i prawdziwym przekonaniem, czyli sądem logicznym. Według Nęcki (2008) wiedza „to forma trwałej reprezentacji rzeczywistości, mająca postać uporządkowanej i wzajemnie powiązanej struktury informacji, kodowanej w pamięci długotrwałej". W kontekście psychologii kognitywnej, wiedza, przechowywana w pamięci długotrwałej, pozwala na rozumienie świata: identyfikację otoczenia (*to jest jabłko*), wyciąganie wniosków (*jabłko jest owocem*) oraz opracowywanie sposobu działania/algorytmu (*jabłko należy podnieść do ust i ugryźć*).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ze względu na powyższe przynależności, wiedzę można podzielić na deklaratywną oraz proceduralną (Squire, 1986). Podział ten został wyprowadzony na podstawie filozoficznego podziału na ‘wiedzę, że’, oraz ‘wiedzę, jak’ (Ryle, 1949). Wiedza deklaratywna mówi o tym czym dany obiekt jest, jakie ma zależności, do czego przynależy, etc. Z kolei wiedza proceduralna umożliwia wykonywanie czynności związanych z obiektami (Maruszewski, 2001). Ze względu na występowanie rodzajów pamięci podobnych do proceduralnej, w późniejszych pracach pojęcie to zostało dychotomicznie zastąpione przez pamięć niedeklaratywną (Squire, 1993).

Pamięć deklaratywna zawiera abstrakcyjne oraz rzeczywiste reprezentacje obiektów, zapisanych zarówno w sposób lingwistyczny, jak i graficzny/wizualny. W większości są to obiekty wcześniej widziane (rzeczywiste obiekty) lub wywnioskowane na podstawie zjawiska generalizacji (abstrakcyjne). Pamięć deklaratywna zawiera także relacje pomiędzy obiektami, z uwzględnieniem dwóch szczególnych relacji: dziedziczenia (‘pies to zwierzę’) i reprezentacji (‘Burek to pies’). Wydobycie informacji deklaratywnych może czasem przysporzyć trudności (ze względu na częstość użycia danej informacji, informacji kontekstowych, emocji, etc.), jednakże wydobyta informacja jest w pełni dostępna i opisywalna.

Z drugiej strony, pamięć niedeklaratywna przechowuje głównie reakcje na określone bodźce (Maruszewski, 2001). Reakcje zapisane są bardziej jako następujące po sobie sekwencje ruchów w odniesieniu do danego bodźca, tworząc pary bodziec – reakcja (S-R *stimulus – reaction*). Sposób zapisu powoduje brak możliwości przypomnienia określonej reakcji bez odpowiedniego kontekstu (np. aby grać na gitarze, potrzebne są bodźce w postaci wyobrażonej lub rzeczywistej gitary). Proces wydobycia informacji z pamięci niedeklaratywnej jest automatyczny, oznacza to, że po wykonaniu jednej części reakcji dostępna staje się następna jej część. Warto wspomnieć, że zjawisko to zostało wykorzystane przy tworzeniu urządzenia do automatycznej nauki gry na pianinie (Huang *et al.*, 2010). Rozpoczęcie utworu powoduje automatyczne załączenie sekwencji ruchu palców, mimo braku wcześniejszych doświadczeń z grą na pianinie.

Rysunek 2.14 Mural reprezentujący wiedzę na Bibliotece Kongresu w Waszyngtonie stworzony przez Roberta Lewisa Reida (1896). Napis pod spodem głosi: *Ignorance is the curse of God; knowledge is the wing wherewith we fly to heaven*; prawa autorskie: R. Lewis Reid, fotografia C. Highsmith, Wikimedia Commons, PD-US.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

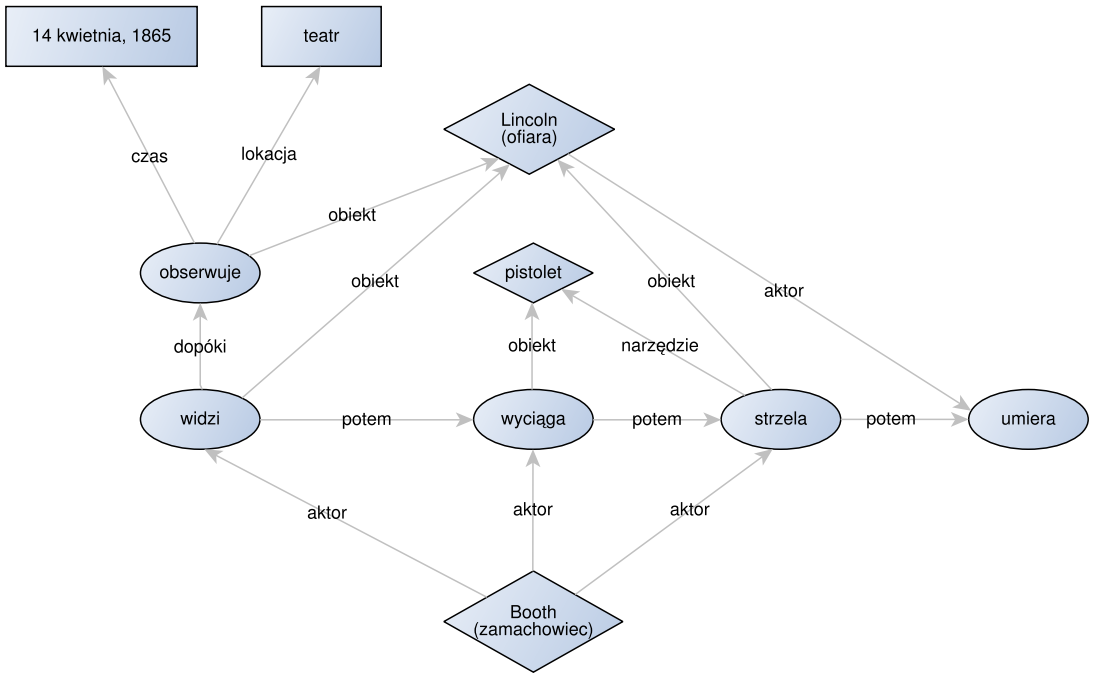
♠ *Format pamięci*

Wiedzę nabywaną z latami można również podzielić ze względu na to, czy została ona nabyta przez własne doświadczenie, czy też poprzez książki lub opinie innych. Na tej podstawie można wyróżnić pamięć semantyczną oraz pamięć epizodyczną (Maruszewski, 2001). Podział ten wprowadził Tulving (1972; 1984) na podstawie rozróżnienia czasowego i przestrzennego oraz wiedzy dotyczącej ogółu informacji.

Pamięć epizodyczna charakteryzuje się uporządkowaniem na osi czasu. Źródłem informacji zbieranych w pamięci epizodycznej są doznania osoby, dotyczące środowiska zewnętrznego, innych osób, obiektów, etc. Zachowane zdarzenia mogą mieć nadany znak emocjonalny oraz pewnego rodzaju ważność (Tulving, 1983). Na przykład zdarzenia traumatyczne są mniej dostępne (Wagenaar, 1986). Według Nęcki (2008) pamięć epizodyczna ma szereg cech odróżniających ją od pamięci semantycznej:

- zdarzenia są datowane (Larsen *et al.*, 1996)
- pamięć epizodyczna (również pamięć autobiograficzna) wiąże treść zdarzeń z ich źródłem
- pamięć ta obejmuje związki przyczynowo-skutkowe
- wiedza w pamięci epizodycznej jest subiektywna
- uwzględnia świadomość autonoetyczną, tj. poczucia doświadczania czegoś na nowo (Nęcka *et al.*, 2008; Wheeler, 2000).

Zdarzenia są łatwiej zapamiętywane przez człowieka niż elementy abstrakcyjne (Paivio i Csapo, 1973; Roediger *et al.*, 2002). Spowodowane jest to ogólną przewagą obrazów (konkretów) nad słowami (abstrakcjami). Zdarzenia z pamięci epizodycznej można zapisać w postaci sieci hierarchicznej (Rumelhart *et al.*, 1972) (rys. 2.15).



Rysunek 2.15 Przykład sieci hierarchicznej jako medium do zapisu zdarzeń w pamięci epizodycznej (Rumelhart *et al.*, 1972).

Z drugiej strony, pamięć semantyczna pozwala na rozumienie faktów i zjawisk, a zwłaszcza ich rozpoznawanie. Przedstawia obiekty symbolicznie, budując strukturę relacji. Z tego względu jest ona zorganizowana pojęciowo, wraz ze wzrastającym stopniem abstrakcji.

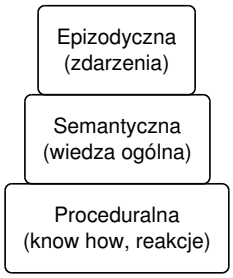
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wydobycie wiedzy z pamięci semantycznej następuje na podstawie rozwinięcia sieci relacji, w ten sposób wiedza może się odnosić do różnych aspektów danego obiektu (Eysneck i Keane, 2000). Na elementach zawartych w pamięci semantycznej można przeprowadzać operacje wnioskowania logicznego. Dzięki temu wiedza w niej zawarta może się rozwijać (dodawać nowe relacje, scalać lub uogólniać podobne elementy), biorąc przy tym pod uwagę wewnętrzne procesy myślenia.

Koncepcja podziału pamięci długotrwałej była długo dyskutowana i rozwijana (Tulving, 1985). Po uwzględnieniu pamięci proceduralnej (omówionej wcześniej) wszystkie pamięci zostały uporządkowane według ewolucji i samodzielności (rys. 2.16). Każdy z systemów wyżej stojących wymaga do swojego działania systemów stojących niżej. Zatem aby korzystać z pamięci semantycznej, należy znać procedurę dostępu do niej (z pamięci proceduralnej). Analogicznie w pamięci epizodycznej – aby odczytać jakieś wspominane zdarzenie, trzeba znać zarówno sposób odczytu, jak i definicje obiektów w nim występujących (które znajdują się w pamięci semantycznej).

Wychodząc z założenia zależności pomiędzy pamięciami, można stwierdzić, że pamięć proceduralna jest całkowicie autonomiczna, działa na zasadzie odruchów, jak np. odruch sięgania do pamięci czy prowadzenia samochodu (Maruszewski, 2001). Podążając tą drogą zauważmy, że pamięć semantyczna jest *świadoma* ze względu na możliwość dostępu do informacji tłumaczących działania lub obiekty. Natomiast dzięki pamięci epizodycznej świadczącej o samoświadomości agenta lub osoby, dostępna jest świadomość poprzednich wydarzeń.

Kolejność ewolucyjna (Tulving, 1985), z którą związany jest podział i zależności pomiędzy pamięciami, była wielokrotnie krytykowana. Niektórzy badacze nawet twierdzą, że pamięć epizodyczna jest nadrzędna w stosunku do semantycznej (Lachman i Naus, 2010). Kwestionowana jest również definicja pamięci proceduralnej, np. z punktu widzenia operacji matematycznych (Piaget, 1971). Dodatkowo możliwość modyfikacji procedur poprzez oddziaływania pamięci semantycznej i epizodycznej również jest sprzeczna z kolejnością pamięci (Maruszewski, 2001).



Rysunek 2.16 Rodzaje pamięci długotrwałej (Tulving, 1985), na podstawie (Pettifor, 2000). Niżej położona pamięć (np. proceduralna) jest wykorzystywana przez wyższe rodzaje pamięci (np. gdyż zawiera sposoby dostępu do określonych elementów).

♠ *Jawność pamięci*

Ze względu na treść przechowywanej informacji możemy wyróżnić (Mulligan, 2003):
- pamięć jawną (ang. *explicit*)
- pamięć ukrytą (ang. *implicit*).

Wszelkiego rodzaju zadania dotyczące przywoływania elementów pamięciowych są jawne. Z kolei pamięć ukryta obejmuje tzw. zjawisko **torowania** (zagadnienia dopowiadania, rozpoznawania i uzupełniania braków), a także zapamiętywanie procedur (Berry *et al.*,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

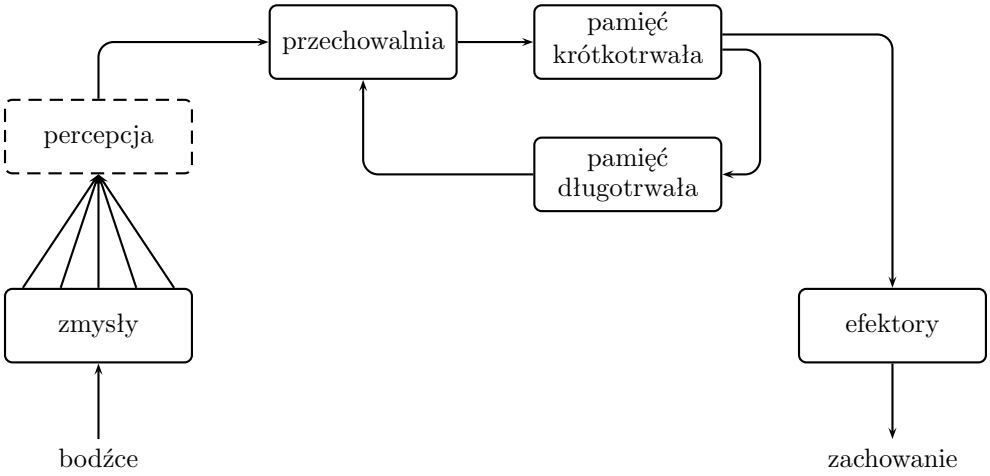
2008; Tulving, 2000). Jednym z ciekawszych fenomenów, dotyczących pamięci ukrytej jest czytanie słów z przekręconymi 'zankami'. Pamięć ukryta dominuje zarówno w młodym, jak i bardzo podeszłym wieku, kiedy pamięć jawna jest dosyć uboga (Carver i Bauer, 2001).

Pamięć ukryta, a w szczególności jej proceduralny aspekt, ujawnia się mimowolnie, bez świadomości. Do zadań korzystających z tego aspektu, należą zadania wykonywane codziennie, jak np. prowadzenie samochodu, pisanie na klawiaturze, itp. (Gonzalez *et al.*, 2008). Do takich zadań nie trzeba świadomie przywoływać elementów pamięciowych.

Widać z powyższego, że oba rodzaje pamięci dotyczą różnych aspektów. Aspekty dotyczące pamięci jawnej nie są rozważane przez pamięć ukrytą. Jednak założenie, iż pamięć jawna i ukryta są ściśle rozdzielne, jest także często podważane. Przykładowo: model *dyslokacji procesów*, który łączy obie pamięci (Daniels *et al.*, 2006; Jacoby, 1991), zakłada, że każda wypracowana odpowiedź systemu zależy zarówno od jawnej, jak i ukrytej pamięci (Sternberg *et al.*, 2012).

2.1.3.6. Blokowe modele pamięci

Istnieje wiele modeli blokowych pamięci (postrzeganej jako magazyn). Wszystkie one jednak wywodzą się z modelu klasycznego. Przykładem takiego modelu jest model Lehrla i Fishera (1988), według którego procesy przetwarzania i integracji informacji przynależą (Nęcka *et al.*, 2008) do bloku zwanego 'przechowalnią' (ang. *accommodator*). Blok ten połączony jest bezpośrednio z pamięcią długotrwałą, z której może korzystać. Innymi słowy, przetwarzanie informacji odbywa się z dostępem do całokształtu wiedzy zawartej w LTM, co jest najważniejszym wnioskiem płynącym z modelu. Koncepcję Lehrla i Fishera (1988) obrazuje rys. 2.17.



Rysunek 2.17 Model pamięci Lehrla i Fishera (1988).

Głównymi wynikami pracy Lehrla i Fishera są prędkości przetwarzania danych pomiędzy poszczególnymi etapami 'pamiętania'. Kanały zmysłowe odbierają bodźce z prędkością 10^{10} bit/sec, przesłanie danych sensorycznych do przechowalni ma już prędkość 10^7 bit/sec, podczas gdy dane z przechowalni przesyłane do STM osiągają prędkość ok. 15 bit/sec. Zapamiętywanie w pamięci długotrwałej odbywa się z prędkością $0.01 - 1$ bit/sec (Lehrl i Fischer, 1988).

Zakłada się według Jamesa (1918), że moduły krótkotrwały i długotrwały są rozdzielne. Skutkuje to pierwszeństwem i efektem świeżości. Zakładając istnienie długiej listy obiektów, najlepiej zapamiętywane są, ze względu na ograniczoność pamięci krótkotrwałej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

(Glasner, 1996), elementy z początku listy (efekt pierwszeństwa) i końca listy (efekt świeżości) . Zjawisko 'końca języka' również dowodzi odrębności systemów pamięci krótkotrwałej i długotrwałej (Nęcka *et al.*, 2008).

Modele blokowe pamięci poddawane są nieustannej krytyce. Mimo wielu eksperymentów dowodzących ich poprawności, pojawiają się również takie, które tej poprawności przeczą. Zasadniczym argumentem, zaprzeczającym modelom blokowym, są różne rozmiary pamięci (krótkotrwałej i długotrwałej) i różne prędkości zapisu/odczytu otrzymane w wyniku eksperymentów (Sternberg *et al.*, 2012; Reynolds i Flagg, 1983). Kolejnym argumentem jest proces mimowolnego uczenia, który w przypadku modeli blokowych nie powinien zachodzić (Nęcka *et al.*, 2008). Wynikiem tej argumentacji są modele dynamiczne pamięci (Nosal, 1990). Również niższego rodzaju kodowanie (za pomocą wielu systemów) nie pomaga modelom blokowym (Baddeley, 2004; Paivio, 1971). Najważniejszym jednak argumentem, kwestionującym modele blokowe pamięci, jest ich odrębność od innych procesów poznawczych (Nęcka *et al.*, 2008). W odróżnieniu od systemów uwagi, które pojawiają się praktycznie na każdym etapie, systemy pamięci (wg modeli blokowych) są zasadniczo odizolowane od reszty. Trudno zatem mówić o selekcji informacji, czy o kodowaniu w oderwaniu od pamięci (Craik i Lockhart, 1972).

2.1.3.7. Proceduralne modele pamięci

Druga klasą modeli opisujących pamięć są modele proceduralne. Biorą one pod uwagę wszystkie aspekty, z powodu których modele blokowe były krytykowane. Za ich pomocą można wyjaśnić mechanizmy pamięciowe, bez odniesienia do metafory magazynów. Wśród modeli proceduralnych można wyróżnić model Rumelharta, Lindseya i Normana (1972) jako pierwszą próbę proceduralnego modelowania pamięci, oraz bardziej popularną i rozbudowaną – teorię poziomów przetwarzania informacji.

Teoria poziomów przetwarzania informacji została zapoczątkowana przez Craika i Lockharta (1972). Teoria ta zakłada, że wszystkie informacje przetwarzane są na tej samej drodze, jednakże z różnym natężeniem i głębokością. Wraz z pogłębianiem poziomu przetwarzania, wzrasta jego złożoność. Nowa informacja, docierająca do systemu, jest tym bardziej zapamiętywana, im głębiej jest przetwarzana (w teorii głębokość przetwarzania może być nieskończona, non stop powtarzana). Pogłębienie poziomu przetwarzania wiąże się z przejściem wszystkich poprzedzających ścieżek, co skutkuje głębszym zapamiętaniem całej drogi przetwarzania. Również w takim wypadku przypominanie działa na zasadzie skojarzeniowej (wystarczy trafić na odcinek ścieżki dotyczących informacji, którą chcemy wydobyć). Umożliwia to szeroko pojęty indywidualizm poznawczy, czego nie jest w stanie wyjaśnić teoria modeli blokowych (Najder, 1997).

Podstawowa wersja teorii poziomów przetwarzania informacji zakłada trzy poziomy:

- poziom pierwszy: sensoryczna analiza danych: ścieżki pamięciowe nietrwałe, możliwe proste porównania
- poziom drugi: semantyczna interpretacja sygnału: rozpoznawanie znaczenia słów, zdań; rozpoznawanie i rozróżnianie prostych obiektów
- poziom trzeci: przetwarzanie z użyciem wiedzy: rozpoznawanie i rozróżnianie skomplikowanych obiektów, umożliwienie skojarzeń, analogie semantyczne, reorganizacja struktury pamięci
- dalsze poziomy: rozwijanie sieci skojarzeń, pogłębianie ścieżki pamięci (zapamiętywanie), reorganizacja pamięci.

Operacje na informacjach można podzielić na dwa mechanizmy: powtarzania podtrzymującego oraz przetwarzania pogłębiającego. Mechanizm powtarzania podtrzymującego nie prowadzi do głębszego poziomu przetwarzania, jednakże pogłębia znaną ścieżkę pamięciową. Mechanizm przetwarzania pogłębiającego stosuje różne operacje dotyczące danej informacji i tworzy nowe połączenia skojarzeniowe. Operacje pogłębiania można podzie-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

lić na: elaborację materiału oraz relację (Morris *et al.*, 1977). Dodatkowo wg Kleina i Kihlstorma (1986) im głębiej przetworzona jest informacja, tym łatwiej poddaje się ona porządkowani oraz reorganizacji.

2.1.4. Pamięć – procesy

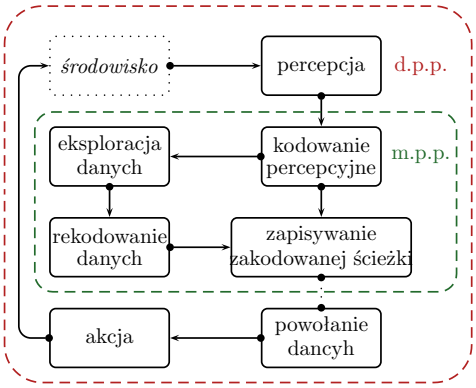
Pamięć może być traktowana jako zbiór procesów. Do podstawowych procesów wchodzących w skład procesów pamięciowych należą (Sternberg *et al.*, 2012; Baddeley, 2004):

- zapamiętywanie
- przechowywanie
- odtwarzanie/opamiętywanie.

Wśród powyższych procesów prostszą formę ma przechowywanie. Pozostałe procesy są bardzo skomplikowane. W procesach pamięciowych można wyróżnić etapy, np. związane z dodawaniem nowych aspektów do posiadanej wiedzy (tzw. aktualizowanie kontekstu).

Podział pamięciowych procesów na trzy sub-procesy jest tylko podziałem schematycznym. Już Tulving (1976) zauważył możliwość rozbicia ich na bardziej szczegółowe operacje. Przykładowo, w trakcie procesu kodowania informacji poszukiwane są również odniesienia do danej informacji z pamięci (tzw. eksploracja informacji). A dalej w zjawisku rekodownia informacji można wydzielić wyszukanie informacji, jej modyfikację i ponowne zapisanie. W podobny sposób można podzielić system przywoływania informacji. Wśród procesów wchodzących w skład przywoływania wyróżnić można przeszukiwanie oraz rozpoznawanie (Loftus i Loftus, 1976), które są dosyć elementarne z punktu widzenia IT. Dodatkowo należy wspomnieć, że zaawansowane techniki zapamiętywania, jak mind-mapy, czy mnemotechniki, wymagają znacznie większej obróbki niż standardowe zapamiętanie. Co z kolei sugeruje wyróżnienie pewnych sub-procesów (Nęcka *et al.*, 2008).

W modelu Tulvinga można wyróżnić tzw. pętle pamięciowe (Tulving, 1976), przedstawione na rys 2.18. Wśród nich znajduje się mała pętla pamięciowa oraz duża pętla pamięciową. Mała pętla pamięciowa oparta jest na procesie związanym z percepcją i zapamiętywaniem informacji, a także na ich analizie (w kontekście znanej wiedzy). Podczas gdy duża pętla wykonuje analizę dostępnych informacji oraz wewnętrzną dedukcję (kontekstów).



Rysunek 2.18 Fazy procesów pamięciowych.

2.1.4.1. Zapamiętywanie

Proces zapamiętywania odnosi się tylko do pamięci długotrwałej (Maruszewski, 2001). W przypadku pamięci sensorycznej mowa jest o rejestrowaniu zakodowanych (w sposób zależny od zmysłów) bodźców, zaś w przypadku pamięci krótkotrwałej, ze względu na jej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ograniczoność nie należy mówić o zapamiętywaniu (co najwyżej może być mowa o powtarzaniu materiału). Na zapamiętywanie ma oczywiście wpływ forma zapamiętywanego materiału. Teorie dotyczące kodowania informacji zostały przedstawione wcześniej w sekcji 2.1.1.2.

W przypadku procesu zapamiętywania należy brać pod uwagę czynniki (Nęcka *et al.*, 2008; Maruszewski, 2001) takie jak:

- liczba powtórzeń materiału (Craik i Watkins, 1973)
- rozmiar materiału – prawa Foucault 2.1 (Foucault, 1928)
- rozłożenie powtórzeń w czasie, zarówno w kontekście całej listy, jak i ekspozycji pojedynczych elementów (Jost, 1897; Hovland, 1938)
- organizacja materiału, a w szczególności efekt grupowania kategorialnego, przypisujący do zapamiętywanej listy strukturę wyższego rzędu, kategorie (Bousfield, 1953; Frost, 1972)
- opracowanie materiału, czyli dodawanie nowych informacji do wcześniej zapamiętanych (Stein *et al.*, 1978)
- sensowność materiału (Maruszewski, 2001)
- zgodność kontekstu zapamiętywania i odtworzenia (Godden i Baddeley, 1975)
- pobudzenie emocjonalne (Christianson i Engelberg, 1999)
- efekt specyficzności kodowania (Tulving i Thomson, 1973).

Wszystkie ww. czynniki mają wpływ na szybkość zapamiętywania informacji. Dotyczą one zarówno nowych, nieznanych wcześniej faktów, jak i modyfikacji wcześniej zapamiętanych informacji.

W przypadku zapamiętywania obiektu w postaci szeregu znaków należy też wspomnieć o prawie Foucault:

$$t = kl^2 \tag{2.1}$$

gdzie t jest czasem uczenia się jednego szeregu, l jest długością szeregu pojedynczych elementów do zapamiętania, zaś k jest parametrem zależnym od danej jednostki (Foucault, 1928). Prawo to wskazuje na kwadratowy związek pomiędzy długością zapamiętywanej listy, a czasem zapamiętania jednego elementu.

Z reguły wiedza wcześniej zdobyta pomaga w procesie zapamiętywania informacji, czy to poprzez kojarzenie, czy zastosowanie dodatkowych procedur do zapamiętywania. Jednak zdarza się czasem, że wcześniejsza wiedza zaczyna przeszkadzać przy zapamiętywaniu. Zjawisko to jest powszechne np. w przypadku dobrze wyćwiczonych procedur. Aby zmienić dobrze znaną i często używaną sekwencję, czyli po prostu zmienić procedurę należy włożyć dużo więcej wysiłku niż w przypadku zapamiętywania nowych procedur. Zjawisko to znane jest jako zjawisko *interferencji proaktywnej* (Underwood, 1945).

Patrząc na zjawisko zapamiętywania z punktu widzenia neurologii, można zauważyć, że zapamiętywanie jest związane z trwałą zmianą w komórkach nerwowych mózgu. Badania przeprowadzone przez Stevens (1981) ukazały, że wstrząs elektryczny zaaplikowany w krótkim czasie po nauczeniu się nowej wiedzy, usuwa ją. W przypadku aplikowania takiego wstrząsu po dłuższym czasie, wiedzy tej nie tracimy. Biologiczny proces zapamiętywania nazywany jest *konsolidacją śladu pamięciowego* (Nęcka *et al.*, 2008).

W analizowanym kontekście nie należy zapominać o specjalnych technikach ułatwiających ten proces. Wśród wielu mnemotechnik można wyróżnić:

- metodę obrazów interaktywnych (do sekwencji obiektów układana jest historyjka)
- kategoryzację
- system słów-wieszaków (dodawanie do znanych historii/sekwencji nowego kontekstu)
- metodę miejsc (kontekst jest dodawany do miejsc)
- mind-mapy (schematy pseudo-blokowe, gdzie bloki kojarzone są z zapamiętywanymi obiektami).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2.1.4.2. Przechowywanie

Wbrew powszechnej opinii, przechowywanie nie jest statycznym procesem. W zależności od typu pamięci, proces przechowywania może wyglądać różnie (Maruszewski, 2001).

W pamięci krótkotrwałej informacje przechowywane są dzięki operacji powtarzania. Może to być związane zarówno z zamkniętymi obwodami neuronowymi (Hebb, 1958), jak i z wewnętrznymi, świadomymi, werbalizowalnymi powtórzeniami (Peterson i Peterson, 1959). Koncepcja zamkniętych obwodów neuronowych przypomina zachowaniem sztuczną neuronową sieć Hopfielda (Hopfield, 1982). W obu przypadkach nowa informacja przepływa przez wszystkie neurony, dopóki sieć/obwód się do niej nie dostosuje. Po dostosowaniu się obwodu, informacja jest albo zapominana, albo zapamiętywana w pamięci długotrwałej (proces konsolidacji). Zaburzenie procesu konsolidacji informacji uniemożliwia jej zapis w pamięci (długotrwałej).

Wielokrotne (świadome) powtarzanie materiału pozwala na wydłużenie czasu przechowywania informacji w pamięci (krótkotrwałej). Według Craika i Lockharta (1972) istnieją dwie opcje powtarzania materiału: nastawienie na utrzymanie i na strukturyzację.

Przechowywanie w pamięci długotrwałej posługuje się różnymi mechanizmami, w zależności od jej typu. Inaczej przechowywane są schematy poznawcze, a inaczej zdarzenia z pamięci epizodycznej. Przechowywanie informacji w pamięci długotrwałej jest nierozerwalnie związane z operacjami zmiany i zapamiętywania nowych informacji. Nowe informacje wprowadzone do pamięci długotrwałej są dopasowywane do aktualnych jej struktur – zjawisko asymilacji (Sternberg *et al.*, 2012). Zjawisko asymilacji nie modyfikuje przechowywanych informacji. Za modyfikację aktualnych schematów poznawczych odpowiedzialne jest zjawisko akomodacji. „Przykładem akomodacji może być dziecko, które nazywa muchę *ptaszkiem* (asymiluje do istniejącego schematu) i dowiaduje się, że mucha nie jest ptaszkiem, ale owadem. W tym momencie schemat dziecka *to, co lata, jest ptaszkiem* zostaje zaakomodowany do nowej informacji: *to, co lata, jest ptaszkiem lub owadem*."[4] Przy zapamiętywaniu nowej informacji modyfikowane mogą być zapamiętane informacje, bądź utworzone struktury poznawcze. Pamięć długotrwała przechowuje informacje w sposób dynamiczny, dopasowując je do do nowo dopływających informacji. Stąd wynika tzw. zjawisko *interferencji retroaktywnej* (Underwood, 1945), które polega na *nakładaniu* się materiału z procesu uczenia. Ucząc się dwóch materiałów w sekwencji, materiał uczony później jest dużo bardziej *widoczny* niż materiał wcześniejszy. Zjawisko to występuje tym silniej, im silniejsze jest podobieństwo między materiałami (Nęcka, 2004).

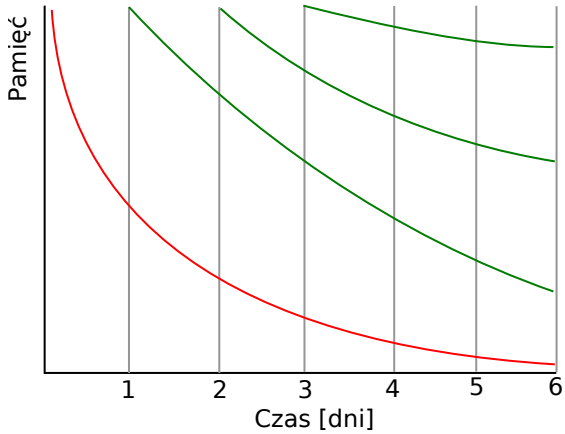
Nie można jednoznacznie stwierdzić, czy zmiany zapamiętanych informacji zachodzą pod wpływem czasu, czy procedur dostosowywania się do nowych informacji (Maruszewski, 2001). Z procesem przechowywania informacji powiązany jest też proces zapominania. Istnieje kilka teorii dotyczących zapominania. Główne nurty w psychologii mówią o zanikaniu, nadpisywaniu śladu pamięciowego informacji, bądź innej niemożliwości wydobycia informacji z pamięci. Koncepcja zaniku śladu pamięciowego, pochodząca od Ebbinghaus (1885), tłumaczy zanik informacji brakiem jej wywołania lub zbyt długim czasem pomiędzy jej kolejnymi wywołaniami. Stąd wniosek, iż informacja nieużywana, nieprzypominana wystarczająco często może zostać utracona. Z kolei wg koncepcji Tulvinga (1974), informacja staje się nieosiągalna na skutek utraty kontekstowego dostępu do niej (zjawisko *końca języka*).

Prędkość zapominania informacji zależy również od rodzaju pamięci. Eksperymenty dotyczące zapominania pamięci deklaratywnej przeprowadzał Ebbinghaus (1885), pamięci semantycznej – Bahrick (1984), pamięci epizodycznej – Linton (1975). Badania te dowiodły, że kształt krzywej zapominania jest eksponencjalny. Dodatkowo, istnieje duża korela-

[4] Wikipedia.org

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

cja pomiędzy sensownością zapamiętywanych informacji a tempem zapominania (Ballard, 1913). Krzywe zapominania w zależności od liczby przypomnień pokazuje rys. 2.19.



Rysunek 2.19 Krzywe zapominania Ebbinghausa po kolejnych przypomnieniach; prawa autorskie: Icez, Wikimedia Commons..

2.1.4.3. Przywoływanie

Wśród mechanizmów przywoływania można wyróżnić dwa mechanizmy: odtwarzanie za pomocą przypominania oraz rozpoznawania (Maruszewski, 2001). W pierwszym przypadku chodzi o znalezienie konkretnej, sprecyzowanej informacji w pamięci. Natomiast w przypadku rozpoznawania należy znaleźć prawidłową odpowiedź na pytanie z możliwego zbioru odpowiedzi. Pomiędzy rozpoznawaniem a przypominaniem występuje szereg różnic.

Aktualny stan badań w zakresie różnic pomiędzy rozpoznawaniem a przypominaniem można streścić w dwóch przeciwstawnych sobie teoriach. Teoria przestawiona przez Watkinsa i Gardinera (1979) mówi o tym, że proces przypominania składa się z dwóch faz. Pierwsza faza odpowiada za przeszukiwanie na podstawie zewnętrznych wskazówek, druga zaś na rozpoznaniu czy przypominana informacja jest właściwą. Rozpoznawanie składa się tylko z jednej fazy. Druga teoria, Tulvinga (1976), opisuje dwa jednofazowe procesy. Różnica pomiędzy nimi dotyczy liczby wskazówek, na podstawie których przeprowadzane jest rozpoznawanie (wiele wskazówek zewnętrznych, często więcej niż potrzeba) lub przypominanie (mało wskazówek zewnętrznych, dominują wskazówki pamięciowe). Teoria Tulvinga wyjaśnia również prędkość i efektywność obu procesów.

Z przedstawionych teorii można wysnuć wniosek o istotności wskazówek zewnętrznych, bądź wewnętrznych, przy przywoływaniu elementów z pamięci. Wskazówki zewnętrzne dotyczą przede wszystkim cech przywoływanego obiektu. Zaś wskazówki wewnętrzne dotyczą kontekstu, dopowiedzeń, dodatkowych informacji uzyskanych przez postrzeganie emocji i nastroju agenta w procesie top-down. Ucros (1989) dowiódł, iż emocje i nastrój wpływają na proces przywoływania. Na prędkość przywoływanie ma wpływ zgodność aktualnego nastroju (z nastrojem skojarzonym z przywoływanym obiektem) oraz osobisty charakter przywoływanych elementów. Zaś zapamiętywaniu sprzyja pozytywny nastrój (Nęcka *et al.*, 2008).

2.1.5. Myślenie i rozumowanie

„Myślenie to proces łączenia elementów poznawczej reprezentacji świata w dłuższe ciągi. Tak utworzony ciąg zastępuje realne, obserwowalne zachowanie w rzeczywistym świecie fi-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

zycznym lub społecznym, uwalniając od konieczności ponoszenia natychmiastowych skutków działań" (Nęcka *et al.*, 2008). Ten termin jest bardzo wieloznaczny. Można w nim się doszukać kontekstu dotyczącego zarówno elementów wyobraźni, wyobrażania, modelowania rzeczywistości, abstrahowania, tworzenia pojęć, formułowania sądów, wnioskowania, rozumowania, rozwiązywania problemów, podejmowania decyzji, czy planowania. W zależności od autorów procesy te bywają rozdzielane i osobno omawiane, lub łączone i omawiane jako myślenie. W niniejszej pracy pod pojęciem myślenia uwzględniamy wszystkie jego składowe (tj. rozwiązywanie problemów, podejmowanie decyzji, rozumowanie i planowanie).

W ogólności myślenie polega na manipulacji wiedzą w ludzkim systemie poznawczym. Pomimo tego, myślenie dotyczy przede wszystkim zachowania jednostki w zewnętrznym środowisku. Myślenie jest głównie ukierunkowane na rozwiązywanie problemów, z jakimi dana jednostka się spotyka (choć nie zawsze). Główną funkcją myślenia jest próba „zastępowania jawnego zachowania" (Strelau, 2004), czyli modelowanie świata zewnętrznego.

Potocznie myślenie uznawane jest za zjawisko świadome i kontrolowane. Jednakże świadomość myślenia jest dość kontrowersyjna. Pomimo świadomości efektów, człowiek nie jest świadomy przebiegu procesu myślenia (Maruszewski, 2001). Z kolei kontrola myślenia jest zaprzeczana przez tak zwane myśli intruzyjne, tj. wtrącone (Wegner, 1992).

Myślenie można w pewien sposób podzielić tak samo jak inne procesy poznawcze. Podstawowym sposobem jest podział według Berlyne'a (Berlyne, 1965), który wyróżnia myślenie autystyczne oraz myślenie realistyczne. Myślenie **realistyczne** jest ukierunkowane na jakikolwiek cel. Ograniczone jest przez reguły rzeczywistości oraz ograniczenia związane z pamięcią długotrwałą agenta. Z kolei myślenie **autystyczne** nie posiada żadnego konkretnego celu. Efektem myślenia autystycznego jest rozwój zdolności myślenia, restrukturyzacja pamięci, weryfikacja dostarczonych wcześniej informacji (w dużej ilości). Pozwala też zaspokajać potrzeby (Nęcka *et al.*, 2008).

W myśleniu realistycznym można wyróżnić (Nęcka *et al.*, 2008) myślenie produktywne i reproduktywne (Maltzman, 1955; Selz). Myślenie reproduktywne polega na odtwarzaniu wcześniej poznanych koncepcji/schematów (np. tabliczka mnożenia), podczas gdy myślenie produktywne skupia się na wykorzystaniu znanych narzędzi do rozwiązania nowego (nierozwiązanego wcześniej) problemu. Należy również wspomnieć o myśleniu twórczym, które mimo podobnego mechanizmu jak myślenie produktywne, nie jest nim (Nęcka, 1995). Aby myślenie mogło zostać uznane jako twórcze wymagana jest ocena społeczna jego efektów (pod względem estetycznym, poznawczym, inżynierskim, itp.). Myślenie twórcze umożliwia łączenie pozostałych rodzajów myślenia. Kolejnym rodzajem myślenia jest myślenie krytyczne, które dopełnia myślenie realistyczne. Polega ono na ocenie aspektów aktywności człowieka, jej przebiegu (np. toku rozumowania), jak i innych obiektów (np. ocena zachowania psa).

Oprócz różnych podziałów w procesach myślenia, powstało także wiele teorii dotyczących szerszego spektrum niż klasyczna definicja myślenia. Wśród nich można wyróżnić teorie myślenia oparte na behawioryzmie (bodziec-reakcja) oraz na podejściu informacyjnym (teoria Barona) (Nęcka *et al.*, 2008). W aspekcie poszerzenia spektrum wyróżnia się rozumowanie dedukcyjne, indukcyjne oraz ich dalsze pochodne, takie jak wnioskowanie logiczne, warunkowe, sylogistyczne, rozmyte. Całokształt tych procesów, nazywany poszerzonym myśleniem, dotyczy zarówno myślenia produktywnego, jak i reproduktywnego, w zakresie nieco szerszym niż klasycznym (głównie ze względu na procesy rozumowania).

2.1.5.1. Teoria bodziec-reakcja

Behawiorystyczne podejście do myślenia od dawna stosowano w automatyce (Arkin, 1998). Wywodzi się ono z podejścia neobehawiorystycznego w psychologii (Berlyne, 1965). Teoria bodziec-reakcja polega na działaniu według zapamiętanych związków pomiędzy bodźcami

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

a reakcjami. Zarówno bodźce, jak i reakcje, mogą być traktowane symbolicznie: np. może być to reakcja przywołania jakiegoś zdarzenia z pamięci, co z kolei może np. wywołać bodziec emocjonalny związany z danym zdarzeniem. Poszczególne związki symboliczne typu bodziec-reakcja składają się w ciągi, gdzie wejściem jest rzeczywisty bodziec, a odpowiedzią rzeczywista reakcja. Wielokrotne powtarzanie odpowiedniego ciągu powoduje uczenie się właściwych reakcji.

2.1.5.2. Teoria Barona

Podejście informacyjno-przetworzeniowe oparte jest bardziej na koncepcjach podejmowania decyzji. W założeniu autora (Baron, 2008), w procesie myślenia można wyróżnić operacje wyszukiwania i wnioskowania (analogia do myślenia reproduktywnego i produktywnego), które mogą dotyczyć różnych obiektów, przynależnych do *klas* takich jak:

- możliwości – potencjalne rozwiązania problemu formułowanego wewnątrz umysłu
- dowody – informacje o spełnienia celu
- cele – kryteria oceny możliwości.

Sam proces myślenia polega na znalezieniu (wyszukiwaniu lub wnioskowaniu) odpowiedniej możliwości, która spełni określony cel (dowody potwierdzające możliwości). Proces ten nie jest jednoznacznie uporządkowany. W każdej chwili mogą zostać dodane nowe cele, możliwości czy dowody. Dodatkowym aspektem tej teorii jest planowanie mające na celu rozłożenie w czasie wyszukania odpowiedniej możliwości.

2.1.5.3. Operacje umysłowe

Do podstawowych operacji umysłowych, czyli przekształceń reprezentacji umysłowych, można zaliczyć operacje analizy i syntezy (Blatt i Stein, 1959). Analiza jest rozkładaniem reprezentacji na czynniki pierwsze (wyjaśniając złożone zjawiska za pomocą składowych). Z kolei synteza realizuje składanie prostych reprezentacji w reprezentacje złożone (opisując np. relacje pomiędzy obiektami). Oprócz tych dwóch rodzajów operacji można mówić o operacjach pochodnych, formułowanych przez Kozielskiego (1992), do których należą porównywanie (wyszukiwanie podobieństw), abstrahowanie (wyodrębnianie istotnych elementów) i uogólnianie (sprowadzanie do wyższego poziomu abstrakcji). Wśród operacji umysłowych należy także wspomnieć o prawach kojarzenia, używanych głównie podczas myślenia autystycznego (Nęcka *et al.*, 2008): podobieństwa, kontrastu i przechodniości (mediacji). Do operacji umysłowych należy doliczyć reguły transformacji zdefiniowane przez Berlyne (1965):

- składanie transformacji
- istnienie transformacji zerowej
- odwracalność transformacji
- łączenie transformacji.

Dodatkowo (Nęcka *et al.*, 2008), przy rozwiązywaniu problemów, człowiek posługuje się algorytmami (jednoznacznymi i niezawodnymi przepisami działań) oraz heurystykami (nieformalnymi i uproszczonymi metodami).

2.1.5.4. Rozumowanie

„Rozumowanie jest procesem formułowania wniosku na podstawie przesłanek" (Nęcka *et al.*, 2008), co właściwie oznacza uznawanie za prawdziwą lub fałszywą informację/przekonanie/fakt za pomocą innych informacji, przekonań lub faktów. Wśród różnych typów należy przede wszystkim (Łukasiewicz, 1915; Jeffrey i Burgess, 1967; Nęcka *et al.*, 2008) wyróżnić rozumowanie:

- dedukcyjne, tj. wyciąganie wniosków z przesłanek, wśród których można wykazać:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

  - rozumowanie warunkowe (zawodne), np. reguły potwierdzenia następnika, czy zaprzeczenia poprzednika (Nęcka *et al.*, 2008)
  - logiczne metody wnioskowania (niezawodne), takie jak *modus ponenso ponens*, *modus tollendo tollens*, *reguła odrywania* (Nęcka *et al.*, 2008)
  - rozumowanie sylogistyczne, tj. wnioskowanie na podstawie dwóch przesłanek, zwane także sylogizmem warunkowym stoików (Nęcka *et al.*, 2008)
  - rozumowanie bezpośrednie, czyli korzystanie prosto z abstrakcyjnych schematów reguł opartych na logice mentalnej (*ludzkiej*, *umysłowej*) (Braine, 1978)
  - rozumowanie pośrednie, tj. dopasowanie i używanie schematów wykraczających poza logikę, nabytych w trakcie zmagania się z różnymi problemami, jak np. rozwiązywanie skomplikowanych zadań matematycznych (Braine, 1978)
  - rozumowanie przez błędy, innymi słowy wyciąganie fałszywych wniosków z przesłanek lub używanie błędnych reguł rozumowania (Eemeren *et al.*, 2009)
- indukcyjne, tj. tworzenie wniosków na podstawie zgromadzonych przykładów, gdzie można wymienić:
  - testowanie hipotez, czyli tworzenie hipotezy, a następnie sprawdzenie empiryczne jej działania, przy czym tworzenie hipotez może podlegać tendencjom (Wason, 1960)
  - rozumowanie przez analogie, czyli wyszukiwanie relacji pomiędzy obiektami, a następnie odwzorowanie tej relacji na inne obiekty (Helman, 2013; Gentner *et al.*, 2001)
- rozumowanie probabilistyczne, które jest powiązane z próbą szacowania prawdopodobieństwa poszczególnych opcji i wyboru najbardziej prawdopodobnej (Shimojo i Ichikawa, 1989)
- abdukcyjne, oznaczające bezpośrednie przeciwieństwo dedukcji (dedukcja wsteczna), czyli poszukiwanie pewnego zbioru, przyczyny faktów (Urbański, 2009)
- redukcyjne, w którym na podstawie wniosku wywodzona jest przyczyna (Bocheński i Judycki, 1992)
- nieformalne, które opierając się na rozumowaniu dedukcyjnym pozwalającym na poszerzenie przesłanki o dodatkowe informacje, może zniekształcać reprezentacje problemu (Shaw, 1996).

W ogólności należy stwierdzić, że rozumowanie składa się wnioskowania, sprawdzania, dowodzenia i wyjaśniania.

2.2 Motywacja do działania

Motywacja do działania jest jednym z najstarszych, filozoficznie rozpatrywanych czynników. Platon, wychodząc z założenia trójdzielności duszy (rozsądek, pożądliwość, popędliwość), zakładał, że każda jej część z osobna ma swoje własne pragnienia (często nawet przeciwstawne), które człowiek stara się zrealizować (Plato, 2012). Z kolei Machiavelli (1984) postulował, że ludzka motywacja sprowadza się do osiągnięcia potęgi (władzy) i statusu wyższego od innych. Współcześnie, na teorii motywacji koncentruje się bardziej psychologia niż filozofia, stąd istnieje bardzo wiele różnego rodzaju teorii psychologicznych dotyczących motywacji (Madsen, 1974). Dla niniejszej pracy nie wszystkie teorie są przydatne, dlatego też poniżej przedstawiono podejścia, które mogą zostać wykorzystane przy tworzeniu systemów autonomicznych.

W teorii motywacji można wyróżnić składowe związane z przedstawionymi poniżej teoriami, takimi jak popędy, potrzeby, etc. Z kolei pobudki do działania można zaliczyć do jednej z czterech kategorii (Madsen, 1974):

- homeostatycznej – że jakakolwiek zmiana równowagi środowiska wewnętrznego powoduje skłonność do działania

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- behawiorystycznej – że każdy bodziec zewnętrzny lub popęd powoduje skłonność do działania
- poznawczej – że źródłem motywacji jest przetworzona informacja
- humanistycznej – że źródło jest całkowicie wewnętrzne.

2.2.1. Motywacja ewolucyjna

Podejście ewolucyjne do teorii motywacji wywodzi się od Karola Darwina. Motywacja w tym podejściu uznawana jest jako „gotowość do wykonania pewnego ewolucyjnie utrwalonego wzorca" (Strelau, 2004), natomiast podstawowym pojęciem jest instynkt lub popęd. Aktywność sterowana jest za pomocą zakodowanego genetycznie mechanizmu uruchamianego na podstawie popędu oraz bodźców wyzwalających (Lorenz, 2002). Mechanizm wywołania aktywności składa się z trzech etapów:

1. narastanie siły popędu
2. pobudzenie organizmu przez bodźce wyzwalające
3. rozładowanie popędu poprzez reakcję.

Podejście ewolucyjne do teorii motywacji dotyczy wszystkich istot żyjących, nie tylko człowieka.

2.2.2. Motywacja psychodynamiczna

W psychodynamicznej teorii motywacji Zygmunt Freud zakłada, że człowiekiem rządzą trzy wrodzone popędy: seksualny, przeżycia, śmierci. Na ich podstawie człowiek formułuje swoje działanie, jednakże w sposób nieświadomy. Popęd wg Freuda charakteryzowany jest przez zasadnicze cechy, takie jak (Strelau, 2004):

- źródło (stan organizmu)
- impet (wielkość napięcia)
- przedmiot pożądania (na który skierowany jest popęd).

Kontrowersyjne wydaje się zdefiniowanie tylko trzech popędów u człowieka, stąd też inni autorzy mówią o kolejnych popędach:

- bezpieczeństwa (Sullivan, 2013; Horney, 1937)
- idealizowania się (Horney, 1937)
- przyjemności (Sullivan, 2013).

2.2.3. Behawiorystyczne podejście do motywacji

Behawiorystyczna teoria motywacji zakłada trzy podstawowe pojęcia (Strelau, 2004):

- popęd – niedobór pozytywnych czynników lub nadmiar negatywnych
- przynęta – obiekt mogący zredukować popęd
- wzmocnienie – wszystko co jest w stanie zwiększyć prawdopodobieństwo wystąpienia tej samej reakcji wywołanej popędem.

Wśród popędów wyróżnia się popędy pierwotne (wrodzone), nie wymagające nauki, i popędy wtórne, wynikające z doświadczenia. Przynęta natomiast (pojawienie jej się w polu widzenia) może zarówno zwiększać popęd, jak i go redukować (Goodall, 1986). Gotowość do reakcji odpowiadającej na popęd lub przynętę jest bezpośrednio powiązana z wielkością nagrody (stopniem zaspokojeniem popędu), regularnością i częstością jej otrzymywania (jak regularnie i często dostaje się nagrodę w odpowiedzi na reakcję) oraz bliskością celu (Malewski, 1975).

Behawiorystyczna teoria motywacji jest mocno oparta na teorii wzmocnień Skinner (1990). Założeniem tej teorii jest przekonanie, że zachowanie człowieka zależy od skutków podjętych przez niego akcji. Innymi słowy, wybór reakcji zależny jest od jej wpływu (pośredniego lub bezpośredniego) na system motywacyjny człowieka. Pozytywne wzmocnienie następuje, gdy konsekwencją zachowania jest pożądany (wtórny) *bodziec*. Z kolei

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

negatywne wzmocnienie występuje, gdy na skutek reakcji *bodziec* wywołujący niepożądane efekty zostaje usunięty. Skinner (2011) założył, że popędy pierwotne nie wymagają wzmocnienia, gdyż są one *wbudowane* przez ewolucję.

2.2.4. Teorie potrzeb

Potrzeba psychiczna w ogólności jest stanem motywacyjnym mówiącym o braku czegoś, skłaniającym człowieka do podejmowania akcji zmierzającej do uzupełniania danego braku. W ogólności teorie motywacyjne potrzeb należą do psychologii humanistycznej.

2.2.4.1. Potrzeby Murraya

W systemie potrzeb Murraya (1938) potrzeba jest siłą organizująca procesy poznawcze w celu zmiany napięcia (sytuacji). Potrzeby, choć są uniwersalne dla wszystkich ludzi, u niektórych mają inne priorytety. Osobowość, czyli hierarchia potrzeb, może być zdefiniowana poprzez cztery determinanty (Flett, 2014):

- konstytucyjne
- przynależności do grupy
- celu życiowego
- sytuacyjne.

Murray (1938) wyróżnia dwa typy potrzeb (analogiczne do popędów behawiorystycznych): pierwotne (biologiczne) i wtórne (psychologiczne). Wśród nich zidentyfikowano listę potrzeb przynależnych do pięciu różnych grup:

- ambicji, czyli potrzeby:
  - osiągnięć
  - uzyskania wysokiego statusu społecznego
  - tworzenia
  - imponowania innym.
- potrzeb materialistycznych:
  - posiadania
  - porządku
  - przechowywania
  - budowania.
- siły, czyli potrzeby:
  - dominacji
  - szacunku
  - autonomii
  - opozycji
  - agresji
  - poniżania
  - unikania winy
  - unikania krzywdy
  - unikania upokorzenia
  - obrony statusu (bezpieczeństwa), czyli:
    - ukrywania otrzymania pomocy lub popełniania błędów
    - obrony przed posądzeniem otrzymania pomocy lub popełniania błędów
    - przeciwdziałania posądzeniom.
- uczuć:
  - afiliacji
  - seksu
  - izolowania się
  - niesienia pomocy innym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

  - zaspokajania własnych potrzeb przez kogoś innego
  - doznawania aprobaty i uznania ze strony innych
  - uzewnętrzniania swojej osobowości i ekshibicjonizmu
  - uległości
  - poniżania się
  - zabawy.
- wymiany informacji:
  - doświadczania zmysłowych zdarzeń
  - rozumienia, ciekawości, wyszukiwania odpowiedzi
  - ekspozycji, czyli dostarczania informacji innym.

Warto dodać, że nie jest to zamknięta lista, gdyż oprócz wymienionych potrzeb, każda jednostka może mieć własne, indywidualne potrzeby.

2.2.4.2. Potrzeby Maslowa

Najbardziej znaną teorią humanistyczną dotyczącą motywacji jest piramida potrzeb (Maslow, 1943; Maslow *et al.*, 1970). Założył on, że wszystkie ludzkie potrzeby można podzielić (Strelau, 2004) na tzw. potrzeby niedoboru, D-potrzeby (ang. *deficiency needs*) i potrzeby wzrostu, B-potrzeby (ang. *beeing needs*). Do D-potrzeb należą następujące grupy hierarchicznych potrzeb:

1. fizjologiczne: oddychanie, jedzenie, picie, sen, seks
2. bezpieczeństwa: nieobecność fizycznych zagrożeń (wojny, katastrof naturalnych, przemocy w rodzinie, wykorzystania w dzieciństwie), brak ekonomicznych zagrożeń (kryzys, utrata pracy, oszczędności, ubezpieczenia, itp.), zdrowia i dobrego samopoczucia
3. miłości i przynależności: miłości, przyjaźni, rodzinnego ciepła, itp.
4. szacunku: statusu społecznego, rozpoznania, sławy, prestiżu, przyciągania uwagi.

Można również rozróżnić B-potrzeby:

5. szacunku: samo-szacunku
6. samo-doskonalenia: poznania świata, wiedzy, rozumienia, osiągnięcia własnych celów
7. samo-transcendencji: rozwijania, poszerzania własnych granic (Maslow, 1991).

Głównym założeniem teorii Maslowa (1943) jest ważność poszczególnych klas. Mianowicie, człowiek dąży do zaspokojenia wszystkich potrzeb w odpowiedniej kolejności, najpierw najważniejsze są te potrzeby znajdujące się najniżej w piramidzie (rys. 2.20). Kiedy wszystkie potrzeby z danej klasy (poziomu) są spełnione, ważniejsze stają się potrzeby o wyższym poziomie. Potrzeby typu B są zaspokajane, kiedy wszystkie potrzeby typu D są spełnione, lub (najczęściej) ich zaspokajanie jest opanowane w stopniu mistrzowskim, czyli nawet drobne niezaspokojenie może być błyskawicznie spełnione za pomocą znanej reakcji.

Należy zaznaczyć, że humanistyczna teoria motywacji zakłada częściowy wybór pomiędzy potrzebami. Oznacza to, że choć wszystkie potrzeby domagają się zaspokojenia (nawet w obrębie tej samej klasy) to człowiek ma możliwość wyboru, które z potrzeb zdecyduje się zaspokoić. Przedstawione na rys. 2.20 potrzeby mają charakter orientacyjny, każdy człowiek posiada nieco inny zestaw potrzeb, co z kolei wpływa zdecydowanie na zestaw reakcji, które mogą te potrzeby zaspokoić.

2.2.5. Teoria pragnień

Kolejnym aspektem motywacji człowieka jest podejście oparte na instynktownych pragnieniach. Podstawą tej teorii są prace Jamesa (2013), który jako napędy ludzkiego zachowania wymienia trzynaście pragnień:

1. oszczędzania, pragnienie do gromadzenia i kolekcjonowania rzeczy
2. budowy, pragnienie do budowania i osiągnięć

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rysunek 2.20 Uproszczona piramida potrzeb Maslowa.

3. ciekawości, pragnienie do rozwoju i nauki
4. ekspozycji, pragnienie uwagi
5. rodziny, pragnienie wychowania dzieci
6. polowania, pragnienie wyszukiwania jedzenia
7. porządku, pragnienie czystości i organizacji
8. zabawy
9. seksu, pragnienie reprodukcji
10. wstydu, pragnienie do ominięcia bycia wyobcowanym
11. bólu, pragnienie zapobiegania sytuacji sprawiającej ból
12. stada, pragnienie kontaktu socjalnego
13. zemsty, pragnienie agresji.

Z kolei najnowsze prace Reiss (2002) wykazują na istnienie szesnastu podstawowych pragnień kierujących działaniem człowieka:

1. akceptacja
2. ciekawość
3. jedzenie
4. rodzina
5. honor (lojalność)
6. idealizm (sprawiedliwość społeczna)
7. niezależność
8. porządek
9. aktywność fizyczna
10. siła (wpływ własnej woli)
11. romans
12. gromadzenie
13. kontakty społeczne
14. spokój (bezpieczeństwo)
15. zemsty.

Warto zauważyć, że w obu teoriach pojęcie pragnienia w dużej części się pokrywa. Jednocześnie można się odnieść do teorii potrzeb, które również się pokrywają z definicjami pragnień. Zasadniczą różnicą jest jednak nieuporządkowanie pragnień, które jednak jest krytykowane przez Maslowa (1943).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2.3 Emocje

Drugim, aczkolwiek wcale nie mniej ważnym systemem napędzającym człowieka są emocje, które są mechanizmem powstałym na drodze ewolucyjnej (Tooby i Cosmides, 1990). Ukształtowały się one dosyć wcześnie jako odpowiedź na coraz to bardziej różnorodne problemy i zagrożenia ze strony środowiska. Pomimo rozmaitych teorii, dosyć kontrowersyjnych, aktualnie panuje przekonanie, że nie tylko ludzie i zwierzęta człekokształtne posiadają mechanizm emocji. Problemem dość powszechnie poruszanym jest niemożliwość informowania przez zwierzęta o swoim stanie emocjonalnym. Według badań z dziedziny biologii i neurobiologii, emocje posiadają nie tylko ssaki (gryzonie, psy, koty), ale także ptaki (Fraser i Bugnyar, 2010), a nawet pszczoły (Bateson *et al.*, 2011). Szczególnie jednak ważne są badania dotyczące ssaków naczelnych, jako zwierząt najbliżej spokrewnionych z ludźmi. Zwłaszcza goryle, które potrafiły mniej lub bardziej porozumiewać się z ludźmi, definiowały nawet swój stan emocjonalny (McGraw, 1985; Goodall, 1986).

Emocje dosyć wcześnie zostały zdefiniowane przez filozofów. Już Platon wspomina o emocjach jako podrzędnym aspekcie ludzkiego życia, któremu należy się przeciwstawić (racjonalizm). Podobnie twierdził Arystoteles, że emocje upośledzają możliwość oceny sytuacji przez człowieka. Jednakże później Arystoteles (350b; 350a) głębiej rozważył obecność emocji. Zauważył on, że emocje wywołane przez ten sam gest mogą być różne (wręcz przeciwne) w zależności od sytuacji oraz wewnętrznych przekonań (Oatley *et al.*, 2012). Podobny pogląd przewijał się poprzez dalsze wieki, np. w przekonaniach stoików, Kartezjusza, czy Kanta. Nurtem pozytywnie oceniającym emocje, jako czynnik motywujący do czynienia dobra, było oświecenie, reprezentowane przez Hume'a.

Pierwsze próby klasyfikacji różnych rodzajów emocji podjął się René Descares (1989). Wyróżnił on sześć podstawowych emocji: zastanowienie, pożądanie, radość, miłość, nienawiść oraz smutek. Wszystkie one są ściśle związane z reakcją fizyczną organizmu. Descartes jednoznacznie rozgraniczył powiązanie pomiędzy emocjami (personalnymi, duchowymi), percepcjami (dotyczącymi zewnętrznego świata), a pasjami ciała (wewnętrznymi pragnieniami).

Z kolei Darwin (1872) w XIX wieku zasugerował, że emocje mają znaczenie adaptacyjne (w kontekście przystosowywania się do zmiennego środowiska) oraz komunikacyjne (kontekst socjologiczny). Co więcej, zauważył też on emocje u zwierząt. Pomijając metody ekspresji emocji, Darwin opisał również pochodzenie emocji jako przydatne mechanizmy zapamiętane ewolucyjnie, bądź indywidualnie, opierające się refleksach. Innymi słowy emocje to wytworzone już w świecie prehistorycznym mechanizmy przetrwania. Oczywiście akcje kojarzone z emocjami (śmiech czy płacz) mogły stracić definitywne znaczenie dla przetrwania. Ciągle jednak takie emocje ułatwiają komunikację międzyludzką (Oatley *et al.*, 2012). Z kolei w opinii Jamesa (1890) emocje są głównie fizycznym skutkiem, odpowiedzią organizmu na różnorakie sytuacje i wyrażają się różnym *natężeniem*, a także *barwą*.

Podejście fizjologiczne postuluje, że emocje wykształciły się z procesów homeostazy. Według teorii cybernetycznej homeostat to podsystem mający na celu „utrzymywanie systemu autonomicznego w równowadze funkcjonalnej" (Mazur, 1976). Aby to osiągnąć, homeostat przeciwdziała przepływom informacji i energii zmniejszającymi możliwość oddziaływania na środowisko. Innymi słowy, emocje mają na celu dostosowanie człowieka do stanu bardziej efektywnego reagowania na bodźce przychodzące z otaczającego go środowiska. Można założyć, że kiedy ilość właściwej informacji do przetworzenia jest zbyt duża, emocje stanowią kluczową rolę przy wyborze reakcji.

Wśród wielu *współczesnych* definicji psychologicznych emocji warto wyróżnić następujące definicje (Oatley *et al.*, 2012):

- James (1884): „ ...cielesne zmiany wynikające bezpośrednio z postrzegania ekscytujących faktów w rzeczywistości oraz samo poczucie tych zmian, które występują, to

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

emocje. Zdrowy rozsądek mówi, że kiedy tracimy fortunę, to jest nam przykro i płaczemy; kiedy spotkamy niedźwiedzia, jesteśmy przerażeni i uciekamy lub wymagamy obrony; gdy jesteśmy obrażani przez rywala, czujemy złość i uderzamy. Niniejsze założenie mówi, że logika ta jest błędna (...), że bardziej racjonalne jest stwierdzenie, że czujemy przykrość, przez płacz; złość, przez uderzenie; ból, przez dygotanie (...) Bez stanów ciała wynikających z percepcji, życie byłoby czysto poznawcze w formie, blade, bezbarwne, pozbawione emocjonalnego ciepła. Możemy wtedy zobaczyć niedźwiedzia i ocenić, że najlepiej będzie uciec, otrzymać zniewagę i uznać to za prawo do uderzenia, ale nie powinniśmy poczuć bólu lub złości."[5]

- Arnold i Gasson (1954): „za emocje bądź afekt można uznać odczuwalną tendencję do obiektu określoną pozytywnie lub tendencję z dala od obiektu określoną negatywnie, wzmocnioną przez konkretne zmiany fizyczne w zależności od rodzaju emocji."[6]
- Lutz i White (1986): „Emocje są pierwotnym idiomem definiującym i negocjonującym relacje socjalne w porządku moralnym."[7]
- Tooby i Cosmides (1990): „Emocje odpowiadają specjalistycznemu systemowi koordynacji mechanizmów regulujących każdy proces biologiczny. Oznacza to, że każdy stan emocjonalny przejawia cechy konstrukcyjne mające na celu rozwiązanie konkretnych problemów adaptacyjnych, przy czym mechanizmy psychologiczne zakładają unikalną konfigurację."[8]
- Lazarus i Lazarus (1994): „Emocje są zorganizowanymi psychofizycznymi reakcjami skojarzonymi z nowymi faktami dotyczącymi aktualnego środowiska."[9]
- Ekman (1992): „Emocje są postrzegane poprzez ewolucje ich wartości adaptacyjnych w kontaktach z podstawowych czynnościami/zadaniami życiowymi. Każda emocja ma unikalne cechy: sygnał, fizjologię oraz poprzedzające ją wydarzenia. Każda emocja ma również cechy wspólne z innymi emocjami: szybki początek, krótki czas trwania, nieproszone wystąpienia, automatyczne oceny oraz spójność pomiędzy odpowiedziami."[10]
- Frijda (1994): „Emocje (...) to przede wszystkim mody odnoszące się do środowiska: stany gotowości do angażowania się, bądź nie angażowania się w interakcję ze środowiskiem."[11]

[5] ...the bodily changes follow directly the perception of the exciting fact, and that our feeling of the same changes as they occur is the emotion. Common sense says, we lose our fortune, are sorry and weep; we meet a bear, are frightened and run; we are insulted by a rival, and angry and strike. The hypothesis here to be defended says that this order of sequence is incorrect ... and that the more rational statement is that we feel sorry because we cry, angry because we strike, afraid because we tremble ... Without the bodily states following on the perception, the latter would be purely cognitive in form, pale, colorless, destitute of emotional warmth. We might then see the bear, and judge it best to run, receive the insult and deem it right to strike, but we should not actually feel afraid or angry.

[6] An emotion or an affect can be considered as the felt tendency toward an object judged suitable, or away from an object judged unsuitable, reinforced by specific bodily changes according to the type of emotion.

[7] Emotions are a primary idiom for defining and negotiating social relations of the self in a moral order.

[8] An emotion corresponds to a distinctive system of coordination among the mechanisms that regulate each controllable biological process. That is, each emotional state manifests design features designed to solve particular families of adaptive problems, whereby psychological mechanisms assume unique configuration.

[9] Emotions are organized psychophysiological reactions to news about ongoing relationships with the environment.

[10] Emotions are viewed as having evolved through their adaptive value in dealing with fundamental life-tasks. Each emotion has unique features: signal, physiology, and antecedent events. Each emotion also has characteristics in common with other emotions: rapid onset, short duration, unbidden occurrence, automatic appraisal, and coherence among responses.

[11] Emotions (...) are, first and foremost, modes of relating to the environment: states of readiness for engaging, or not engaging, in interaction with that environment.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- Plutchik (2001): „Emocja jest to złożony łańcuch luźno powiązanych ze sobą zdarzeń, które zaczynają się od bodźca, obejmują uczucia, zmiany psychologiczne, motywację do działania oraz specyficzne, ukierunkowane na cel zachowanie."[12]
- Mayers (2010): „Emocje są adaptacyjną odpowiedzią naszego organizmu. Istnieją one nie po to aby dawać nam ciekawe doświadczenia, ale w celu zwiększenia naszych szans na przetrwanie. Kiedy stajemy przed wyzwaniem, emocje pozwalają skupić naszą uwagę i pobudzić naszą akcję. Nasze serce rusza z kopyta. Nasze tętno przyspiesza. Wszystkie nasze zmysły są w najwyższej gotowości."[13]

W niniejszej pracy została przyjęta następująca krótka definicja emocji:

Definicja 2.1. Emocja:
Emocje to wewnętrzne stany związane zarówno z zewnętrznymi obiektami, jak i wewnętrznymi wielkościami/odczuciami, które pozwalają na podjęcie szybkiej decyzji adekwatnej do danej sytuacji.

2.3.1. Powstawanie emocji

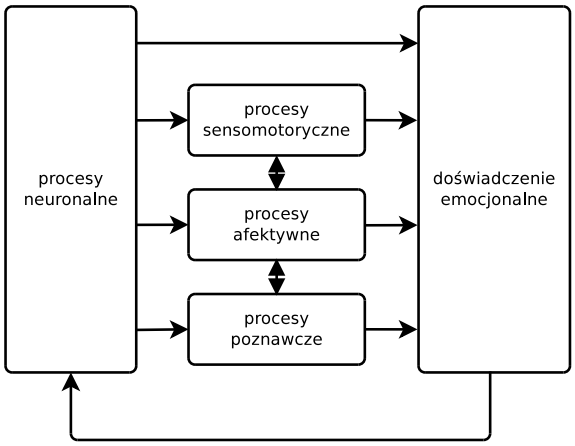
Głównym podejściem w badaniu mechanizmów powstawania emocji jest podejście psychologiczne. Postuluje ono metodę emocjonalnej oceny aktualnej sytuacji na podstawie przeszłych zdarzeń oraz innych aspektów pamięciowych (Strelau, 2004). Ocena poznawcza (ang. *appraisal*), według tego podejścia, opiera się na przydatności obserwowanego zjawiska (zdarzenia, obiektu) pod względem własnych celów i interesu (Lazarus, 1991). W mechanizmie oceny poznawczej można wyróżnić dwie fazy: pierwotną i wtórną. Pierwotny mechanizm oceny poznawczej jest determinowany przez fakt pojawienia się emocji oraz jej wartościowość. Czyli *de facto* najpierw określa, czy zjawisko zgodne jest z celami człowieka, a następnie ocenia, jaki jest wpływ (pozytywny czy negatywny) na owe cele. Mechanizm wtórny z kolei determinuje możliwość reakcji na zjawisko (związanej z celem i oceną pierwotną) oraz przewidywane konsekwencje podjęcia określonej reakcji. Mimo rozróżnienia tych mechanizmów, sam proces oceny poznawczej jest spójny. Nie przesądza on jednak o wystąpieniu emocji (Lazarus, 1991). Przedstawiony mechanizm jest dosyć szeroko krytykowany, bowiem nie do końca można stwierdzić, w którym momencie występuje emocja, ani czym dokładnie jest spowodowana.

Z drugiej strony podejście *oddolne* (biologiczne) mówi głównie o działaniu układu limbicznego oraz substancji wpływających na odczuwanie emocji (Strelau, 2004). Za odczuwanie emocji odpowiedzialne są obszary mózgu bezpośrednio połączone z układem limbicznym, w szczególności zaś z ciałem migdałowatym (LeDoux i Phelps, 1993). Za rozpoznawanie emocji odpowiedzialna jest prawa półkula kory nowej, blisko powiązana z ciałem migdałowatym. Z drugiej strony, za doświadczanie oraz ekspresję emocji odpowiada przednia część mózgu, w zależności od znaku emocji, prawa – negatywne emocje, bądź lewa – pozytywne emocje (Davidson, 1992). Do substancji, które mają wpływ na emocje, należą neuroprzekaźniki, hormony oraz neuromodulatory (Strelau, 2004).

Biorąc pod uwagę teorie ewolucyjne oraz zasadę duplikowania mechanizmów, również mechanizmy wywoływania emocji powinny mieć kilka równoległych 'implementacji'. Mechanizm oceny poznawczej jest tylko jednym z mechanizmów powstawania emocji. Według Izarda (1993) podać można kilka mechanizmów powstawania emocji; są one oparte głównie na czterech procesach: neuronalnym, sensomotorycznym, motywacyjnym oraz poznawczym.

[12] Emotion is a complex chain of loosely connected events that begins with a stimulus and includes feelings psychological changes, impulses to action and specific, goal-dierected behavior.
[13] Emotions are our body's adaptive response. They exist not to give us interesting experiences but to enhance our survival. When we face challenges, emotions focus our attention and energize our action. Our heart races. Our pace quickens. All our senses go on high alert.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.21 Procesy aktywacji emocji (Izard, 1993).

Powyższe procesy uporządkowane są hierarchicznie (rys. 2.21). Oznacza to, że proces neuronalny jest wymagany do odczuwania jakiejkolwiek emocji, ale także może je generować je sam z siebie (Izard, 1993). Bez odbioru zewnętrznych bodźców potrafi też on wywoływać reakcje emocjonalne takie jak (Strelau, 2004):

- reakcje ekspresyjno-motoryczne (mowa ciała)
- reakcje autonomiczne (bicie serca, przyspieszony oddech)
- reakcje aktywacyjne (ospałość, ożywienie).

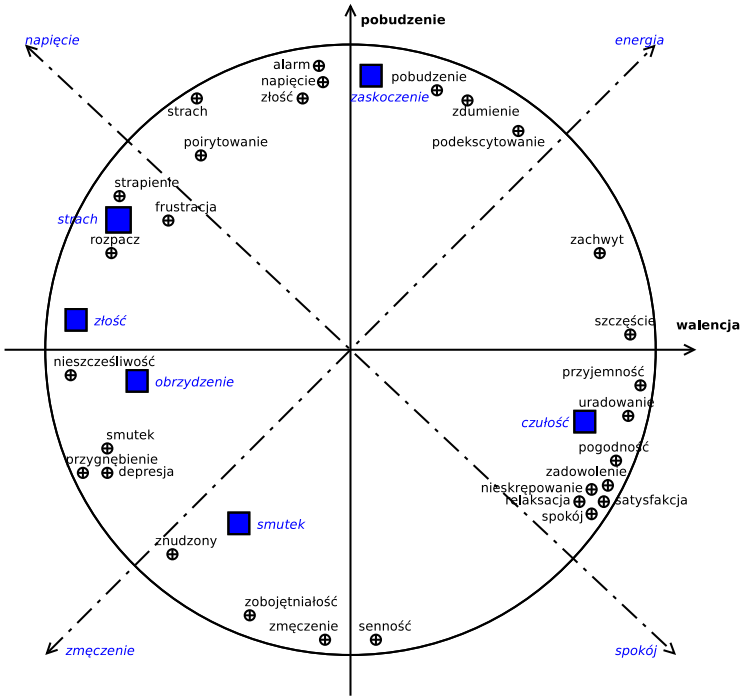
Procesy neuronalne generują emocje, gdy procesy wyższe hierarchicznie są dopiero rozwijane. System sensomotoryczny z kolei odpowiada przede wszystkim za reakcje ekspresyjne: sylwetkę, napięcie mięśni, czy ekspresję twarzy. System sensomotoryczny charakteryzuje swojego rodzaju dodatnie sprzężenie zwrotne – przy ekspresji emocji, automatycznie jej natężenie wzrasta (Darwin, 1872). Sam system sensomotoryczny może również generować emocje – przebywanie w pozycji skulonej może powodować wnioskowanie o własnym smutku, podczas gdy napięcie niektórych mięśni może wręcz generować automatycznie emocje (Strelau, 2004). Systemy motywacyjne z kolei wskazują na możliwość generowania emocji z powodu niezaspokojenia potrzeb lub innych, bardziej bezpośrednich przesłanek motywacyjnych (np. gorzki smak). Ponadto same emocje mogą też wywoływać kolejne emocje. System ten częściowo zgadza się z teorią oceny poznawczej opartą na generowaniu emocji na podstawie poprzednich doświadczeń i powiązaniu ich z aktualną sytuacją. System poznawczy pozwala także na przypominanie sobie sytuacji i autogenerowanie emocji (Strelau, 2004). Izard (1993) w ogólności przedstawia system dynamiczny, w którym każda składowa może wpływać na inne podukłady (dzięki temu proces taki w założeniu nie będzie 'czysty' emocjonalnie).

2.3.1.1. Pierwotność poznania, czy emocji?

Teoria oceny poznawczej (teoria ocenna) zasadniczo zakłada pierwotność poznania nad emocją. Oznacza to, że zanim pojawi się emocja, musi dojść do odpowiednich procesów poznawczych pozwalających na ocenę sytuacji (Frijda, 1986; Lazarus, 1991). Zdarza się tak, że określone zdarzenie wywołuje skrajnie przeciwne emocje, w zależności od ulokowania przyczyn tego zdarzenia. Obserwując takie zjawisko przeprowadzono wiele eksperymentów świadczących, iż w procesie powstawania emocji uczestniczy również proces oceny poznawczej (Strelau, 2004).

Z drugiej jednak strony ewolucyjny opis emocji oraz jej definicje przeczą takiemu poglądowi. Gdyby emocja była całkowicie uzależniona od zjawiska oceny poznawczej, utrudniałoby to podjęcie natychmiastowej akcji w sytuacji krytycznej, np. ucieczki przed dra-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.22 Diagram wielowymiarowej emocji: symbol ⨁ oraz proste (czarne) czcionki oznaczają emocje w modelu Russella (1980), podczas gdy czcionki pochylone (niebieskie) i symbol ■ reprezentują model Thayera (1989).

pieżnikiem (Izard, 1972). Potwierdzeniem aspektu niezależności emocji od poznania są emocje pierwotne występujące we wczesnym rozwoju, oparte na procesach neuronalnych bądź sensomotorycznych (Plutchik, 1994). Subiektywne odczucia emocji pierwotnych opierają się na niezaspokojeniu podstawowych potrzeb (fizjologicznych). Mają one charakter ewolucyjny, typowy dla wszystkich ludzi.

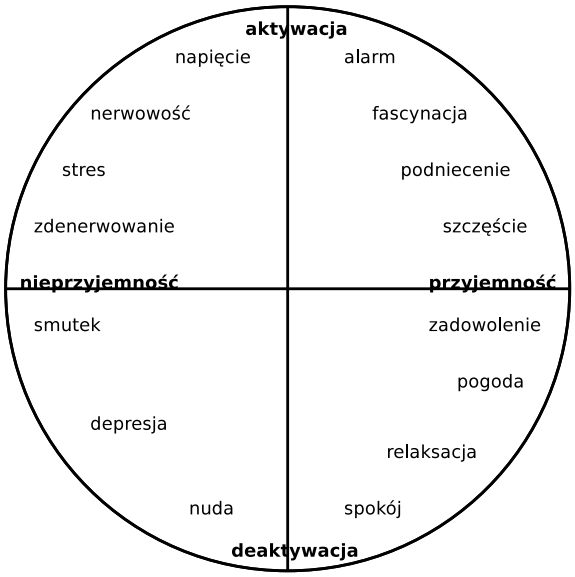
Elementy poznania oraz emocji mogą być między sobą niezależne. Tezę tę potwierdza zjawisko *efektu ekspozycji* (Strelau, 2004). Obojętny bodziec eksponowany z dużą częstotliwością staje się po pewnym czasie bodźcem preferowanym (nawet w przypadku, kiedy bodziec pokazywany jest na tyle krótko, że unika oceny poznawczej).

Trzecie podejście do zagadnienia pierwotności zjawisk postuluje, że emocje pojawiają się wcześniej niż ocena poznawcza. Emocji nie da się 'zawiesić', tak jak pewnych procesów poznawczych[14]. Pomijając argumenty ewolucyjne wspomniane wcześniej, istnieją również argumenty czysto 'zdroworozsądkowe'. Zdarza się przecież miewać przeczucia (odczucia lub emocje) dotyczące zupełnie nowego obiektu, niespotkanego wcześniej. Związane jest to z nadawaniem emocji, ale z pominięcie oceny poznawczej (Zajonc, 1980). Również wspomniane wcześniej zjawisko torowania (sekcje 2.1.1.3, 2.1.3.5.3) potwierdza (przynajmniej w pewnym sensie) pierwotność emocji nad poznaniem (Murphy i Zajonc, 1994; Carr *et al.*, 1982; Henderson, 1992).

Podsumowując, emocje mogą pojawiać się zarówno przed rozpoznaniem obiektu (teoria somatyczna), jaki i po (teoria ocenna). Teoria somatyczna wskazuje, że emocje są pierwotne wobec procesów poznawczych (Zajonc *et al.*, 1989). Zanim mózg przeanalizuje obiekt, a czasem nawet zanim zostaną zarejestrowane wrażenia, a obiekt zostanie rozpoznany, może pojawić się emocja związana z danym obiektem. Z drugiej strony teoria ocenna emocji dowodzi, że emocje powstają po zajściu odpowiednich procesów poznawczych (Lazarus,

[14]Zjawisko medytacji zen polega na zawieszeniu wszelkiego rodzaju procesów poznawczych – patrzeć, a nie widzieć.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.23 Model emocji Posenra *et al.* (2005), tzw. circumplex.

1999) i są wtórne do procesów kognitywnych. Ten rodzaj emocji może wystąpić nawet po procesach myślowych, bez bodźców zewnętrznych. Emocje w tym przypadku dotyczą głównie wybranych uczynków, samego siebie, bądź zdarzeń z przeszłości.

2.3.2. Modele psychologiczne emocji

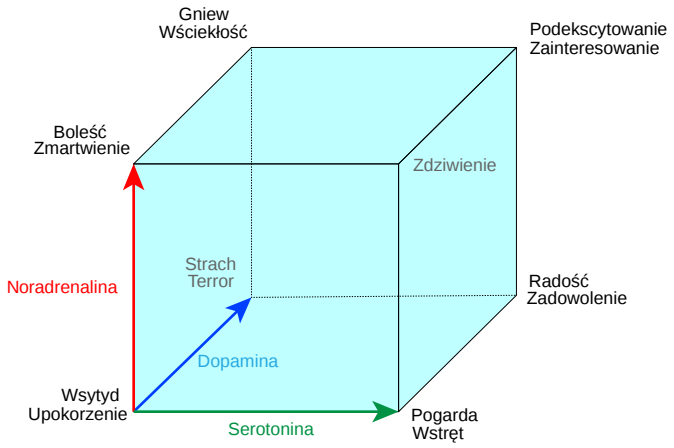
Najpopularniejszym opisem psychologicznym emocji są modele dające się zobrazować na płaszczyźnie albo w przestrzeni trój- lub wielowymiarowej. Takim pierwotnym modelem jest model przedstawiony przez Wundta (1897), gdzie wymiary nazwano jako: przyjemność, pobudzenie, relaksacja. Model ten wyewoluował następnie jako model przyjemność-uwaga-stopień aktywacji (Schlosberg, 1954).

Jednym z ciekawszych modeli emocji jest model Russella (1980). Przedstawia on emocje w dwuwymiarowej przestrzeni. Choć osie współrzędnych kartezjańskich zostały nazwane jako pobudzenie i wartościowość, model dużo lepiej przedstawia się w postaci polarnej (rys. 2.22). Wersja podstawowa modelu opisuje tylko 8 emocji, podczas gdy jej rozszerzona wersja, oparta na badaniach eksperymentalnych wskazuje aż 28 emocji. Jak większość teorii, również i ten model ewoluował w czasie. Najbardziej aktualny model zwany *circumplex* przestawiono na rys. 2.23 (Posner *et al.*, 2005). Podobny model został również zaproponowany przez Thayera (1989), jednakże parametry emocjonalne zostały nazwane inaczej: spokój-napięcie i znużenie-energia (rys. 2.22).

Model Bradleya (1992) z kolei opiera się na założeniu, że emocja składa się z sumy dwóch 'wektorów'. W zależności od pobudzenia, emocja jest wyzwalana z odpowiedniego punktu opisanego tymi wektorami. Model ten oraz inne modele wektorowe są szerzej używane w badaniach laboratoryjnych dotyczących obrazów lub słów oraz emocji wyzwalanych przez nie (Rubin i Talarico, 2009). Modelem podobnym do wyżej opisanego jest PANA (ang. *Positive Activation - Negative Activation*). Twórcy modelu Watson i Tellegen (1985) sugerują dwa osobne systemy aktywujące emocje progowo, w zależności od wartościowości emocji. Stany o wysokim pobudzeniu rozróżniane są ze względu na ich walencję, z kolei przy niskim pobudzeniu, walencja staje się neutralna.

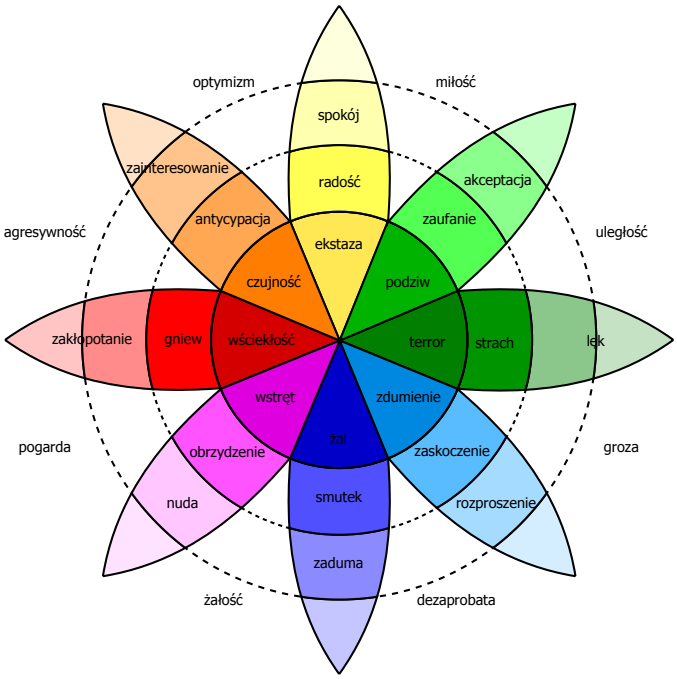
Podchodząc do zagadnienia modelowania emocji z punktu widzenia biologii, Lövheim (2012) przedstawił model oparty na trzech neuroprzekaźnikach: serotoninie, dopaminie i noradrenalinie (rys. 2.24). Każdy z krańcowych punktów sześcianu, na którym rozpięta

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.24 Kostka Lövheima (2012); prawa autorskie: Lyhord, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0.

jest emocja, oznacza jedną z krańcowych emocji. Stany pośrednie oznaczają częściowe wystąpienie danych emocji.



Rysunek 2.25 Rozpięta parabolida emocji Plutchika (2001); prawa autorskie: R. Plutchik, Wikimedia Commons, GFDL.

Podobnie do Russella postąpił Plutchik (2001). Stworzył on trójwymiarową reprezentację emocji (rys. 2.25), opartą na 8 emocjach podstawowych. Emocje podstawowe u Plutchika rozwinięte są ze względu na natężenie barwy w rodziny. Mieszanina emocji podstawowych tworzy emocję pochodną (np. z radości i akceptacji wynika miłość). Cała reprezentacja ma kształt paraboloidy, jednakże w postaci przekroju (rys. 2.25) bardzo przypomina model Russella.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W języku angielskim pojawia się około 100 różnych słów charakteryzujących emocję. Można wśród nich wyróżnić kilka grup. Większość uczonych popiera rozróżnienie na emocje podstawowe i pochodne. Jednak w zależności od zastosowanej klasyfikacji, do emocji podstawowych zalicza się różne emocje. Zestawienie emocji podstawowych pokazuje tab. 2.2 (Ortony i Turner, 1990).

Tablica 2.2 Zestawienie emocji podstawowych (Ortony i Turner, 1990).

Odniesienie	Emocje	Podstawa kategoryzacji
Arnold, 1960	gniew, niechęć, odwaga, przygnębienie, pragnienie, rozpacz, strach, nienawiść, nadzieja, miłość, smutek	Stosunek to tendencji działania
Ekman *et al.*, 2013	gniew, wstręt, strach, radość, smutek, zaskoczenie	Mimika
Frijda, 1986	pragnienie, szczęście, zainteresowanie, zaskoczenie, poczucie niepewności, smutek	Gotowość do działania
Gray, 1985	wściekłość, niepokój, radość	Neurologia
Izard, 1977	gniew, pogarda, wstręt, niepokój, lęk, poczucie winy, zainteresowanie, radość, wstyd, zaskoczenie	Neurologia
Jack *et al.*, 2014	radość, smutek, lęk/zaskoczenie, and złość/oburzenie	Mimika
James, 1884	strach, smutek, miłość, wściekłość	Cielesne zaangażowanie
McDougall, 1926	gniew, wstręt, duma, strach, uległość, delikatność, poczucie niepewności	Odniesienie do instynktów
Mowrer, 1960	ból, przyjemność	Nienauczalne stany emocjonalne
Oatley i Johnson-laird, 1987	gniew, wstręt, lęk, radość, smutek	Język
Panksepp, 1982	nadzieja, strach, wściekłość, panika	Neurologia
Plutchik, 1980	akceptacja, strach, zaskoczenie, smutek, obrzydzenie, gniew, antycypacja, radość	Relacja z biologicznymi procesami
Tomkins, 1984	złość, zainteresowanie, pogarda, wstręt, strach, radość, wstyd, zaskoczenie	Gęstość stymulacji neuronowej
Watson, 1930	strach, miłość, wściekłość	Neurologia
Weiner i Graham, 1984	szczęście, smutek	Niezależność

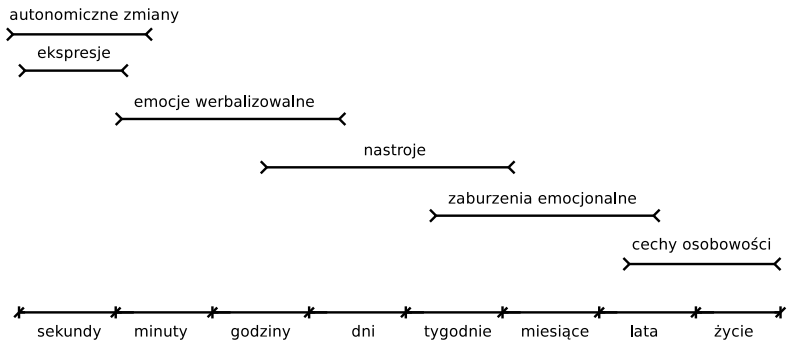
2.3.3. Parametryzacja emocji

Każdej emocji przyporządkować można kilka parametrów charakteryzujących ją. Na podstawie powyższych modeli można sformułować wniosek dotyczący parametrów emocji. Grupy podobnych emocji, jak na przykład radość, szczęście, czy ekstaza można opisać jedną **barwą**. Mają one podobny wydźwięk. Tego typu grupowanie można uznać za uogólnienie emocji do pewnych wersji podstawowych. Jeżeli wyliczymy emocje podstawowe i pogrupujemy je według barwy, w tak określonym kontekście emocjonalnym łatwiej przewidzieć reakcję.

Parametrem opisującym wiele modeli jest **natężenie** emocji, czyli poziom jej pobudzenia (stopień aktywacji lub energia). Sygnalizuje on jak bardzo emocja wpływa na jednostki (człowieka lub robota). Dzięki natężeniu, w ramach jednej grupy emocjonalnej o podobnym wydźwięku (ustalona barwa) można wyróżnić różne stany tej samej emocji (ze względu na intensywność).

Najważniejszym parametrem, pominiętym w powyższych modelach, jest czas trwania emocji. Waha się on od kilku sekund do kilku tygodni, a czasami nawet do miesięcy. Stany

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 2.26 Podział zjawisk emocjonalnych ze względu na czas trwania (Oatley *et al.*, 2012).

emocjonalne sięgające miesięcy lub dłużej są albo cechami osobowości, albo zaburzeniami emocjonalnymi (rys. 2.26). Biorąc pod uwagę czas trwania wyróżnić można trzy typy stanów emocjonalnych (Biddle *et al.*, 2000; Oatley *et al.*, 2012):

- autonomiczne zmiany: bardzo krótkie (sekundowe), spontaniczne, fizyczne odczucia, powiązane z teorią somatyczną emocji, zależne od poszczególnych bodźców, bez głębszego (poznawczego) rozpoznania sytuacji, zdarzenia lub obiektu (Ekman, 2009)
- ekspresje: zmiany równie krótkie co autonomiczne, skojarzone z obiektami, powiązane z teorią oceną emocji (Lazarus, 1991)
- 'klasyczna' emocja: trwa przez dłuższy okres czasu, może być werbalizowana (nazwana), obserwowana świadomie, powiązana jest z obiema teoriami emocji, oraz innymi czynnikami motywacyjnymi, może też dotyczyć obiektu (o ile jest odpowiednio silna)
- nastrój: przedłużająca się emocja, mogąca trwać do miesiąca, która jest zdecydowanie mniej zintensyfikowana niż emocja 'klasyczna', zmienia się bardzo powoli, charakteryzuje się dużo mniejszą różnorodnością, praktycznie dwuwartościowa (Batson, 1990)
- zaburzenia emocjonalne: nienaturalne zmiany w odczuwaniu emocji, takie jak depresje, fobie, manie, obsesje
- cechy osobowości: cechy emocjonalne oparte na specyficznej osobowości człowieka, takie jak nieśmiałość, czy neurotyzm.

2.4 Podsumowanie

Niniejszy rozdział przedstawia przegląd teorii i innych aspektów psychologicznych istotnych dla syntezy prowadzonej w dalszej części pracy. Opisane zostaną tam aspekty psychologii poznawczej, które przekształcają się dalej w model przetwarzania danych robota, oraz teorie motywacyjne człowieka (emocje, potrzeby, itp.), będące z kolei główną siłą napędową jednostki (dążenie do akcji). Projektowany system, uwzględniający powyższe teorie, ma na celu umożliwienie sprawnego funkcjonowania autonomicznego robota w jego środowisku.

Dla lepszego zobrazowania treści zostanie poniżej zaprezentowane krótkie przypomnienie, streszczenie niniejszego rozdziału. Postrzegane przez detektory sensoryczne bodźce, są przetwarzane, najpierw do postaci wrażeń (pojedyncza cecha), a następnie do postaci spostrzeżeń (pojedynczy obiekt). Spostrzeżenia są rozpoznawane przy pomocy pamięci długotrwałej (LTM). Ważnością obiektów rozpoznanych zarządza uwaga, która może np. skupiać tzw. wiązkę poznawczą. Uwaga jest swoistym systemem zarządzający wszystkimi procesami poznawczymi. Z pomocą uwagi i pamięci długotrwałej funkcjonują mechanizmy

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

myślenia, z których najważniejszymi są podejmowanie decyzji oraz rozumowanie (uogólnione wnioskowanie).

Z drugiej strony patrząc, aby decyzja była podjęta, musi zaistnieć motywacja do niej. Omówiono powyżej systemy motywacyjne oparte na potrzebach (na których oparty jest system ISD), które można też odnieść do popędów lub pragnień oraz innych teorii motywacji. Drugim, *szybkim* systemem motywacyjnym jest system emocjonalny. Wspomniano powyżej o dwóch teoriach (somatyczna i ocenna), które wyjaśniają tworzenie emocji. System xEmotion, opisany w rozdziale 4 oparty jest na obu tych teoriach. Przedstawione także zostały modele systemów emocjonalnych używane w psychologii, z których należy zwrócić uwagę na model Plutchika, wykorzystywany w systemie xEmotion. Wszystkie aspekty motywacyjne, są umiejscowione w procesie uwagi.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3

Przegląd rozwiązań naśladujących człowieka

Niniejsza praca skupia się na aspekcie autonomiczności robotów i agentów. W przypadku rzeczywistych implementacji należy dodatkowo przedstawić wymagania, jakie powinien spełniać robot, aby mógł funkcjonować autonomicznie, również w oparciu o model psychologii człowieka. Aktualnie badania dotyczące systemów antropogenicznych obejmują wiele aspektów – począwszy od modelowania neuronów, a skończywszy na autonomicznych robotach humanoidalnych. Niniejszy rozdział prezentuje oczywiście tylko wybrany zakres zagadnień ze względu na podejmowaną dalej tematykę.

Rozdział ten prezentuje rozwiązania technologiczne z ostatnich lat dotyczące szerokiego spektrum autonomiczności w kontekście robotyki. Na początku zostanie przedstawione zagadnienie robotów humanoidalnych, zarówno w odniesieniu do strony sprzętowej, jak i aspektów autonomiczności i antropoidalności. Roboty humanoidalne są z reguły tworzone na ludzkie podobieństwo, dzięki czemu maja też podobny (choć wciąż dużo mniejszy) zakres możliwości ruchowych. Następnie, jako przykład autonomicznego systemu, pobieżnie zostanie poruszony problem autonomicznego kierowcy w kontekście podejmowania samodzielnych decyzji. Problem ten jest poruszany tu głównie ze względu na studium symulacyjne przedstawione w sekcji 5.2. Odchodząc od platform sprzętowych, zaprezentowane zostaną szeroko pojęte systemy kognitywne, w szczególności architektury kognitywne oraz obliczeniowe systemy emocji. Dzięki temu, w dalszych rozdziałach będzie można przedstawić porównanie rzeczywistych systemów kognitywnych z prezentowanym w pracy Inteligentnym Systemem Decyzyjnym.

3.1 Roboty antropoidalne

Nowoczesne roboty różnią się między sobą budową w zależności od ich przeznaczenia, jednakże wraz z postępem techniki widać, że dążą do coraz większej autonomiczności. Można pokusić się o stwierdzenie, iż jest to nowoczesna odmiana cybernetyki, bowiem rozwiązania stosowane w robotyce polegają przede wszystkim na naśladowaniu istot żywych, a w szczególności człowieka. Powstają projekty tworzące roboty muchy, muły, gepardy, czy humanoidy. Ta ostatnia dziedzina rozwija się coraz bardziej. Humanoidy potrafią już chodzić po drabinie, otwierać drzwi oraz przede wszystkim komunikować się **werbalnie** z człowiekiem (aspekty *Human System Interaction*, *Human Robot Interaction* oraz *Natural Langage Processing*).

Ze względu na rodzaj napędu poruszającego robotem, można wyróżnić kilka typów robotów mobilnych (Rodríguez i Rodríguez, 2011):

- roboty kołowe – służące głównie do prostych celów, poruszające się raczej po powierzchni płaskiej (np. linefollowery)
- roboty gąsienicowe – mogące poruszać się w trudnym terenie, głównie naturalnym (np. służące do rozpoznania, czy detonowania ładunków wybuchowych)

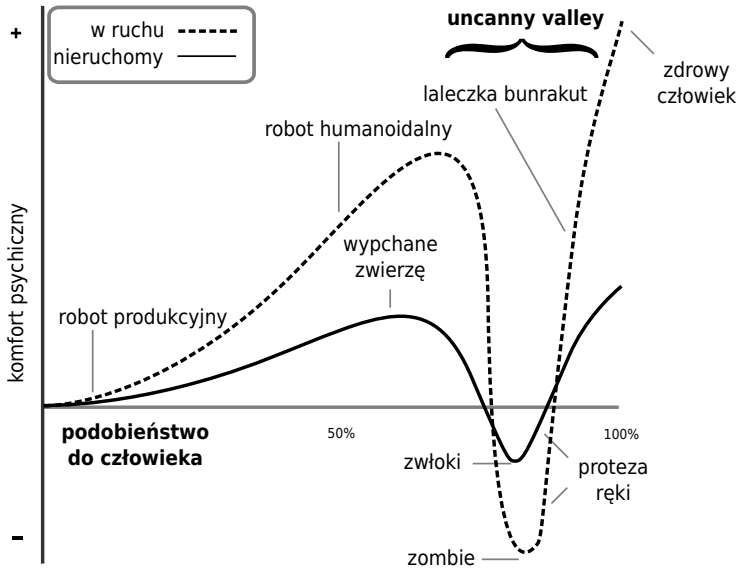
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- roboty kroczące (w tym humanoidalne) – działające w środowisku skomplikowanym zarówno industrialnym, jak i naturalnym (służące do różnorakich celów)
- roboty o napędzie hybrydowym – dedykowane pod określone zastosowania (np. roboty gąsienicowo-kroczące dedykowane do poruszania się po rozległych powierzchniach biurowych).

W ostaniach latach rozwija się szczególnie dynamicznie gałąź robotów kroczących, które już teraz umożliwiają chodzenie po schodach, lub po drabinie.

Wśród wielu systemów sterowania robotem humanoidalnym można wyróżnić projekty, których pobocznym celem jest modelowanie zachowania człowieka. Przyczyny takiego podejścia bywają różne, jednakże większość tego typu projektów opiera się na przesłankach socjologicznych. Roboty przypominające w zachowaniu człowieka są postrzegane przez ludzi jako bardziej przyjazne i akceptowalne w społeczeństwie (Kaplan, 2004). Takie podejście jest stosowane również w przypadku autonomicznych samochodów, gdzie samochodom są nadawane cechy człowiecze (imię, płeć, etc.). Coraz popularniejsze staje się także nadawanie wyglądu człowieka autonomicznym maszynom (Waytz *et al.*, 2014).

Z drugiej strony, w pewnych określonych przypadkach wygląd robota humanoidalnego może budzić negatywne emocje. Zjawisko to, zobrazowane na rys. 3.1, nie do końca wyjaśnione, może być spowodowane zaszłościami ewolucyjnymi[1], lękiem przed śmiercią[2] lub innymi socjologicznymi aspektami (Mori *et al.*, 2012).



Rysunek 3.1 Zjawisko powszechnie zwane jako *Uncanny Valley*; prawa autorskie: Smurrayinchester, Wikipedia Commons, GDFL.

Istnieje również podejście systemowo-modelowe (oparte na paradygmacie cybernetycznym i teoriach psychologicznych), które stara się uwzględnić i zamodelować różne aspekty psychologii człowieka. Celem tego podejścia jest zarówno chęć poszerzenia wiedzy psychologicznej (modelując pewne aspekty psychologiczne), jak i wypracowania doskonalszych mechanizmów auto-adaptacji.

[1]Selekcja zdrowotna, polegająca na odsuwaniu się od osobnika o niezdrowym, chromym wyglądzie.
[2]Podobieństwo do rozkładających się zwłok.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3.1.1. Przegląd robotów humanoidalnych

Większość robotów humanoidalnych jest nastawiona na zadania poznawcze: poczynając od rozpoznawania obiektów i interakcji z nimi, poprzez zagadnienia wyznaczania odpowiedniej trajektorii aktuatorów (w kontekście jakości), a kończąc na zaawansowanych strategiach behawioralnych. Tab. 3.1 przedstawia skrócone zestawienie cech najpopularniejszych i najsłynniejszych robotów humanoidalnych, opisanych dalej w niniejszej pracy. Poniższy przegląd został przedstawiony w pracy (Kowalczuk i Czubenko, 2015).

Tablica 3.1 Zestawienie cech robotów humanoidalnych.

Robot	stopnie swobody	Kamera	Palce	Nogi	Zaawansowane zadania	Emocje	Autonomia
AcYut	28	TAK	2	TAK	TAK	NIE	NIE
Affetto	N/A	N/A	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE
ASIMO	34	2	4	TAK	TAK	NIE	TAK
Baxter	14	TAK	NIE	NIE	NIE	TAK	TAK
CHARLI	25	2	5	TAK	TAK	NIE	TAK
HRP-4	34	2	5	TAK	TAK	NIE	NIE
HRP-4C	N/A	2	5	TAK	TAK	TAK	NIE
Kismet	15	2	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE
Kobian	68	1	5	TAK	TAK	TAK	NIE
RoNA	12	NIE	NIE	NIE	Podnoszenie ludzi	NIE	NIE
Simon	40	2	5	NIE	Chwytanie	TAK	TAK
ASRA C1	35	TAK	2	TAK	Noszenie ciężarów	NIE	NIE
Telenoid	9	1	NIE	NIE	NIE	TAK	TAK
Valkyrie	44	>10	4	TAK	TAK	NIE	TAK
EMIEW 2	25	2	2	Koła	Duża prędkość	NIE	TAK
S-One	N/A	TAK	3	TAK	Manipulacja	NIE	NIE
PEtMAN	27	NIE	NIE	TAK	Dynamiczne ruchy	NIE	NIE
NAO	25	2	3	TAK	NIE	TAK	TAK
FLASH	49	1	4	IP	NIE	TAK	TAK

AcYut 'Ten który nie upada' lub 'niezniszczalny' (w Sanskrytcie) - jest to nazwa serii robotów humanoidalnych wykonywanych przez Centrum Robotyki i Systemów Inteligentnych Instytutu Technologii i Nauki w Birla, Pilani[3]. Robot ten posiada 28 stopni swobody (DOF), potrafi się poruszać na dwóch nogach, a w celu postrzegania bodźców ma zainstalowane czujniki takie jak kamera Firefly MV, oraz 6 stopniowe IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*). Jego przeznaczeniem jest badanie sposobów sterowania zaawansowanymi robotami kroczącymi oraz technologii teleoperacji (Agrawal i Gopinath, 2013).

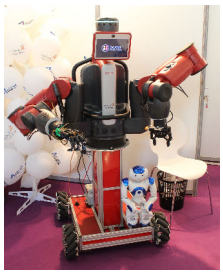
Z kolei **Affetto** jest japońskim robotem-dzieckiem. Posiada bardzo realistyczny wygląd dwulatka (również wielkością). Umożliwia wyrażanie min za pomocą sztucznej twarzy. Jego sztuczna skóra przypomina ludzką, a pneumatyczne siłowniki pozwalają zarówno na dotyk i nacisk (do pewnego stopnia). Robot został przystosowany do badań nad rozwojem poznawczym dziecka oraz relacjami socjologicznymi pomiędzy dzieckiem, a rodzicami (Ishihara i Asada, 2013; Ishihara *et al.*, 2011).

Advanced Step in Innovative MObility (**ASIMO**, rys. 3.2a) stanowi serię robotów wyprodukowanych przez firmę Honda Motor Company. Ma ok. 120 cm, waży 63 kg i jest

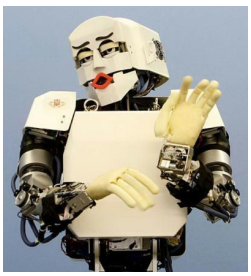
[3]Centre for Robotics and Intelligent Systems at Birla Institute of Technology and Science, Pilani

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

(a) ASIMO, Honda; prawa autorskie: E. Mauk, Honda North America.



(b) Baxter, rethink robotic; prawa autorskie: X. Caré, Wikimedia Commons, CC-BY-SA.



(c) Kobian, Waseda University; prawa autorskie: A. Takanishi.

(d) RoNA, Hstar Tech; prawa autorskie: Yi-Je Lim, Hstar Technologies Corp.

(e) ASRA C1, Asratec; prawa autorskie: Asratec Corp.

(f) Telenoid^{TM}, University Osaka i ATR; prawa autorskie: M. Taniguchi, Hiroshi Ishiguro Laboratories, Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR).

Rysunek 3.2 Przegląd robotów humanoidalnych.

jednym z pierwszych robotów humanoidalnych. Celem ASIMO jest rozwój robotyki humanoidalnej, tak aby w przyszłości roboty mogły pomagać człowiekowi w jego codziennych obowiązkach. Tak sformułowany cel jest paradygmatem robotyki socjalnej (Ge, 2007). ASIMO ma 34 stopnie swobody, może chodzić po schodach, a nawet biegać z prędkością do 6 km/h (Schaub, 2007; Tajima *et al.*, 2009). Jego chwytaki są przystosowane do trzymania przedmiotów o różnych kształtach. Dodatkowo, oprócz różnego rodzaju zadań autonomicznych, ASIMO jest przystosowany także do sterowania za pomocą myśli (Bogue, 2010).

Baxter (rys. 3.2b) jest para-humanoidalnym robotem produkcyjnym. Jego ramiona mają 7 DOF. Wyposażony jest w system wizyjny, sonar oraz ekran, na którym można np. wyświetlać emocje. Pozwala naukowcom na badanie interakcji pomiędzy robotem a czło-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wiekiem, manipulacji, zaawansowanych metod sterowania i percepcji. Dodatkowo umożliwia on rozwój metod uczenia pod nadzorem i sterowania (Daniel *et al.*, 2013).

Cognitive Humanoid Autonomous Robot with Learning Intelligence – **CHARLI** jest pierwszym *prawdziwym* (ze względu na wygląd) robotem humanoidalnym w Stanach Zjednoczonych. Został zaprojektowany i zbudowany w Viginia Tech University. CHARLIE posiada 25 DoF i waży (tylko!) 12.4 kg. Wyposażony jest w trzyosiowe żyroskopy i akcelerometry, kamery oraz enkodery pozycji stawów. Projekt ma na celu prowadzenie badań nad zaawansowanymi metodami chodzenia dwunożnego (odpornych na różnego rodzaju zakłócenia). Robot jest używany w konkursach robo-piłki, może chodzić z prędkością 1.4 km/h, a nawet tańczyć (Lahr i Hong, 2008, 2009).

Humanoid Robot Prototype (**HRP**) opisuje serię robotów (aktualna wersja to HRP-4) tworzonych przez firmę Kawada Industries we współpracy z National Institute of Advanced Industrial Science and Technology od 1999 roku. Roboty HRP zostały stworzone do współpracy z ludźmi. Rozwój robotów HRP został podyktowany lepszym dopasowaniem do warunków pracy, zarówno od strony mechanicznej (zwiększenie liczby stopni swobody, zmniejszenie wagi, itp.), jak i ściśle systemowej (platforma elektroniczna, projektowanie systemów percepcji i interakcji, itp.). Robot ma udźwig 0.5 kg, 34 DoF i waży 39 kg. Jego płyta bazowa zaopatrzona jest w mikrokomputer Pentium M. Robot funkcjonuje na systemie operacyjnym typu Linux (Kaneko *et al.*, 2011), wraz z rozwiązaniami opartymi o technologię RT (ang. *Real Time*). HRP-4C jest nietypowym robotem z serii HRP, ma kształt kobiety – androida. Potrafi poruszać się w sposób przypominający ludzi, mówić, a nawet śpiewać. Jego waga jest również podobna do wagi młodej kobiety (43 kg). Jego cechą charakterystyczną jest możliwość mimiki twarzy (podobnie jak Affectto). Twarz HRP-4C posiada 8 DoF (Kaneko *et al.*, 2009).

Kismet to co prawda tylko głowa robota, ale jest ona jedną z najstarszych elementów robotyckich wyrażających emocje. Został opracowany i zbudowany na MIT pod koniec lat 90-tych. Kismet jest robotem dostosowanym do naturalnej komunikacji międzyludzkiej, zwłaszcza mającej na uwadze język ciała oraz różnego rodzaju elementy motywacyjne człowieka. Robot wyposażony jest w zespół sensorów dotyczących zmysłów wizyjnych, słuchowych oraz proprioceptycznych. Robot był używany w badaniach dotyczących zachowań podczas interakcji z człowiekiem (HSI) oraz przede wszystkim do wypracowania mechanizmów uczenia (Breazeal i Scassellati, 1999; Breazeal, 1999).

Robot **Kobian** (rys. 3.2c) został opracowany na podstawie wcześniejszych prototypów przez WASEDA University w Tokyo (Endo i Takanishi, 2011). Jego podstawowym celem jest interakcja z ludźmi i pomoc w codziennych obowiązkach. Robot posiada aż 68 stopni swobody, z czego 24 jest przeznaczonych na mimikę twarzy. Dzięki tak skonstruowanej 'twarzy' robot jest w stanie wyrazić 7 podstawowych emocji w różnych stopniach natężenia (Zecca *et al.*, 2010). Aktualne badania związane z robotem dotyczą różnic kulturowych w postrzeganiu emocji oraz możliwości ich ekspresji nie tylko za pomocą mimiki (Trovato *et al.*, 2013). Kobian posiada dwie kamery co umożliwia analizę środowiska z wykorzystaniem stereo-wizji (Kowalczuk i Merta, 2013). Dzięki temu potrafi orientować się i poruszać w otoczeniu. Możliwości ekspresyjne robota znalazły poklask w społeczeństwie japońskim, gdzie został on okrzyknięty pierwszym robotem-komikiem.

RoNA to seria robotów para-humanoidalnych stworzonych przez Hstar Technologies w celu zapewnienia osobom starszym osobistej opieki (nie tylko medycznej). Robot SerBot (z serii RoNa) pełni funkcję opiekunki osób starszych, potrafi przenosić ciężkie rzeczy, reagować na polecenia, a nawet przewozić osobę, którą się opiekuje. Docelowo robot ten ma mieć 23 DoF oraz duży udźwig (rzędu dorosłej osoby). Głównym celem robota jest niesienie pomocy, podnoszenie osób, które nie mogą wstać, kładzenie do łóżka, lub wanny. Robot wyposażony jest dodatkowo w możliwość bezpośredniej telekomunikacji z lekarzem (Hu *et al.*, 2011).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Robot **Simon** został zaprojektowany przez zespół z Georgia Institute of Technology. Nie jest on jednak w pełni humanoidem, posiada bowiem *ciało* tylko od pasa w górę. Nie przeszkadza to jednak w jego zastosowaniu. Robot służy do badań nad zagadnieniem uczenia maszyn (Cakmak i Thomaz, 2012). Uczenie Simona polega na ekstrakcji zachowań ze środowiska oraz interakcji z ludzkim nauczycielem. Aby ułatwić taką interakcję, robot został wyposażony w zestaw 'elastycznych aktuatorów' (zastosowane silniki posiadają bardzo mały stopień sztywności). Simon swoimi dłońmi może, podobnie jak ludzie, ściskać w różnym stopniu przedmioty. Ze względu na potrzebę interakcji, skonstruowano głowę mogącą wyrażać emocje. Rozwiązania programistyczne koncentrują się na interakcji z człowiekiem. Dzięki nim robot potrafi grać w gry wymagające werbalnej interakcji ('Simon mówi'), a w szczególności rozpoznawać, kiedy następuje jego tura (Chao *et al.*, 2011; Chao i Thomaz, 2012).

ASRA C1 stworzona przez firmę Asratec (rys. 3.2e) jest robotem, który również potrafi odpowiednio używać siły nacisku. Robot jest kontrolowany przez system V-SIDO, który pozwala na sterowanie za pomocą telefonu komórkowego, okularów (koncepcja sterowania przez wzrok), joysticka, a także w trybie kopiowania ruchów. Robot ten posiada 35 stopni swobody, akcelerometr, żyroskop, sensory magnetyczne, kamerę oraz kamerę Kinect, które umożliwiają mu rozpoznawanie ruchów ludzi podczas interakcji. Ciekawostką jest fakt, że robot posiada ukryte dodatkowe kończyny górne, pomocne przy przenoszeniu obiektów; niestety są one jedynie sterowane ręcznie przez operatora.

Telenoid (rys. 3.2f) jest bardzo nietypowym robotem. Został zaprojektowany przez Osaka University and Advanced Telecommunications Research Institute International, jako korpus humanoidalny z wyrażającą emocje głową. Jego jedynym celem jest efektywne przekazywanie *obecności ludzkiej*. Telenoid jest sterowany zdalnie przez dalekiego operatora w celu symulacji obecności człowieka. Badania dowiodły, że (z punktu socjologicznego) jego efektywność w *przekazywaniu* obecności drugiej osoby pomaga zarówno osobom starszym, jak i dzieciom (Yamazaki *et al.*, 2012). Ze względu na określone zastosowania, robot posiada jedynie 9 DoF, waży 3 kg i zbudowany jest z materiału doskonale symulującego ludzką skórę. Badania prowadzone przy pomocy Telenoida mają na celu także wysterowanie ruchów robota, aby sprawiał on bardzo naturalne wrażenie (Mara *et al.*, 2013; Ishi *et al.*, 2012).

Valkiria jest robotem humanoidalnym następnej generacji, zdolnym do wykonywania zadań wymagających dużej dynamiki, a także dużej precyzji działania. Valkiria jest tworzona przez NASA Johnson Space Center. Posiada wysokość 188 cm, wagę ponad 130 kg i 44 stopnie swobody. Podstawowym przeznaczeniem robota jest praca autonomicznego robonauty. Projekt ten został wykonany głównie dla udziału w zawodach DARPA. Jest to jeden z niewielu robotów humanoidalnych, które są zdolne do zaawansowanych zachowań autonomicznych. Valkiria jest bowiem zasilana z akumulatorów, które nosi (wystarczają one na około godzinę pracy robota). Potrafi on reagować z dużym wyczuciem siły (np. otwierać drzwi). Robot został wyposażony w trzy LIDAR-y (ang. *Light Detection and Ranging*), 4 kamery HD, 6 kamer głębi (ang. *depth camera*) oraz dużą liczbę innych sensorów.

EMIEW 2 jest robotem produkowanym przez firmę Hitachi, przeznaczonym do poruszania się w środowisku biurowym, w szczególności zaś do nadążania za człowiekiem. Pełni on rolę biurowego asystenta, który potrafi się poruszać z prędkością 6 km/h. Ze względu na docelowe środowisko pracy, robot został wyposażony w 14-kanałową macierz mikrofonów, tak aby jednoznacznie mógł określić kierunek dźwięku oraz – dzięki usunięciu szumu – wydane polecenie (Togami *et al.*, 2009; Sumiyoshi *et al.*, 2011). EMIEW 2 posiada także radar laserowy, pozwalający mu mapować przestrzeń dookoła niego. Jego dość osobliwie zaprojektowane nogi pozwalają na trzy tryby (Hosoda *et al.*, 2006):

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

(a) NAO (b) NAO Torso

Rysunek 3.3 Roboty NAO, Aldebaran Robotics; prawa autorskie: J. Kemtchuaing, Aldebaran.

- odwróconego wahadła (postać wyprostowana), dzięki czemu jest w stanie rozwinąć względnie dużą prędkość,
- lekkiego przykucnięcia z użyciem hamulca w postaci 'szponu' (przygotowanie do przejścia pomiędzy trybami),
- postaci klęczącej, charakteryzującej się dużą stabilnością (lecz zmniejszoną prędkością).

S-One (Schaft) jest również robotem japońskim, jednakże w odróżnieniu od robotów przedstawionych wcześniej jest w zdecydowanie mniejszym stopniu humanoidem. Robot waży 95 kg i jest wysoki na około 130 cm. S-One zajął pierwsze miejsce w DARPA Robotics Challenge Trials w 2013 roku, przechodząc 27 prób na 32 możliwe. Dzięki dedykowanemu oprogramowaniu, robot potrafi poruszać się w nieznanym i niestabilnym terenie, chodzić po drabinie oraz otwierać drzwi. Dodatkowo dzięki użyciu silników chłodzonych cieczą S-One może podnosić znacznie większe ciężary. Jako manipulatory używane są chwytaki firmy Robotiq, umożliwiające chwytanie różnego rodzaju kształtów. Niestety S-One nie jest robotem autonomicznym, gdyż jest on sterowany zdalnie przez użytkownika.

Przyglądając się różnego rodzaju robotom humanoidalnym należy zwrócić uwagę na różnorodne rozwiązania, które *de facto* oddają kształt lub zachowanie humanoida. Robotem, który zachował zarówno kształt, jak i dynamikę ruchów człowieka, jest **PEtMAN** (ang. *Protection Ensemble test Mannequin*). Celem kryjącym się za robotem jest testowanie ubiorów militarnych, odpornych na chemiczne toksyny. Aby odpowiednio przetestować ubiór, robot musi zachowywać się jak człowiek (poruszać się w sposób gwałtowny), a także symulować warunki wewnętrzne (wilgotność, Ph, temperaturę, itp.) człowieka poddanego wysiłkowi fizycznemu. Robot ten, dzięki specjalistom z Darpa Robotcs, potrafi się poruszać dynamicznie, robić skłony, przysiady, biegać po bieżni oraz wchodzić po schodach (Nelson *et al.*, 2012). Niestety, jak większość humanoidów sterowany jest przez operatora.

Robotem humanoidalnym produkowanym seryjnie, lecz głównie dla celów edukacyjnych jest **NAO** (rys. 3.3a). Dzięki małym wymiarom doskonale sprawuje się przy nauce programowania dla celów robotyki. NAO jest wyposażony w 2 kamery, 4 mikrofony, sonar, serię czujników dotykowych. Dzięki tak bogatej gamie sensorów oraz odpowiedniemu oprogramowaniu, umożliwione jest tworzenie programów sterujących robotem, zarówno prostych (robotyka behawioralna), jak i zaawansowanych (sztuczna inteligencja). NAO potrafi także rozpoznawać dźwięk i syntezować mowę. Posiada on 25 stopni swobody. Dzięki platformie NAO tworzone są rozwiązania dotyczące zaawansowanego rozpoznawania obiektów za pomocą dotyku (Ni *et al.*, 2012), systemy emulowania i wyrażania emocji (Nanty i Gelin, 2013) oraz ulepszone sposoby chodzenia (Kulk i Welsh, 2011; Gouaillier *et al.*, 2010). Robot NAO uczestniczy także w projektach dotyczących terapii dzieci cierpiących na autyzm (Shamsuddin *et al.*, 2012). Drobną modyfikację robota NAO stanowi NAO

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rysunek 3.4 Robot FLASH; prawa autorskie: Jan Kędzierski, Politechnika Wrocławska.

Torso, robot działający analogicznie, jednakże bez możliwości chodzenia jak pokazano na rys. 3.3b.

Robotem humanoidalnym rodzimej produkcji jest **FLASH**. Stara się on emulować wygląd i zachowanie człowieka (pod pewnymi względami), a zwłaszcza w zakresie mimiki twarzy. Jednakże jest on zupełnie niepodobny do Kismeta, który składał się z osobnych modułów ust, oczu, itp. FLASH (Kedzierski *et al.*, 2013) jest zbudowany z głowy umożliwiającej okazywanie emocji (EMYS - Emotive Head of a Social Robot) oraz korpusu osadzonego na dwukołowej platformie poruszającej się na zasadzie odwróconego wahadła. Robot dzięki wyrażaniu emocji potrafi się znacznie lepiej porozumieć z ludźmi, a w szczególności jest przez nich lepiej postrzegany.

3.1.2. Wymagania robota humanoidalnego

Pomimo wielu udanych projektów badawczych dotyczących robotów humanoidalnych, nie udało się jeszcze stworzyć robota, który skutecznie w różnych warunkach środowiskowych wspierałby człowieka. Ze względu na różnorodność warunków, idealnym przykładem jest robot w pełni humanoidalny, sylwetką przypominający człowieka. W szczególności robot taki powinien kroczyć (ze względu różnorodność podłoża) oraz chwytać (np. w celu podawania narzędzi). Opierając się na przedstawionych powyżej przykładach można pokusić się o budowanie platformy humanoidalnej do celów implementacji systemu opartego na modelu psychologii człowieka.

Opierając się na liczbie i specyfice zmysłów człowieka można stwierdzić, że robot powinien być wyposażony w dwie kamery (w celu stereowizji) o dużej rozdzielczości oraz przynajmniej jeden lidar w celu wspomagania sterowizji oraz lepszego mapowania środowiska (pomimo, że człowiek nie posiada lidaru). Zakładając kroczący napęd robota oraz wyrażanie emocji (w celu niewerbalnego porozumiewania się ze środowiskiem), robot powinien posiadać około 48 stopni swobody, z czego przynajmniej 10 z nich powinno odpowiadać za mimikę. Chwytanie obiektów powinny umożliwić 3 palce o przynajmniej 3 DoF, przy czym rozwiązanie sprzęgające napęd palców jest akceptowalne pod warunkiem ograniczenia zadań poznawczych robota tylko do chwytania. Robot powinien być wyposażony także w zmysł propriocepcji. Z pośród pozostałych zmysłów człowieka, robot powinien zostać wyposażony w zmysł słuchu (tj. matrycę mikrofonów) oraz możliwość artykułowania mowy i wydawania dźwięków (co większość przedstawionych robotów posiada). Jako moduł pozwalający na wykrycie upadku lub gwałtownych (wymuszonych przez środowisko) ruchów, powinien zostać zastosowany sensor IMU, po jednym na każdą kończynę i głowę.

Oczywiście jądrem systemu powinna być jednostka centralna pozwalająca na podejmowanie adekwatnych do sytuacji reakcji w czasie rzeczywistym (np. oparta na jednej z przedstawionych dalej architektur kognitywnych). Aby robot funkcjonował w czasie rzeczywistym, konieczne jest stworzenie mikrosystemów obsługujących wydzielone obszary lub

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

używanie superkomputera (jednak prędkość przesyłu bezprzewodowego danych wyklucza w tym wypadku czas rzeczywisty); niemożliwe bowiem jest jednoczesne używanie stereowizji i np. analizowanie dźwięków (ze względu na złożoność obliczeniową algorytmów). Dodatkowo, w zależności od przyjętych założeń (np. HSI), system operacyjny powinien umożliwiać (opcjonalnie) działanie jednego z obliczeniowych systemów emocji – w celu lepszego uspołecznienia robota.

Podsumowując, robot humanoidalny powinien zostać wyposażony w sprzęt oraz mikrosystemy obsługujące każdy z wydzielonych poniżej obszarów:

- 2 kamery do stereowizji
- LIDAR służący do mapowania otoczenia
- 10 DoF mimiki
- 18 DoF chwytaki
- 20 DoF korpusu
- odpowiednio enkodery, lub/i czujniki Halla służące do odczytu pozycji stawów
- 2 matryce mikrofonów lub dedykowane sondy pozwalające na wykrycie kierunku dźwięku
- głośnik – źródło dźwięku
- 5 IMU
- jednostka centralna z odpowiednią mocą obliczeniową
- adekwatne źródło zasilania
- system kognitywno-decyzyjny
- system emocjonalny.

3.2 Obliczeniowe systemy emocji

Istnieje duża liczba autonomicznych systemów, w których zachowanie lub motywacje agenta ukierunkowane są *emocjami*, zwanych w skrócie obliczeniowymi systemami emocji. Mnogość takich systemów skutkuje możliwością podziału ich ze względu na:

- teorię psychologiczną, na podstawie której zostały stworzone:
  - ewolucyjną (LeDoux i Phelps, 1993; Damasio, 1994)
  - somatyczną (Damasio, 1994; Zajonc *et al.*, 1989)
  - oceny kognitywnej (Lazarus i Lazarus, 1994; Frijda, 1986; Scherer *et al.*, 2010; Ortony i Turner, 1990)
- komponenty uczestniczące w tworzeniu emocji (Scherer *et al.*, 2010):
  - kognitywne (zewnętrzne bodźce)
  - fizjologiczne (wewnętrzne, biologiczne/mechaniczne/wirtualne bodźce)
  - motywacyjne (wewnętrzne psychologiczne bodźce)
- fazy które uczestniczą w procesie emocjonalnym (ostatnia faza wskazuje na cele emocji (Scherer *et al.*, 2010)):
  - niskopoziomowa ewaluacja emocji – tworzenie emocji podstawowych opartych na prostych bodźcach
  - wysokopoziomowa ewaluacja emocji – tworzenie emocji pochodnych, związanych z pamięcią
  - modyfikacja priorytetów celów/potrzeb
  - wdrażanie akcji agenta
  - planowanie zachowania
  - wdrażanie zachowania
  - komunikacja
- rodzaje występujących emocji:
  - lingwistyczne/binarne – tylko etykiety
  - ostre – etykieta i wartość
  - rozmyte – przynależność do zbioru.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przedstawiony poniżej przegląd systemów emocjonalnych został opublikowany w pracy (Kowalczuk i Czubenko, 2016).

3.2.1. Przegląd wybranych systemów

Dominującą teoria na której oparte są systemy obliczeniowe emocji, jest teoria oceny kognitywnej (Gratch i Marsella, 2004). Według niej, emocje powstają na podstawie oceny poznawczej aktualnie postrzeganych obiektów, sytuacji oraz zdarzeń. Ocena (Lazarus, 1991) owa kształtuje się na podstawie relacji pomiędzy postrzeganymi elementami, a indywidualnymi przekonaniami, pragnieniami, intencjami (ang. *Beliefs, Desires, Intentions – BDI*). Relacja ta znana jest pod nazwą relacji personalno-środowiskowej (ang. *personal-enviromental relationship*). Systemy oparte na teorii oceny poznawczej nie biorą pod uwagę możliwości wystąpienia emocji, zanim zostanie rozpoznany obiekt, zdarzenie, czy sytuacja – przez co wymagają dużej mocy obliczeniowej. Innymi słowy agent najpierw rozpoznaje 'coś', następnie przeszukuje pamięć, tak aby owe 'coś' skojarzyć z emocjami. Emocje generowane przez takie systemy nie pojawiają się w czasie rzeczywistym (natychmiast po pojawieniu się obiektu), co wydaje się sprzeczne z ogólnym pojęciem emocji.

Wśród wielu systemów opartych na teorii oceny poznawczej wymienić należy systemy: CCBI (Marsella, 2003), ACRES (Swagerman, 1987), Will (Moffat i Frijda, 1994), EMILE (Gratch, 2000), TABASCO (Staller i Petta, 2001), ActAffAct (Rank i Petta, 2007), EM (Reilly, 1996), FLAME (El-Nasr *et al.*, 2000), EMA (Gratch i Marsella, 2004), ParleE (Bui *et al.*, 2002), FearNot! (Dias, 2005), Thespian (Mei *et al.*, 2006), Peactidm (Marinier *et al.*, 2009), Wasabi (Becker-Asano, 2008), AR (Elliott, 1992), CyberCafe (Rousseau, 1996), Silas (Blumberg, 1996), Cathexis (Velásquez i Maes, 1997), OZ (Reilly i Bates, 1992), MAMID (Hudlicka, 2005), CRIBB (Davis i Lewis, 2003), Affect and Emotions (Schneider i Adamy, 2014). Cześć z nich jest słabo powiązana z aspektami psychologicznymi, u innych z kolei dominuje ścisły opis matematyczny. Można zaznaczyć, że niestety większość psychologów unika obliczeniowych modeli emocji, nie wyciąga z nich wniosków, ani nie sprawdza teorii, za którymi one stoją.

Aby pokazać specyficzne aspekty tego zagadnienia, poniżej opisano kilka wybranych obliczeniowych systemów emocji. Przedstawione systemy reprezentują szeroką gamę rozmaitych aspektów związanych z obliczeniowymi systemami emocji.

3.2.1.1. ActAffAct

Acting Affectively affecting Acting jest architekturą emocjonalną dla agentów funkcjonujących jako aktorzy. Ma za zadanie zwiększyć wiarygodność postaci w grach komputerowych, chatterbotów, czy innych wirtualnych osób (Rank i Petta, 2007, 2005). System jest oparty na schematach walencyjnych emocji w teorii oceny kognitywnej. W efekcie nowe zdarzenia, obiekty czy akcje oceniane są pod kątem celów, standardów i gustów agenta. Przykładowo, agent może odczuwać radość w momencie rozbrojenia bomby, natomiast przed rozbrojeniem może odczuwać nadzieję i strach. Sposób działania systemu można opisać jako przejście pomiędzy fazami percepcji, oceny poznawczej, systemu decyzyjnego (ang. *relational action tendency – RAT*) oraz systemu wykonawczego. Faza percepcji polega na translacji informacji zewnętrznej w postać zrozumiałą dla oceny poznawczej. Na podstawie oceny poznawczej tworzone są emocje, dzięki którym RAT stara się rekonfigurować aktualnie wykonywane akcje i zachowania. Przez to ActAffAct jest systemem decyzyjnym opartym raczej na określonych sytuacjach, nie zaś zorientowanym na konkretny cel.

ActAffAct został zaimplementowany z prostym scenariuszem w wirtualnej aplikacji, dotyczącym grupy agentów i obiektów. Agenci poprzez odczuwanie różnych, generowanych przez system na podstawie sytuacji, emocji wybierali adekwatny do aktualnej sytuacji cel oraz reakcję zbliżającą do osiągnięcia go.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ActAffAct używa emocji w postaci etykiet – brakuje im jakiejkolwiek wartości. System oparty jest na modelu BDI: innymi słowy akcje agenta oparte są na wcześniej zaimplementowanych przekonaniach (*osobowość* jaką dany agent powinien grać, np. osobowość łotra). ActAffAct obejmuje wszystkie fazy procesu emocjonalnego. Wśród komponentów, które uczestniczą w tworzeniu emocji, można wyróżnić komponenty kognitywne oraz motywacyjne; brak komponentów fizjologicznych jest oczywisty z powodu wirtualizacji agenta.

3.2.1.2. FLAME

Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions jest obliczeniowym systemem emocji opartym na modelu Ortony'ego (1990), biorącym pod uwagę ocenę emocjonalną zdarzeń (El-Nasr *et al.*, 2000). Podczas zaistnienia nowego zdarzenia, FLAME ocenia jego wartość w odniesieniu do celów agenta. W szczególności, FLAME bierze pod uwagę, które cele są spełniane przez zdarzenie oraz w jakim stopniu (ang. *event impact*), a następnie wyznacza ich ocenę na podstawie ważności określonych celów (ang. *importance of goal*). Na podstawie tych parametrów określana jest pożądalność zdarzeń (ang. *desirability of event*) za pomocą rozmytego systemu Mamdani-Assiliana (1975). Opierając się na ocenie poznawczej zdarzeń, tworzone są emocje, na podstawie rozmytej pożądalności oraz reguł zaprezentowanych przez Ortony'ego (Ortony i Turner, 1990). Przykładowo radość jest skutkiem pożądanego zdarzenia, podczas gdy smutek generowany jest, kiedy wystąpi zdarzenie niepożądane.

Z uwagi na rozmytość systemu emocje pojawiają się w zespołach. Przykładowo wraz ze smutkiem pojawia się wstyd, gniew lub strach. Z tego też powodu emocje są filtrowane. W przypadku FLAME filtracja odbywa się za pomocą prostych reguł (np. radość może wykluczyć smutek, jeśli jest większa). Dodatkowo FLEME ma wbudowany system przerywający emocje oparty na elementach motywacyjnych, takich jak potrzeby. Dzięki temu agent może wykonywać ważniejsze zadania (np. zaspokoić głód), niż wdrażać zachowania związane z emocjami.

Na podstawie przefiltrowanych emocji wyznaczane jest zachowanie agenta. Zachowania agenta wybierane są również za pomocą systemu rozmytego. Zapisane są one w postaci reguł: np. **Jeśli** gniew jest wysoki **i** naczynie zostało zabrane **to** zachowaniem jest szczekanie. System uczy się za pomocą jednej z czterech zaimplementowanych metod:

- warunkowanie: powiązanie obiektu z emocją
- uczenie ze wzmocnieniem: zmiana oszacowania wpływu zdarzeń na cele
- probabilistyczne podejście do nauki wzorców zachowań
- heurystyczne uczenie, które zachowania zadowalają użytkownika.

System FLAME został użyty jako sterownik pewnego zwierzaka w symulacji wirtualnej. Zwierzak miał możliwość wyboru jednej z akcji werbalnych, takich jak szczekanie, warczenie, węszenie, etc. lub niewerbalnych, np. szukanie, bieganie, skakanie, etc. Emocje wprowadzone przez FLAME usprawniły zachowanie zwierzaka oraz jego wiarygodność.

Podsumowując, system FLAME oparty jest na teorii oceny kognitywnej. W systemie tym do komponentów uczestniczących w tworzeniu emocji należy zaliczyć tylko komponenty kognitywne. Komponenty motywacyjne, mimo obecności, nie wpływają na emocje. Emocje służą tylko do wyboru akcji agenta, nie modyfikują jego celów czy potrzeb. FLAME oparty jest na emocja rozmytych, co jest bardzo intuicyjne oraz ułatwia wnioskowanie.

3.2.1.3. EMA

EMotion and Adaptation jest rozbudowanym systemem emocjonalnym mającym wiele zmiennych ocennych (zmiennych z których wynika ocena emocjonalna). Wśród nich można wyróżnić (Gratch i Marsella, 2004, 2005):

- trafność – czy zdarzenie wymaga uwagi lub akcji
- pożądalność – czy zdarzenie pokrywa się z celami agenta

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- przyczynowość/wina – czy agent jest odpowiedzialny za zdarzenie
- możliwość – jak bardzo prawdopodobne było zdarzenie
- przewidywalność – czy zdarzenie było przewidywalne na podstawie poprzednich historii
- pilność – czy opóźnienie reakcji ma znaczenie
- zaangażowanie – do jakich elementów osobowości i motywacji agenta zdarzenie się odnosi
- sterowalność – czy agent może wpłynąć na zdarzenie
- samo-zmienność – czy zdarzenie się samo zmieni
- moc – jakiej mocy wymaga zdarzenie, aby je kontrolować
- zdolność adaptacji – czy agent da sobie radę z konsekwencjami zdarzenia.

Emocje generowane są za pomocą algorytmu mapującego opartego na modelu Eliotta (1992). Uwzględniają one wymienione wcześniej zmienne oceniające w kontekście pewnej perspektywy. Przykładowo nadzieja pojawia się z wierzenia, że coś dobrego może się zdarzyć (pożądalność>0 i możliwość<1). Każda z 24 emocji posiada swoją intensywność.

Na podstawie emocji wyznaczane są strategie radzenia sobie, *coping* wg Lazarusa (1994), które działają w odwrotną stronę niż ocena poznawcza: identyfikują przyczyny emocji i podtrzymują je lub zmieniają (BDI: przekonania, pragnienia, intencje i oczekiwania). Do strategi tych należą (Gratch i Marsella, 2005):

- akcje, wybrane do wdrażania
- plany, tworzące zamiary wykonania czynności
- szukanie wsparcia, pomocy
- zwlekanie, czekanie na zdarzenie zewnętrzne, zmieniające aktualne okoliczności
- pozytywna reinterpretacja, jako efekt uboczny dla negatywnego działania
- akceptacja
- zaprzeczenie, obniżenie prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanego wyniku
- rozłączenie psychiczne, zniżeniu użyteczności pożądanego stanu
- przesunięcie winy (odpowiedzialności) za działania w kierunku jakiegoś innego czynnika
- zasięganie lub tłumienie informacji.

Wnioski i przekonania użyte w systemie EMA zostały oparte na analizie *post hoc*. System EMA można uruchomić z zestawem definicji reakcji oraz zbiorem przepisów łączących je lub z zestawem prostych par emocja-reakcja. Domyślnie uruchamiana jest pierwsza z możliwości.

System EMA został częściowo zaimplementowany w architekturze poznawczej SOAR (ang. *State, Operator And Result*), opisanej w dalszej części pracy, podobnej do systemów eksperckich, dla celów odegrania prostego scenariusza (Laird *et al.*, 1987; Laird, 2012; Newell, 1994). Scenariusz opisuje agenta w sytuacji spotkania pewnego ptaka, który może zaatakować lub uciec. Przeprowadzona przez autorów symulacja dowodzi zasadności systemu EMA, ale pozostawia lekki niedosyt w skutek swej prostoty (w odniesieniu do koncepcji systemu, która jest dosyć skomplikowana).

EMA jest systemem o rozbudowanej możliwości interpretacji bodźców zewnętrznych. Emocje występujące w nim są ostre, posiadają wartość i przypisaną jej etykietę. W tworzeniu emocji uczestniczą komponenty motywacyjne i kognitywne. System ten umożliwia planowanie zachowania i jego wdrażanie.

3.2.1.4. ParleE

ParleE jest obliczeniowym modelem emocji przygotowanym pod wirtualnego agenta komunikacyjnego działającego w środowisku wieloagentowym. Oparty jest na teorii oceny kognitywnej Ortony'ego (Ortony i Turner, 1990). Wykryte zdarzenia oceniane są na podstawie nauczonych wcześniej zachowań i probabilistycznego algorytmu planującego. System

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

składa się z pięciu zasadniczych bloków. Blok EAC (ang. *Emotion Appraisal Component*) ocenia zdarzenie pod kątem osobowości agenta, planu oraz modeli innych agentów. Po czym generuje wektor impulsów emocjonalnych. Plan, a właściwie algorytm działania w określonym celu, generowany jest przez blok planujący, na podstawie modeli innych agentów. Blok ten oblicza również prawdopodobieństwo osiągnięcia celu, używane przy tworzeniu wektora emocji. Kolejne bloki: EC (ang. *Emotion Component*), EDC (ang. *Emotion Decay Component*), MOA (ang. *Models of Other Agents*) modyfikują wektor emocji biorąc pod uwagę kolejne aspekty takie jak elementy motywacyjne, osobowość, czy zachowanie innych agentów. System uwzględnia 10 emocji, o różnym natężeniu, tworzonych na podstawie reguł. Wprowadza także model osobowości Rousseau (Rousseau, 1996).

System ParleE został wdrożony jako agent konwersacyjny o nazwie Obie, który komunikuje się z użytkownikiem poprzez interfejs tekstowy i mimikę modelowaną trójwymiarowo. Scenariusz przedstawiony przez autorów posiada trzy opcje osobowości: neutralną, optymistyczną i wrażliwą. Opisany został jako: „Obie idzie do sklepu i kupuje chleb. Obie przynosi do domu chleb. Użytkownik zjada chleb Obiego." (Bui *et al.*, 2002). Trzy różne osobowości Obiego reagują emocjonalnie na trzy różne sposoby. *Neutralna* wersja Obiego złości się, *optymista* ignoruje zdarzenie i nadal jest szczęśliwy, a *wrażliwy* Obie jest bardzo zły.

ParleE uwzględnia ostrą formę emocji, a komponenty, które ją tworzą, należą do aspektów zarówno motywacyjnych, jak i kognitywnych. Dodatkowo, jako jeden z niewielu systemów, bierze pod uwagę również osobowość oraz przewidywane zachowanie innych agentów.

3.2.1.5. FearNot!

FearNot! jest aplikacją komputerową służącą do oduczania przemocy w szkołach. Symuluje ona sytuację, w której użytkownik sympatyzuje z ofiarą bójki. Jednakowoż, aby działanie aplikacji było znaczące, musi być ona wiarygodna zarówno w kontekście zachowań, jak i emocji. Emocje w rzeczonym systemie posiadają sześć atrybutów:

- typ
- wartościowość (negatywna bądź pozytywna)
- cel (obiekt związany z emocją)
- przyczyna
- intensywność (która zwykle maleje wraz z upływem czasu)
- moment, w którym emocja wystąpiła.

Przy tworzeniu emocji FearNot! uwzględnia parametry agenta dotyczące jego nastroju oraz pobudzenia. Gdy agent jest bardziej pobudzony, odczuwa emocje bardziej intensywnie, natomiast nastrój agenta wpływa na zwiększenie lub zmniejszenie możliwości wystąpienia pozytywnych bądź negatywnych emocji (Picard i Picard, 1997).

Emocje tworzone są na podstawie kognitywnej oceny aktualnej sytuacji, z uwzględnieniem modelu OCC. Związana jest ona z planami agenta. Z tego też powodu na emocje wpływają również wykonywane działania (mogą generować nadzieję, strach lub satysfakcję). Stworzone w ten sposób emocje wskazują jakie akcje lub jakie obiekty wymagają zaangażowania największej uwagi agenta. Jest to następnie uwzględniane w planach.

Strategie wykonawcze zostały podzielone na strategie radzenia sobie z emocjami, bądź rozwiązywania problemów. Strategia pierwsza polega na zmianie interpretacji aktualnie odczuwanych bodźców i innych warunków, które doprowadziły do odczuwania określonych emocji. Wśród nich można wymienić takie strategie jak: akceptacja (np. efektu reakcji) z niepożądanym działaniem, myślenie życzeniowe, planowanie, czy wykonanie akcji.

FearNot! jest wirtualną aplikacją opowiadającą historyjkę mającą na celu przeciwdziałanie przemocy wśród dzieci. Historia w aplikacji wzrasta poprzez interakcję między użytkownikiem a wirtualnym agentem. Takie podejście nazywa się podejściem wschodzących

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 3.2 Odniesienie poszczególnych emocji do zmiennych ocennych według teorii OCC (Dias *et al.*, 2014).

Zmienna ocenna	*Emocje*
Celowość	radość, niepokój, współczucie, niezadowolenie
Chwalebność	duma, podziw, wstyd, wyrzut
Lubienie	miłość, nienawiść
Skuteczność w osiągnięciu celu	nadzieja, strach, ulga, satysfakcja, rozczarowanie

narracji. Dzięki temu, użytkownicy FearNot! mogą skutecznie nauczyć się odpowiedniego zachowania (Figueiredo *et al.*, 2006).

System FearNot! reprezentuje najbardziej wszechstronne podejście do obliczeniowych systemów emocji. Na emocje wpływają komponenty kognitywne oraz motywacyjne, a także reaktywne. Emocje są zatem tworem złożonym. System taki umożliwia także zmianę interpretacji emocji. Głównym celem emocji w tym systemie jest sterowanie zachowaniem agenta oraz jego komunikacją z innymi agentami.

3.2.1.6. FAtiMA Modular

Fearnot AffecTIve Mind Architecture to rozwinięcie poprzednio opisanego projektu. FAtiMA jest architekturą emocjonalną przeznaczoną do sterowania autonomicznym agentem wirtualnym (Dias *et al.*, 2014). Fazy cyklu przetwarzania informacji w FAtiMA można przedstawić jako:

- percepcja
- ocena poznawcza
- planowanie akcji zgodnie z określonym celem
- wykonanie (wdrożenie) akcji.

Przedstawione etapy są bardzo podobne do wspomnianego poprzednio uniwersalnego modelu BDI opisanego przez Reisenzeina (2013).

Proces oceny poznawczej w systemie FAtiMA oparty jest na teorii Scherera (2010), którą można opisać jak poniżej. Proces oceny jest przyrostowy. Jest to proces, który można rozbić na sekwencje komponentów oceniających w odpowiednim porządku. Na podstawie procesu oceny poznawczej powstają zmienne ocenne, które są ważnym elementem procesu podejmowania decyzji. System FAtiMA uwzględnia również model OCC, gdzie zmienne ocenne mogą mieć określony wpływ na różne emocje, jak to wskazano w tab. 3.2.

Podsumowując – system FAtiMA prezentuje dość spójną koncepcję ostrych wartości emocji zmieniających się w czasie. W systemie tym emocje są tworzone przy użyciu wnioskowania OCC i oraz teorii ocennej Scherera. Emocje te można zaklasyfikować do emocji powstałych na podstawie teorii oceny poznawczej. Stan emocjonalny agenta jest zależny także od bodźców zewnętrznych, co odnosi się częściowo do somatycznej teorii emocji. W proces tworzenia emocji zaangażowane są elementy zarówno poznawcze, jak i motywacyjne. Emocje generowane przez FAtiMA mogą być traktowane jako zwykłe ekspresje agenta lub jako reakcja na bodźce agenta.

3.2.1.7. WASABI

WASABI Affect Simulation Architecture for Believable Interactivity jest przykładem obliczeniowego systemu emocji, w którym emocje zostały zamodelowane w ciągłej przestrzeni

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

trójwymiarowej (Becker-Asano, 2008; Becker-Asano i Wachsmuth, 2010; Becker-Asano, 2014). Przestrzeń ta opisana jest jako PAD przyjemność-podniecenie-dominacja (ang. *plesure-arousal-dominance*) (Russell i Mehrabian, 1977). W przestrzeni PAD zdefiniowane są obszary, które posiadają pewną etykietę z zakresu emocji podstawowych. Emocje wtórne zaś (np. ulga lub nadzieja) powstają na podstawie wyższych procesów kognitywnych.

Cały system tworzą dwa równoległe procesy: emocjonalny i kognitywny. Proces emocjonalny tworzy wektor emocji na podstawie wartościowanych impulsów i wyzwalaczy odebranych zarówno ze środowiska zewnętrznego, jak i modułu poznawczego. Jednocześnie moduł poznawczy może wygenerować sygnały emocji złożonych. Oparty jest on na modelu BDI (ang. *Belief-Desire-Intention*) oraz architekturze ACT-R (ang. *Adaptive Control of Thought—Rational*). Moduł ten odpowiada za przekazanie do wykonania pojedynczej akcji, bądź ich sekwencji. Moduł łączący emocje i akcje ma za zadanie generowanie mowy z uwzględnieniem emocji.

WASABI został użyty jako moduł emocji dla wirtualnego przewodnika – MAXa. Zaimplementowana przez autorów symulacja umożliwia agentowi posiadanie własnych emocji, które mogą mieć pewien wpływ podczas przeprowadzanej rozmowy. Na przykład, MAX analizuje środowisko w kontekście wykrycia koloru skóry, więc każda nowa osoba wywołuje pozytywny impuls emocjonalny w przestrzeni PAD. Skutkuje to zabarwioną emocjonalnie reakcją agenta. Symulacja ta została przedstawiona na różnych targach i wydarzeniach publicznych (Becker-Asano, 2008).

System WASABI nie jest w pełni oparty na kognitywnej ocenie sytuacji. Pomimo otrzymywania ocenionych zewnętrznych bodźców, system może sam zmienić emocję ze względu na upływ czasu. W tworzeniu emocji uczestniczą komponenty kognitywne oraz czas. Emocje jednak nie pełnią tej samej roli, co w powyżej opisanych systemach. Mają na celu zmianę emocjonalną sposobu wypowiedzi agenta, a nie jego zachowanie. Dzięki użyciu ciągłej emocji, w każdej chwili agent posiada jakąś wartość emocjonalną.

3.2.1.8. Cathexis

Cathexis jest systemem, który jako pierwszy brał pod uwagę hipotezę związaną z markerami somatycznymi (Damasio, 1994). Hipoteza ta stwierdza, że decyzje, które są wykonane w okolicznościach podobnych do ubiegłych doświadczeń, których wynik mógł być potencjalnie szkodliwych lub potencjalnie korzystny, indukują somatyczne oznaczenia. Są one użyte do szybszego decydowania w takich okolicznościach (niebezpieczeństwa lub przewagi agenta). System Cathexis składa się z pięciu modułów: percepcji, akcji, zachowania, emocji oraz motywacji (Velásquez i Maes, 1997; Velásquez, 1999). System został zaimplementowany na robocie Yuppy.

Moduł percepcji opowiada za odbiór i przetwarzanie danych sensorycznych, które następnie docierają do modułów zachowań i emocji. Moduł motywacyjny składa się z czterech potrzeb: energii (poziomu baterii), temperatury (w której się porusza), zmęczenia (ilości zużytej energii) oraz zainteresowania. Moduł emocjonalny został stworzony na podstawie różnych teorii emocji, obejmuje on zarówno określone rodziny emocji podstawowych (gniew, strach, smutek, radość, wstręt, zaskoczenie), jak i ich mieszaniny: np. według teorii Plutchika (1994), z radości i strachu powstaje poczucie winy. Emocje podstawowe pojawiają się jako odpowiedź na poszczególne bodźce ze środowiska. Dodatkowo moduł emocjonalny uwzględnia emocje wtórne, powiązane z obiektami, na podstawie innych teorii (Ledoux, 1998; Damasio, 1994). Moduł zachowań generuje – na podstawie emocji oraz motywacji – najbardziej adekwatne reakcje, które są następnie wdrażane przez moduł akcji.

System Cathexis został zaimplementowany na robocie mobilnym Yuppy – emocjonalnym 'zwierzątku' domowym zrealizowanym w postaci robota (Velásquez, 1998). Jego potrzeby (drugi aspekt motywacyjny) zostały sformułowane w następujący sposób: łado-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wanie, temperatura, zmęczenie i ciekawość. Emocje i potrzeby decydują o zachowaniach Yuppy'ego – Cathexis może wybrać odpowiednie zachowanie ze zbioru reakcji w zależności od odczuwalnych potrzeb i emocji (np. Yuppy może 'szukać kości').

System Cathexis oparty jest zarówno na teoriach ewolucyjnej i oceny kognitywnej jak i teorii somatycznej. W tworzeniu emocji uczestniczą komponenty kognitywne, fizjologiczne oraz motywacyjne. System planuje oraz wdraża zachowania w odniesieniu do niskopoziomowej i wysokopoziomowej emocji. Emocje użyte w tym systemie są ostre.

3.2.1.9. Rozmyty obliczeniowy model emocji i afektu AERFS

System AERFS (ang. *Artificial Emotion Fuzzy Recuret System*), zaproponowany przez Schneidera i Adamy'ego (2014), jako jeden z niewielu używa logiki rozmytej jako sposobu generowania emocji. Emocja przedstawiona jest jako punkt na płaszczyźnie, której wymiary to pobudzenie oraz wartościowość. System ten jest oparty na rekursywnym systemie rozmytym; emocja w aktualnej chwili jest tworzona na podstawie emocji z poprzedniej chwili oraz innych bodźców. Co można przedstawić za pomocą funkcji: $U \times X \rightarrow X$ (Adamy i Kempf, 2003). Zaproponowany przez Schneidera (2014) system jest również oparty na homeostacie motywacyjnym inspirowanym przez teorię Psi (Dorner i Hille, 1995).

AERFS został zaimplementowany w prostym środowisku symulacyjnym z obecnością źródeł energii oraz drapieżników. Agent ma za zadanie dotrzeć do określonego celu z użyciem jak najmniejszej energii oraz ominięciem drapieżników, które *gryzą*. Wyniki osiągnięte podczas symulacji pozwalają stwierdzić, iż podejście rekursywnego systemu rozmytego sprawdza się w przypadku prostych emocji.

System AERFS oparty jest na teorii ocennej Lazarusa. W tworzeniu emocji uczestniczą zarówno komponenty kognitywne (zewnętrzne bodźce), jak i motywacyjne (same emocje). Emocje są ostre i nie mają własnej etykiety (określane są jedynie przez wartościowość i pobudzenie). Proces emocjonalny obejmuje jednakże tylko tworzenie emocji oraz modyfikowanie aktualnych priorytetów agenta.

3.2.1.10. Emotion forecasting (FCM)

Z kolei Salameron (2012) sugeruje użycie Rozmytych Map Kognitywnych – FCM (ang. *Fuzzy Cognitive Maps*) jako narzędzia do przewidywania emocji. Emocje oparte są na modelu Thayer'a (Thayer, 1989), który bierze pod uwagę pobudzenie (jak bardzo agent jest podekscytowany lub znudzony) i wartościowość emocji (pozytywną bądź negatywną). Model ten został skonstruowany na podstawie danych z analizy nastroju oraz koncepcji bio-psychologicznej. Emocje według tego modelu mogą przyjmować jedną z dwunastu wartości: podekscytowanie, uszczęśliwienie, zadowolenie, relaksację, spokój, uspokojenie, senność, znudzenie, smutek, nerwowość, gniew, irytację. Dodatkowo, Salameron (2012) dzieli każdą z emocji na trzy wartości: słaba, średnia i silna. W efekcie model dysponuje 36 możliwymi emocjami.

FCM są narzędziem służącym do gromadzenia oraz reprezentacji wiedzy w celu wnioskowania rozmyto-neuronowego. System został przedstawiony na prostym przykładzie oczekiwania w przychodni. Rolę wejścia grają cztery różne bodźce (w tym długość kolejki), w warstwie ukrytej znajdują się elementy odpowiadające za oczekiwanie oraz nerwowość, które z kolei generują wyjście (systemu) czyli wartościowość oraz pobudzenie. Na podstawie odpowiednio ustawionych wag przejścia pomiędzy warstwami, system jest w stanie symulować emocje w określonym przypadku.

System FCM nie używa emocji rozmytych, a jedynie nazwy dla określonych przedziałów zmiennej emocjonalnej. Oparty jest na modelu, który można zaklasyfikować do ocennej teorii emocji. W FCM użyte są komponenty kognitywne oraz motywacyjne.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3.2.1.11. KARO

KARO jest systemem łączącym w sobie elementy logiki modalnej, logiki dynamicznej i operatorów motywacyjnych (Meyer, 2006; Meyer *et al.*, 1999). Modeluje on emocje w języku logicznym, w którym można wyróżnić operatory, takie jak operatory wiedzy, przekonań, działań, możliwości i pragnień. System wykorzystuje cztery *zawieszone* (nie podłączone do zewnętrznych bodźców) emocje, związane z pewnymi postawami:

- szczęście, wywołane przez realizację celów
- smutek, wywołany poprzez nieudane próby osiągnięcia celów
- gniew, wywołany przez długą realizację aktywnego planu
- strach, wywołany przez konflikty celów lub niebezpieczeństwa.

System KARO wykorzystuje podobną do BDI notację emocji, które można stosować w praktyce. Jednakże jest to tylko teoretyczny opis agenta emocjonalnego, z dużym naciskiem na dynamikę jego stanów psychicznych i skutków jego działania.

W odniesieniu do przedstawionej na początku klasyfikacji systemów emocjonalnych, KARO wykorzystuje poznawcze i motywacyjne elementy przy tworzeniu emocji (jako etykiety), a następnie modyfikuje w stosunku do nich priorytety agenta. Bez zastrzeżeń, system nie opiera się na teoriach ewolucyjnej, somatycznej czy oceny poznawczej emocji, jednakże wprowadza pewne elementy teorii OCC (przez co najbliżej mu do teorii oceny poznawczej).

3.2.1.12. MAMID

MAMID realizuje rozszerzony cykl przetwarzania (Hudlicka, 2008, 2004, 2005; Reisenzein *et al.*, 2013). Od uniwersalnego modelu agenta BDI rozróżniają go dodane procesy uwagi (filtracja i procesy selekcji) oraz oczekiwań (jak dodatkowy proces). MAMID wspiera również pamięć długoterminową, w której przechowywane są przekonania i zasady agenta. System jest wysoko sparametryzowany. Ponadto wydaje się być uniwersalny z punktu widzenia możliwych zastosowań.

Emocje w MAMID są tworzone przy użyciu danych zewnętrznych, ich wewnętrznych interpretacji, pragnień, priorytetów oraz innych indywidualnych cech agenta. Emocje posiadają własną wartościowość i stan afektywny (jedną z czterech podstawowych emocji: strach, gniew, smutek i radość). System może reprezentować *specyfikację* człowieka, jego emocje, pamięć i niektóre parametry poznawcze – wykorzystywane, aby wybrać najbardziej odpowiednią reakcję.

MAMID realizuje założenia teorii oceny poznawczej emocji. Wykorzystuje komponenty poznawcze i motywacyjne oraz potrafi stworzyć emocje w postaci ostrych wartości. Niestety, są tylko cztery różne emocje.

3.2.2. Porównanie wybranych systemów

Krótkie porównanie obliczeniowych modeli emocji przedstawiono w tab. 3.3. Trudno jest porównać różne systemy emocji ze względu na brak wspólnej, wystarczająco uniwersalnej i wszechstronnej miary. Nie można też porównać ich działania. Każdy z omawianych modeli i systemów ma pewien wpływ na rozwój obliczeniowych systemów. Niestety, ich wpływ na humanistyczne dziedziny jest niestety niski. Z przedstawionego przeglądu można jednak wyciągnąć następujący wniosek: niemal wszystkie modele obliczeniowe emocji używają oceny poznawczej jako tła teoretycznego. Jest to nieco kontrowersyjne, ponieważ teoria oceny poznawczej nie jest jedyną, którą stosuje się do tworzenia emocji. Kolejnym wnioskiem jest obserwacja, że zarówno ostre, jak i rozmyte reprezentacje logiczne mogą być efektywnie wykorzystywane w takich systemach. Jednak nie jest wskazane używanie *czystych* etykiet jako jedynej formy emocji.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 3.3 Porównanie systemów obliczeniowych emocji.

System	Teoria	*Sterownik*	Komponenty	Forma emocji	Relacja ze środowiskiem
ActAffAct	ocenna	RAT	poznawcze, motywacyjne	etykiety	BDI
FLAME	ocenna	OCC, rozmyte reguły	motywacyjne	rozmyte	MDP
EMA	ocenna	zmienne ocenne	poznawcze, motywacyjne	ostre	planowanie akcji, BDI
ParleE	ocenna	prawdopodobieństwo, OCC, Rousseau	motywacyjne, poznawcze	ostre	tworzenie wektora emocji
FearNot!	ocenna, somatyczna, ewolucyjna	OCC, plan	motywacyjne, poznawcze, reaktywne	klasy	strategie
FAtiMA	ocenna	OCC, Scherer'a	poznawcze, motywacyjne	ciągłe	ekspresje, reakcje
WASABI	ocenna, ewolucyjna	ACT-R, BDI	motywacyjne, poznawcze	ciągłe	modulacja głosu
Cathexis	ocenna, somatyczna, ewolucyjna	mikstury emocji	motywacyjne, poznawcze, reaktywne	rozmyte	generator zachowań
AERFS	ocenna	logika rozmyta	kognitywne, motywacyjne	ostre	modyfikacja priorytetów
FCM	ocenna	FCM	poznawcze, motywacyjne	ciągłe	brak danych
KARO	częściowo ocenna	logika	motywacyjne, poznawcze	etykiety	brak danych
MAMID	ocenna	BDI	motywacyjne	ostre	planowanie

3.3 Komputerowe systemy decyzyjne

Przedstawione poniżej opracowanie dotyczące systemów decyzyjnych zostało zaprezentowane w (Kowalczuk i Czubenko, 2017a). Dziedzina sztucznej inteligencji (ang. *Artificial Intelligence – AI*) stara się rozwiązać wiele zaawansowanych problemów, wśród nich można wyróżnić: wnioskowanie, reprezentacje wiedzy, uczenie maszyn, przetwarzanie języka naturalnego, percepcję maszyn oraz inne. Rozwiązanie tych problemów ma na celu w efekcie końcowym stworzenie systemu funkcjonującego jak człowiek. Do rozwiązywania przedstawionych wcześniej zagadnień można zastosować różnego rodzaju podejścia:

- cybernetyczne – postulujące podążanie za odwzorowywaniem rzeczywistych (naturalnych) obiektów oraz procesów (Pickering, 2011)
- statystyczne – dążące do budowania wyrafinowanych narzędzi matematycznych służących modelowaniu statystycznemu różnorakich procesów (Norvig, 2011)
- symboliczne (top-down, neats) – używające logiki, modelowania matematycznego wysokiego poziomu; oparte na przetwarzaniu wiedzy lub uczeniu maszynowym (Newell i Simon, 1972)
- sub-symboliczne (bottom-up, scruffies) – polegające na wykorzystaniu niewielkich modeli (jak model neuronu) do tworzenia niskopoziomowych rozwiązań (Brooks, 1991b).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Przedstawione gałęzie AI dążą (w pewnym stopniu) do modelowania umysłu człowieka, żadne jednak nie spełnia swoich założeń całkowicie. Dlatego też przy *próbach* pełnego modelowania umysłu człowieka należy zastosować zarówno podejście symboliczne – odgórne, jak i podejście sub-symboliczne – oddolne. Albowiem oba te podejścia wzajemnie się uzupełniają, oba również wywodzą się z podejścia cybernetycznego. Ponadto zarówno podejście sub-symboliczne, jak i podejście symboliczne mogą korzystać z narzędzi wypracowanych w opcji statystycznej. Dopiero takie połączenie może adekwatnie odzwierciedlić sposób myślenia człowieka.

'Ucieleśniona inteligencja' (ang. *Embodied Intalligence – EI*), jako podejście określane jako sub-symboliczne, jest rozszerzeniem cybernetycznych projektów z lat 50-tych starających się odwzorować w prosty sposób zjawiska *inteligencji* na niskim poziomie (Flemmer, 2010; Anderson, 2003; Brooks, 1991b,a). Początkowe projekty (Pickering, 2011) dotyczyły np. budowy *homeostatu*, urządzenia zachowującego stabilność mimo zewnętrznych zaburzeń (1946), czy *tortois'a*, robota podążającego do odpowiedniego poziomu naświetlenia (1953). Symulując za pomocą prostych elementów (*tortois* posiadał dwa neurony) podstawowe funkcje, osiągnąć można całkiem obiecujące rezultaty. Na podstawie takich projektów rozwinęła się gałąź zwana robotyką zachowawczą (Arkin, 1998).

Należy zauważyć, że pomimo swojej prostoty, zagadnienia – takie jak wyszukiwanie optymalnej trajektorii, czy rozpoznawanie obiektów z otoczenia – wymagają dosyć złożonych operacji, podczas gdy wnioskowanie i rozumowanie jest względnie proste (z punktu widzenia ewolucji) (Moravec, 1988):

> Kodowane w dużych, wysoce rozwiniętych sensorycznych i motorycznych częściach ludzkiego mózgu to miliard lat doświadczeń dotyczących natury świata i jak w nim przetrwać. Proces, który nazywamy rozumowaniem jest najcieńszym okleiną ludzkiej myśli, skuteczną tylko dlatego, że jest poparta tym znacznie starszą i znacznie silniejszą, choć zazwyczaj nieświadomą, wiedzą sensymotorową. Wszyscy jesteśmy wspaniałymi olimpijczykami w obszarach percepcyjnych i motorycznych, na takim poziomie, że uznajemy rzeczy bardzo trudne za łatwe. Myślenie abstrakcyjne jest jednak nowym trikiem, nie starszym niż 100 tysięcy lat. Jeszcze tego nie opanowaliśmy. To nie jest samoistnie trudne; Tylko wydaje się takie, kiedy to robimy.[4]

Wydaje się naturalne, że aby zamodelować działanie ludzkiego umysłu należy sięgnąć po osiągnięcia zarówno z dziedziny ucieleśnionej inteligencji, robotyki zachowawczej, jak i podejść odgórnych. Należy jednakże jasno postawić określony cel, jakim jest osiągnięcie inteligentnego zachowania przez system/agenta (Starzyk, 2008). W tym celu należy zdefiniować zarówno inteligencję, jako cel do osiągnięcia, oraz ucieleśnienie.

3.3.1. Ucieleśniona Inteligencja

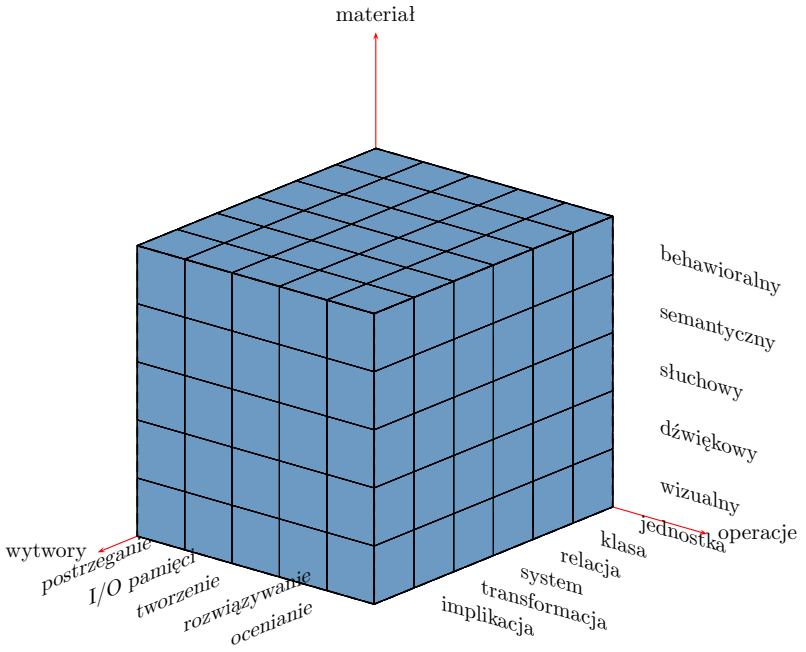
Jedną z pierwszych definicji inteligencji zaproponował Spearman (1904):

> ...wszystkie gałęzie działalności intelektualnej mają wspólnie jedną zasadniczą funkcję, podczas gdy konkretne elementy działalności wydają się w każdym przypadku zupełnie inne niż pozostałe we wszystkich innych.[5]

[4] Encoded in the large, highly evolved sensory and motor portions of the human brain is a billion years of experience about the nature of the world and how to survive in it. The deliberate process we call reasoning is, I believe, the thinnest veneer of human thought, effective only because it is supported by this much older and much more powerful, though usually unconscious, sensorimotor knowledge. We are all prodigious olympians in perceptual and motor areas, so good that we make the difficult look easy. Abstract thought, though, is a new trick, perhaps less than 100 thousand years old. We have not yet mastered it. It is not all that intrinsically difficult; it just seems so when we do it.

[5] ...all branches of intellectual activity have in common one fundamental function, whereas the remaining or specific elements of the activity seem in every case to be wholly different from that in all the others.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 3.5 Model intelektu Guilforda.

Jednakże jest ona niezdatna do celów określania inteligencji robotów. Z kolei należy przytoczyć definicję (Gottfredson, 1998):„Umiejętność radzenia sobie ze złożonością kognitywną”[6] oraz (Sternberg i Salter, 1982): „Ukierunkowanie na cel zachowanie adaptacyjne”[7]. Dzięki tym definicjom można domyślić się istoty inteligencji, a mianowicie jest to zdolność do aktywnego przetwarzania informacji (kognitywnej) w celu dostosowywania się do zmiennego środowiska przy dążeniu do własnych, określonych celów. Taką inteligencję zaprezentowałby robot funkcjonujący sam dla siebie, umiejący wyszukać sobie źródło energii, tak aby przetrwać (co przywodzi na myśl wspomniany wcześniej model *tortois* i teorie cybernetyczne).

W różnych podziałach wyróżnia się inteligencję kognitywną (abstrakcyjną), werbalną, emocjonalną, społeczną, twórczą i wiele, wiele innych. Zasadniczo w tym obszarze należy też wspomnieć o podziale intelektu (Guilford, 1966). Każda *myśl*, może być przypisana jako punkt w pewnej przestrzeni dyskretnej, która składa się z trzech wymiarów, obejmujących konkretne elementy (rys. 3.5):

- operacji: postrzeganie, zapis do pamięci, odczyt z pamięci, kreatywność, rozwiązywanie problemu oraz ocenianie
- treści, czyli materiał na którym operowano: wizualny, słuchowy, symboliczny, semantyczny oraz behawioralny
- wytworów (rezultat operacji): jednostki, klasy, relacje, systemy, transformacje oraz implikacje.

Jednakże najbardziej popularnym podziałem jest klasyczny podział Spearmana (1904) w którym wyróżniona się dwa czynniki inteligencji:

- czynnik g, czyli czynnik ogólny, odpowiadający za logiczne rozumowanie; silnie skorelowany z wieloma biologicznymi cechami, takimi jak: masa kory przedczołowej, ogólna masa mózgu, współczynnik metabolizmu glukozy w mózgu [8]
- czynnik s, czyli czynnik specyficzny, odpowiadający za konkretne zdolności.

[6]The ability to deal with cognitive complexity
[7]Goal-directed adaptive behavior
[8]Najnowsze badania udowodniły, że współczynnik dziedziczenia czynnika g wynosi około 85%.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ucieleśnienie w przypadku człowieka zakłada, że całe postrzeganie świata rzeczywistego jest uzależnione od aspektów fizycznych, tj. zmysłów i postrzegania przez nie świata. Ucieleśnienie związane jest to z filozofią umysłu, w szczególności problemem ciało-umysł dawno sformułowanym przez Kartezjusza (Alsop, 2005).

Według Starzyka (2008) inteligencja nie mogła się rozwinąć bez ucieleśnienia. Również w przypadku agentów wirtualnych, czy zrobotyzowanych – aby mówić o inteligencji, należy ją umieścić w jakimś środowisku oraz umożliwić obustronną interakcję. Ucieleśnienie jest zatem definiowane jako:

> ...mechanizm pod kontrolą rdzenia inteligencji, który zawiera czujniki i elementy wykonawcze połączone z rdzeniem przez kanały komunikacyjne.[9]

W taki sposób ucieleśnienie może być rozszerzone w ramach interakcji agenta ze środowiskiem o pewnego rodzaju narzędzia umożliwiające dodatkowe czynności lub poszerzające percepcję.

3.3.2. Przegląd zaawansowanych systemów decyzyjnych

Mimo coraz większych możliwości komputerów, a w szczególności ich mocy obliczeniowych, nie można stworzyć systemu, który będzie w stanie podejmować samodzielnie decyzje adekwatne do danej sytuacji. Aktualnie tworzy się coraz więcej i bardziej zaawansowanych systemów eksperckich (Agarwal i Goel, 2014; Bennett i Doub, 2016) oraz systemów podejmujących decyzje, opartych na sieciach Bayesowskich (Du i Liu, 2010; Wang i Wang, 2010) i neuronowych (Seepanomwan *et al.*, 2015). Systemy te pozwalają na wspomaganie podejmowania decyzji przez człowieka (np. w zagadnieniach diagnostycznych). Są one jednak głównie wąsko wyspecjalizowane do konkretnego przypadku.

Wśród problemów podejmowania decyzji, można wyróżnić dwie ścieżki:

- klasyczną – wyszukującą najbardziej optymalną decyzję w dobrze zdefiniowanym problemie,
- kognitywistyczną – mającą na celu znalezienie rozwiązania problemu rzeczywistego, nie w pełni zdefiniowanego.

Jak widać, klasyczna teoria decyzji mówi o tym, w jaki sposób decyzje powinny być podejmowane w znaczeniu optymalnym. Rozwiązuje ona zadania z dobrze określonej dziedziny (ang. *well defined problems*). Z drugiej strony, teoria kognitywistyczna (Goodwin i Wright, 2009) mówi jakie *skuteczne* decyzje mogą zostać podjęte w świecie rzeczywistym (ang. *real world problems*).

Pierwszy podział procesu decyzyjnego (w odniesieniu do człowieka) został wykonany przez John'a Dewey'a (1910). Według niego można wyróżnić pięć faz w procesie podejmowania decyzji: zdefiniowanie problemu, wskazanie jego charakteru, znalezienie możliwych rozwiązań, ich ocena, oraz wybór właściwego rozwiązania. Opierając się na innym podejściu, najbardziej uniwersalnym i aktualnym(Mann *et al.*, 1991), można wyróżnić następujące fazy:

1. cele – ich poszukiwanie oraz wartościowanie
2. opcje – wyszukanie oraz rozważenie alternatyw
3. fakty – rozszerzenie wiedzy o celach i opcjach
4. efekty – ocena skutków opcji
5. ewaluacja – wybór i implementacja odpowiedniej opcji.

Istnieją również inne podejścia do kwestii omawianego podziału (Pijanowski, 2009; Brim *et al.*, 1962; Mintzberg *et al.*, 1976). W największym uproszczeniu, proces podejmowania decyzji można wyrazić w trzech fazach (Simon, 1960):

1. zdefiniowanie problemu podjęcia decyzji

[9] ...a mechanizm under the control of the intelligence core that contains sensors and actuators connected to the core through communication channels.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

2. znalezienie możliwych kierunków działania
3. wybór właściwego działania.

Aby osiągnąć możliwość autonomicznego podejmowania decyzji, adekwatnej do danej sytuacji, system powinien nie tylko mieć możliwość nauki, czyli poszerzania wiedzy, rozpoznawania znanych obiektów, ale także jakąkolwiek motywacje skłaniającą do podejmowania działań.

Istnieje spora liczba systemów podejmowania decyzji oparta na ludzkich czynnikach motywacyjnych. Spowodowane jest to tym, że człowiek najlepiej spośród wszystkich gatunków dostosowuje się do zmiennego środowiska. Systemy takie w dużej mierze opierają się na różnego rodzaju modelach psychologii lub/i inteligencji człowieka oraz implementują powiązane z nimi elementy sztucznej inteligencji. Wśród różnych podejść do tego typu systemów można wyróżnić:

- behawioralne (Arkin, 1998; De Silva i Ekanayake, 2008)
- emocjonalne, przedstawione powyżej
- BDI (Beliefs-Desires-Intentions), powiązany ze wspomnianymi wcześniej systemami emocjonalnymi (Korecko *et al.*, 2014; Damjanovic *et al.*, 2005; Pan i Tsai, 2009; Hernandez *et al.*, 2004)
- oparte na potrzebach (Herve i Sorin, 2009; Ren *et al.*, 2009; Matsumoto *et al.*, 2011; Miwa *et al.*, 2003; Novak, 2014)
- kognitywne, takie jak (Samsonovich, 2010): 4CAPS, ALifeE, CLARION, CoJACK, DUAL, FORR, LIDA, MANIC, OpenCog, Soar, Spaun czy TinyCog.

Najbardziej zaawansowanymi systemami spośród wyżej wymienionych są architektury kognitywne. Wśród wielu architektur kognitywnych można wyróżnić architektury, które są w największym stopniu oparte o modele psychologii poznawczej. Przytoczyć można w tym miejscu stronę na której figuruje szczegółowe porównanie architektur kognitywnych (BICA). Ze względu na dosyć duże skomplikowanie systemów, poniżej przedstawiono trzy, najlepiej odwzorowujące (subiektywnie) modele psychologiczne architektury: LIDA, CLARION oraz Soar.

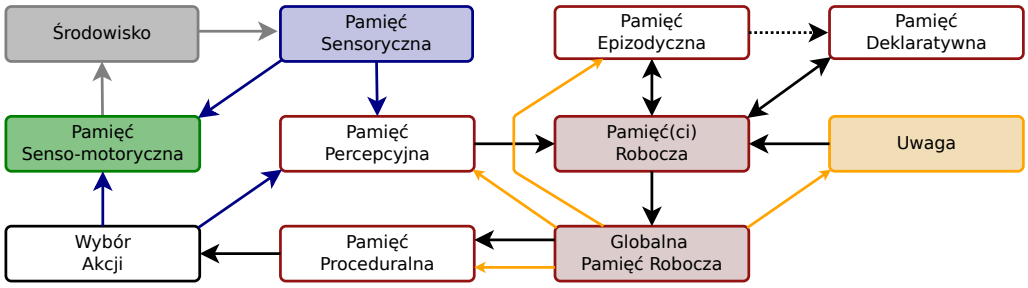
3.3.2.1. LIDA

Learning Intelligent Distribution Agent (rys. 3.6) jest systemem poznawczym starającym się zamodelować biologiczne poznanie, prowadzonym przez Stana Franklina (Madl i Franklin, 2015; Franklin *et al.*, 2014). Wdraża on architekturę subsumpcji (Brooks, 1991b) oraz inne aspekty z gałęzi sub-symbolicznej AI. Jest to jeden z bardziej zaawansowanych projektów mający na celu odwzorowanie psychologicznych oraz neuropsychologicznych teorii, w szczególności ucieleśnione poznanie, symboliczne systemy percepcji, różne rodzaje pamięci (sensoryczna, przestrzenna, epizodyczna chwilowa, operacyjna, deklaratywna, długoterminowa), różne sposoby nauki, mechanizmy uwagi szczególnej oraz motywację w postaci emocji.

LIDA opiera się na cyklu kognitywnym, w który mieści się percepcja, wybór odpowiedniej (w stosunku do postrzeganych elementów środowiska) reakcji oraz wdrożenie tejże reakcji. W skrócie cykl nosi nazwę cyklu percepcja-akcja. Zaawansowane procesy poznawcze, takie jak np. planowanie, składają się z wielu takich cykli. Aspekty motywacyjne w LIDA składają się z odczuć, które posiadają wartościowość (pozytywną lub negatywną) połączoną z zadowoleniem lub bólem (co oznacza pewien aspekt emocjonalny).

Bodźce, zarejestrowane przez sensory i rozpoznane z użyciem pamięci sensorycznej, przetwarzane są w pamięci roboczej, z użyciem różnych mechanizmów długoterminowych pamięci (przestrzennej, epizodycznej, deklaratywnej, czy percepcyjnej). Na ich podstawie tworzony jest model aktualnej sytuacji, który wykorzystywany jest przy wyborze reakcji z pamięci proceduralnej. Wątki *świadome* (aspekty uwagi) mają na celu dodanie kontekstu

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 3.6 Architektura poznawcza LIDA: szare linie reprezentują interakcję ze środowiskiem, niebieskie – niskopoziomowe przetwarzanie, pomarańczowe procesy związane z uczeniem się, natomiast kropkowana strzałka wskazuje konsolidację pamięci.

do modelu lub uczenie którejkolwiek pamięci długotrwałej. Wybrana akcja jest wdrażana przez efektory (przy pomocy pamięci senso-motorycznej), co prezentuje rys. 3.6.

3.3.2.2. CLARION

Connectionist Learning with Adaptive Rule Induction On-line jest architekturą opracowaną na podstawie psychologii poznawczej i społecznej (Sun i Helie, 2013; Sun, 2013; Coward i Sun, 2004; Sun *et al.*, 2001). Implementuje ona również elementy sztucznej inteligencji oraz systemy *quasi* inteligentne. Architektura ta została zaprojektowana i implementowana pod przewodnictwem prof. Rona Suna. CLARION złożony jest z czterech pod-systemów:

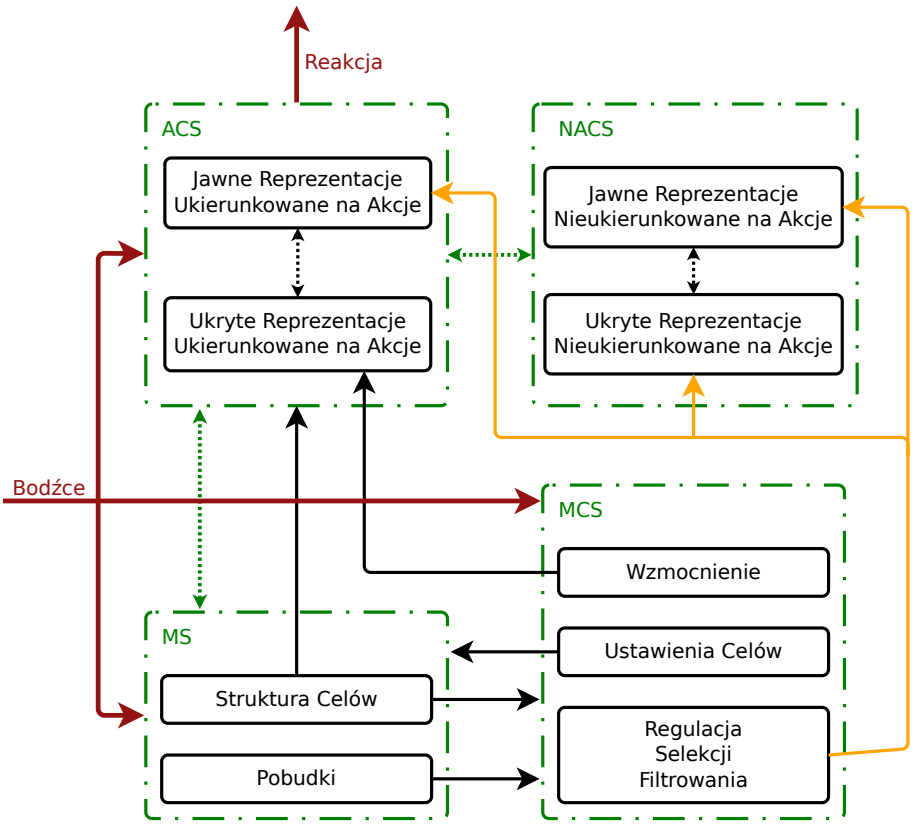
- Action Centered Sub-system (ACS) – opisanego jako proceduralny
- Non-Action Centered Sub-system (NACS)
- Motivational Sub-system (MS)
- Meta-Cognitive Sub-system (MCS).

W każdym pod-systemie dane/struktury są reprezentowane dualnie: jawnie/wyższego poziomu (ang. *explicit*) i niejawnie/niższego poziomu (ang. *implicit*) rys. 3.7. CLARION umożliwia autonomiczne uczenie się zarówno w podejściu oddolnym (indukcja), jak i odgórnym (dedukcja). W swoich założeniach spełnia przedstawione wcześniej podejście ucieleśnionej inteligencji.

Pod-system zorientowany na akcję (ACS) odpowiada za wszelkiego rodzaju reakcje agenta, zarówno zewnętrzne dotyczące środowiska, jak i wewnętrzne. Cześć ukryta jest zaimplementowana jako sieć neuronowa, podczas gdy warstwa jawna to baza reguł. Drugi pod-system (NACS) odpowiedzialny jest za przechowywanie i dostarczanie wiedzy. Również tutaj część ukryta ma postać sieci neuronowej (asocjacyjnej), podczas gdy część jawna jest opisana za pomocą reguł i notacji symbolicznej. NACS modeluje pamięć semantyczną i epizodyczną. Modułu ten potrafi używać metod wnioskowania opartego na zadanych rozkładach podobieństwach.

W tego typu systemie oczywiście nie może zabraknąć elementów modelujących motywację. Również w tym przypadku elementy te można podzielić na jawne i ukryte. Do elementów jawnych (wyższego poziomu, można je porównać do potrzeb wyższego rzędu) należą cele (ang. *explicit goals*) takie jak: przynależność, uznanie, władza, autonomia, szacunek, uczciwość. Z drugiej strony CLARION używa motywacji niskiego poziomu (ang. *drive activations*) na którą składają się *potrzeby* (głównie fizjologiczne) takie jak: jedzenia, picia, snu, bezpieczeństwa, czy reprodukcji. Dodatkowo CLARION umożliwia projektowanie własnych, wtórnych *potrzeb*.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 3.7 Architektura kognitywna CLARION: pomarańczowe linie reprezentują procesy uwagi (w ogólności), zielone wymianę danych, podczas gdy czerwone reprezentują interakcję ze środowiskiem.

Ostatni pod-system odpowiedzialny jest za rolę meta-poznawczą. Odpowiada on za *świadomość* wszystkich innych procesów poznawczych agenta, reguluje i kontroluje je. Dokładniej – wybiera, które cele są najważniejsze, w jaki sposób należy regulować wzmocnienie przy nauce, filtruje informacje, jak również wybiera sposoby interpretacji, wnioskowania oraz nauki w aktualnej chwili działania systemu.

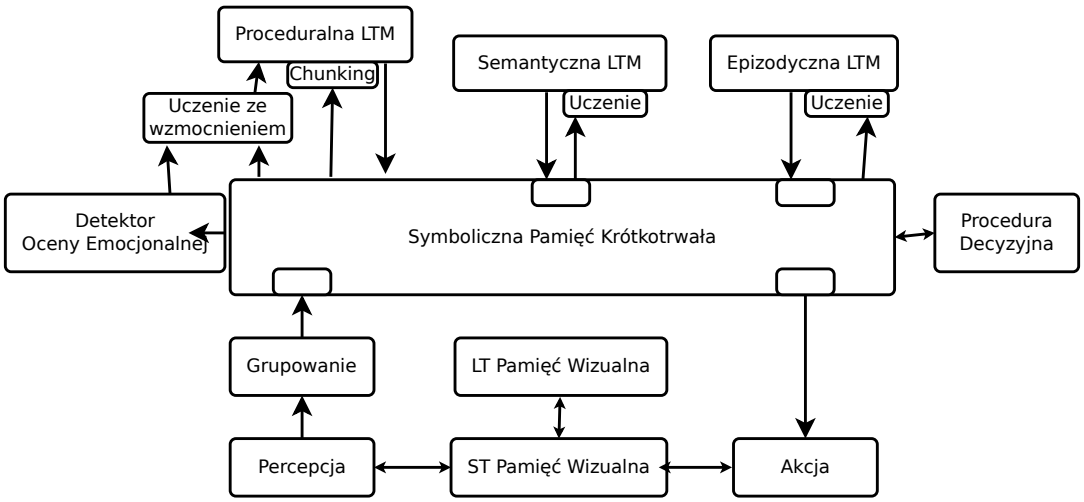
3.3.2.3. Soar

State, Operator And Result to architektura kognitywna stworzona przez Johna Lairda, Allena Newella, i Paula Rosenblooma (Laird *et al.*, 1987; Laird, 2012; Jones i Laird, 1997; Nielsen *et al.*, 2000; Chown *et al.*, 2002; Laird i Mohan, 2014). Jest jednym z najstarszych tego typu systemów (pierwsza wersja pochodzi z roku 1983). Głównym celem tej architektury jest umożliwienie inteligentnemu agentowi działania w różnych warunkach, od rutynowych zadań do rozwiązywania bardzo trudnych, otwartych problemów. Agent tego rodzaju powinien używać odpowiednich form reprezentacji wiedzy, posiadać pamięć proceduralną, semantyczną, epizodyczną oraz ikoniczną. Aby agent spełniał założenia ucieleśnienia, powinien reagować ze światem zewnętrznym oraz uczyć się na jego temat. Soar spełnia wszystkie te założenia; każda decyzja w nim jest podejmowana na podstawie aktualnej sytuacji, tj. wiedzy opartej na informacjach z sensorów. Główną rolę w architekturze spełniają reguły sformowane w postaci systemu eksperckiego.

Architektura poznawcza Soar złożona jest elementów takich jak (Laird, 2008):

- pamięci, przechowującej wiedzę

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 3.8 System poznawczy Soar w wersji 9.

- modułu przetwarzania (uwagi), mającego na celu ekstrakcję, wyznaczanie, mieszanie oraz zapisywanie wiedzy
- języków (semantycznych), służących do przechowywania wiedzy.

Soar, podobnie jak LIDA, opiera się na cyklu, który można opisać jako decyzyjny. Percepcja systemu zmienia dane w symbolicznej pamięci krótkotrwałej, na tej podstawie reguły dedukcyjne testują możliwości agenta. Następnie kolejna warstwa reguł proponuje operatory (reakcje) adekwatne do aktualnej sytuacji, na podstawie których wyliczane są preferencje agenta. Mając zbiór możliwych reakcji i preferencji obliczonych na ich podstawie, wyznaczana jest jedna, właściwa do danej sytuacji reakcja, która jest następnie aplikowana przez aktuatory.

Całokształt systemu można ukazać za pomocą rys. 3.8, gdzie przedstawiona został architektura poznawcza Soar, natomiast opisany wcześniej cykl decyzyjny został oznaczony jako blok procesu decyzyjnego. W architekturze Soar występują emocje, które służą jako wzmocnienie w procesie uczenia (pośrednio poprzez nastrój i uczucia). Ukazana została również pamięć semantyczna jako dodatek do wiedzy proceduralnej. Dzięki temu agent ma możliwość przechowywania i odtwarzania informacji nt. środowiska. Z kolei pamięć epizodyczna zawiera wiedzę, która została uzyskana w trakcie wykonywania różnego rodzaju akcji, w postaci bezpośredniego zapisu kodu wykonanej akcji oraz aktualnego (w danej chwili) stopnia spełnienia reguł. Dodatkowym elementem systemu jest długoterminowa pamięć wizualna (krótko- i długo-trwała), które pomagają w operacjach dotyczących przetwarzania przestrzennego.

3.3.3. Porównanie architektur kognitywnych

Przedstawione powyżej systemy prezentują podejście kognitywne do problemu podejmowania decyzji. Wszystkie starają się łączyć podejście oddolne i odgórne. Jednakże systemy te różnią się zarówno w implementacji, jak i w koncepcji. Ze względu na znaczną różnorodność implementacji, jak i zakres zastosowań powyższych systemów, nie ma większego sensu porównanie ich pod kątem parametrów takich jak: złożoność obliczeniowa, szybkość reakcji, czy dokładność wykonania poszczególnych działań. Ideałem byłby stworzenie miarodajnego testu dla architektury kognitywnej, tak samo jak propozycja miarodajnego testu porównującego ludzi. Można jednakże próbować porównać powyższe architektury pod względem budowy oraz sposobu napędzania reakcji, jak to ukazano w tab. 3.4.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 3.4 Porównanie architektur kognitywnych.

	LIDA	CLARION	SOAR
struktura	cykle percepcja-akcja	jawne i ukryte podsystemy (równoległe)	cykle
bodźce	wewnętrzne i zewnętrzne	zewnętrzne	zależne od projektanta
pamięć percepcyjna	Slip-Net (asocjacyjna)	połączona z pamięcią roboczą	*brak danych*
podstawowa jednostka pamięci	codlet	kawałek	reguła
pamięć krótkotrwała	(ang. *global workspace theory*)	ograniczona (wzrokowo-przestrzenna, słuchowa, ...)	symboliczna
struktura pamięci LTM	percepcyjne, epizodyczne, deklaratywne, proceduralne	Non-Action Centered Sub-system (semantyczna i asocjacyjna wiedza)	proceduralna, semantyczna, epizodyczna
pobudki do działania	*brak danych*	podobne do ludzkich potrzeb, celów	emocje
emocje	*uczucia* (dodatnie lub ujemne)	*brak danych*	ocenne (nastrój i uczucia)
podejmowanie decyzji	na podstawie sytuacji w otoczeniu	reguły i sieci neuronowe	reguły i wnioskowanie
język programowania	Java	C#	Java & C++
zastosowanie	diagnostyka medyczna	symulacje poznawcze	symulacje od wież Hanoi do bota w Quake'u

Każdy z przedstawionych powyżej systemów uwzględnia pewien sposób modelowania procesów poznawczych człowieka, przez co mniej lub bardziej wyjaśnia się albo dowodzi (przynajmniej częściowo) pewnych teorii dotyczących procesów poznawczych. Pozwala to zarówno na ewaluację teorii psychologicznych, jak i na uogólnienie procesów poznawczych dla agenta autonomicznego. Przykładowo, każdy z systemów posiada pewną jednostkę podstawową pamięci, która informuje o jakimś obiekcie rzeczywistym. Jednostka taka oraz pamięć semantyczna są niezbędne z punktu widzenia autonomicznego robota. Należy zauważyć, że przedstawione systemy mają za zadanie głównie podejmowanie decyzji w warunkach pracy autonomicznej, czyli bardziej modelowanie otoczenia agenta niż wnioskowanie. Przedstawione systemy starają się podpowiadać w jaki sposób należy opisać środowisko, aby agent mógł wchodzić z nim w interakcje.

Aby powyższe systemy porównać profesjonalnie należałoby każdy z nich zaimplementować na wybranej platformie mobilnego robota autonomicznego, a następnie przetestować w identycznych warunkach. Dzięki temu można wnioskować pewniej niż w przypadku symulacji. Architektury kognitywne powinny być testowane pod kątem:

- percepcji – względem prędkości i trafności rozpoznawania otoczenia agenta
- uwagi – z przypisywaniem wagi obiektom ze względu na bezpieczeństwo agenta oraz decyzje podejmowane przez niego
- podejmowania decyzji – w szczególności adekwatności podjętej decyzji w warunkach niepewności
- zdolności uczenia się i wyciągania wniosków – czy potrafi poprawić swoje błędy przy wykonywaniu zadań oraz jak bardzo jest w stanie rozbudować swoją *wiedzę* na temat otaczającego go środowiska
- mocy obliczeniowej – niezbędnej do poprawnego funkcjonowania systemu.

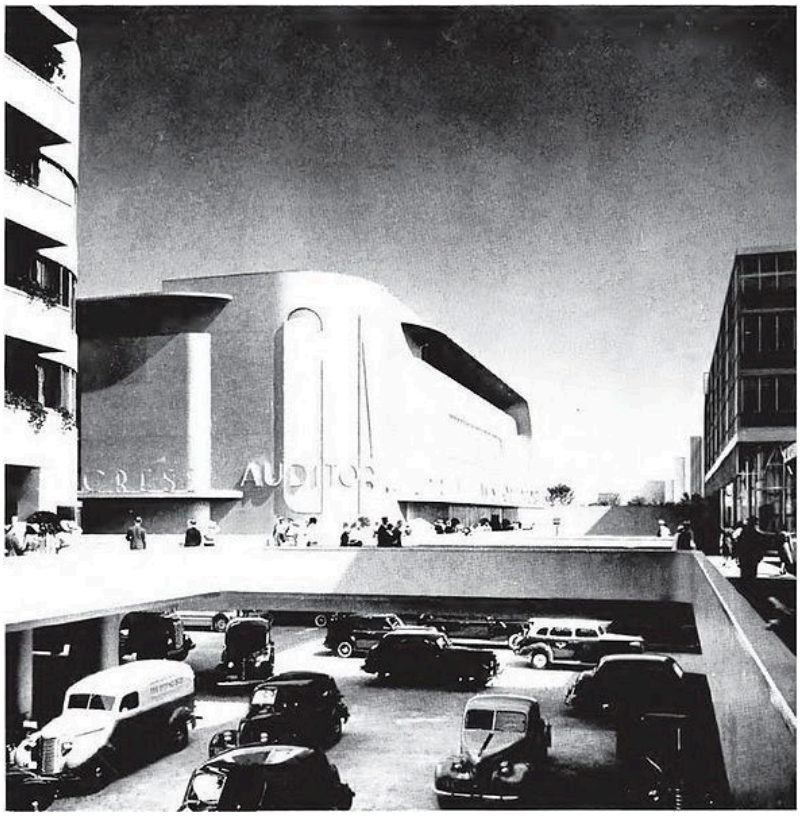
Niestety, próba porównania przedstawionych powyżej architektur zajęłaby dużo czasu. Dlatego też powyższa pobieżna wersja porównania oparta została tylko na budowie przedstawionych systemów.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3.4 Problem autonomicznego kierowcy

Wykraczając zdecydowanie poza aspekty systemów stricte antropoidalnych, warto wspomnieć o systemach mających na celu wysoki stopień autonomiczności. Jednym z powszechnie rozwijanych systemów autonomicznych jest robot-kierowca. Taki system sterowania pojazdem został wybrany do pokazania użyteczności Inteligentnego Systemu Decyzyjnego ISD (Czubenko *et al.*, 2015).

Idea autonomicznych pojazdów naziemnych od długiego czasu pojawia się w marzeniach ludzkości. Pierwszy projekt dotyczący autonomicznego samochodu został opisany przez Geddesa (1940b). Prezentował on automobile zasilane przez układy elektryczne, a sterowane poprzez radio (dosyć słaba 'autonomia'). Jednakże już kilka lat wcześniej powstał samochód sterowany przez radio (Linrrican Wonder). Wizja autonomicznych samochodów została głęboko zakorzeniona w wyobraźni społeczeństwa. Począwszy od wystaw, poprzez filmy i książki, a skończywszy na rzeczywistych przedsiębiorstwach, wątek autonomicznego samochodu przewija się w wielu miejscach (rys. 3.9).



Rysunek 3.9 Wystawa samochodów przyszłości z 1939 roku w Nowym Yorku, fotografia wykonana przez Normana Geddesa (1940a); prawa autorskie: N. Bell Geddes, Wikimedia Commons, PD-US.

Pierwszym autonomicznym pojazdem była miniaturka samochodu sterowanego elektronicznie, poruszającego się wzdłuż określonego wzoru wyrysowanego na podłodze w 1953 roku. Był to pierwszy line-follower. Następne pojazdy były już rzeczywistymi samochodami sterowanymi elektronicznie. Należy wśród nich wymienić przede wszystkim: Firebirdy (GM) i DS19 (Citroen). Pojazdy te poruszały się autonomicznie jednak na pustej drodze.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Zwiększenie natężenia ruchu wymusiło kierunek rozwoju autonomicznych pojazdów. Aktualnie rozróżnia się zagadnienia: *Cruise Control*[10], sterowanie prędkością, wybór drogi zmierzającej do celu (użycie GPS) oraz w szczególności systemy wizyjne związane z ruchem ulicznym. Ostatnie zagadnienie można podzielić na:

- rozpoznawanie pasów ruchu
- identyfikację i wyznaczanie trajektorii pojazdów
- identyfikację położenia i własnej trajektorii
- monitorowanie kursów kolizyjnych
- wyszukiwanie możliwych zagrożeń.

Poprzez prawie wiek rozwinięto wiele projektów dotyczących autonomicznych pojazdów. Dzięki nim, aktualnie produkowane samochody są wyposażone w systemy, takie jak ABS, automatyczna zmiana biegów (nie należy mylić z automatyczną skrzynią biegów), *Cruise Control*, czy automatyczne parkowanie. Nadal największym wyzwaniem pozostaje połączenie tych systemów w całość.

Aktualnie kilka stanów w USA (Nevada, Floryda, Kalifornia, Michigan) oraz krajów (częściowe zezwolenia) wprowadziło regulacje prawne dotyczące używania autonomicznych aut. USA, a konkretnie NHTSA (ang. *National Highway Traffic Safety Administration*) wprowadziło także rozróżnienie stopnia autonomizacji samochodów:

- stopień 0 samochód prowadzi kierowca
- stopień 1 pojedyncze systemy są autonomiczne (automatyczne hamowanie)
- stopień 2 przynajmniej dwa systemy są skonsolidowane (np. parkowanie automatyczne)
- stopień 3 pełne sterowanie automatyczne; w momencie wykrycia warunków wymagających kierowcy ludzkiego, sterowanie jest mu oddawane
- stopień 4 całkowite sterowanie automatyczne.

3.4.1. Projekty naukowe

Istnieje wiele projektów, które rozwijają koncepcję pojazdu bezzałogowego (część z nich została przedstawiona poniżej). Jednakże aktualnie nie ma systemu, który mógłby przewyższyć umiejętności ludzkiego, doświadczonego kierowcy (który jest również niedoskonały). Metody projektowania tego rodzaju systemów opierają się na metodach i narzędziach sztucznej inteligencji, takich jak systemy rozmyte, sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne lub metody eksperckie (Long *et al.*, 2007; Bengtsson, 2001).

3.4.1.1. Project ITERATE

Na podstawie analizy statystyk wypadków samochodowych, zarówno w USA, jak i w UK, zidentyfikowano ich główną przyczynę: w 95% był to użytkownik drogi (Oppenheim i Shinar, 2011). Na podstawie różnych analiz danych statystycznych powstało wiele projektów służących do monitorowania zachowania kierowcy. Projekt ITERATE (IT for Error Remediation And Trapping Emergencies), współfinansowany przez Unię Europejską, zakłada utworzenie predyktywnego modelu obejmującego zachowanie kierowcy oraz jego wpływ na środowisko drogowe (Oppenheim i Shinar, 2011).

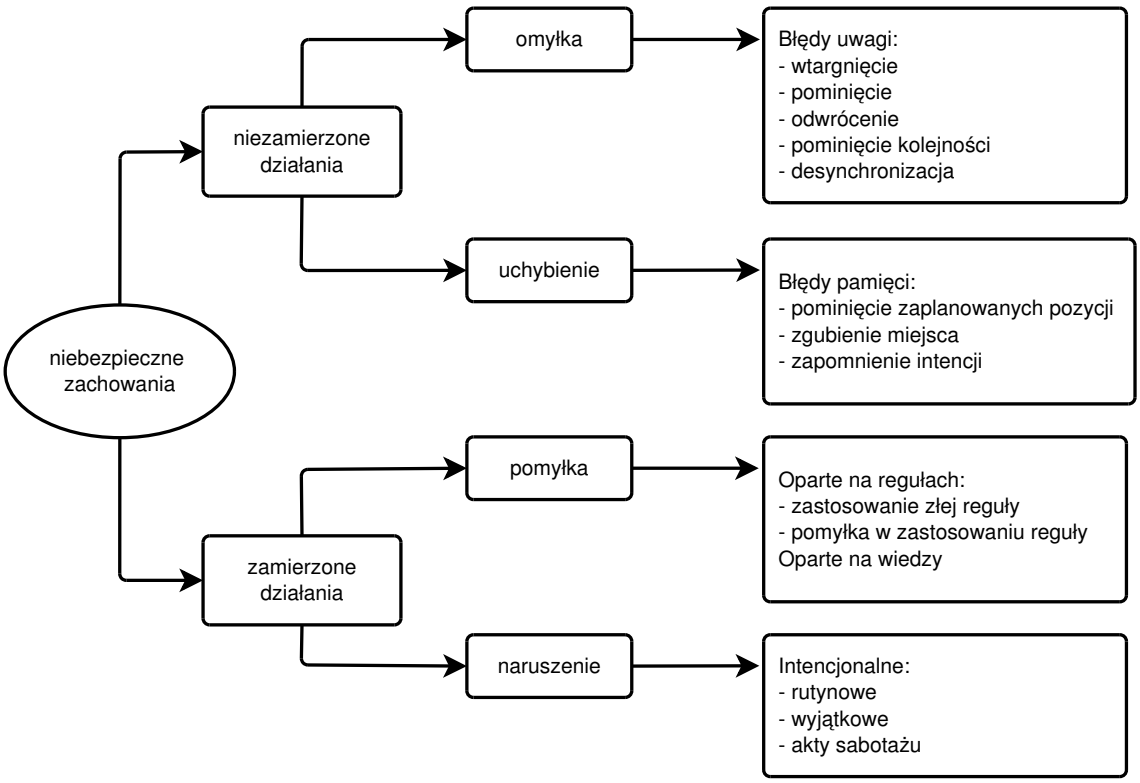
Można wyróżnić cechy zarówno kierowcy, jak i drogi, wpływające na zagrożenie na drodze:

- zmienne zależne:
  - skłonność do popełniania błędów, mierzona według klasyfikacji Reason (1990): omyłki i uchybienia – błędy uwagi i pamięci (Wickens *et al.*, 2008); pomyłki – wynikające z błędnego zrozumienia; oraz naruszenia – świadome działania (rys. 3.10)

[10]Poruszanie się w ciągu samochodów ze stałą prędkością, np. na autostradach.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

  - czas reakcji, czyli czas pomiędzy zaobserwowaniem zdarzenia, a fizyczną reakcją pojazdu; można go podzielić na trzy komponenty składowe: czas od zaobserwowania bodźca do podjęcia decyzji o reakcji, czas potrzebny na wykonanie reakcji (np. wykonanie ruchu nogą przy hamowaniu) oraz czas fizycznej reakcji pojazdu (przełożenie siły z pedału hamulca na klocki hamulcowe).
- czynniki wpływające na zachowanie kierowcy:
  - indywidualne cechy osobowości jako statyczne zmienne skojarzone z zachowaniem człowieka: gapiostwo, skłonność do agresji, skłonność do ryzyka, poszukiwanie wrażeń i inne (Cacciabue i Carsten, 2010); należy zwrócić uwagę, że wszystkie indywidualne cechy osobowości mają wpływ zarówno na skłonność do popełniania błędów, jak i na czas reakcji
  - doświadczenie, a zwłaszcza doświadczenie zdobyte w trudnych warunkach drogowych, zarówno od strony percepcyjnej (np. jazda we mgle), jak i zdarzeń na drodze (np. oblodzona nawierzchnia)
  - fizyczny i psychiczny stan kierowcy oraz różnego rodzaju poziom zmęczenia, modelowany rozmaicie, np. trójwymiarowo (Shinar, 2007)
  - wymagania związane zadaniami, które są aktualnie realizowane przez człowieka
  - kultura jazdy, czyli socjologiczne uwarunkowania, np. narodowość kierowcy (Waard *et al.*, 2007).
- parametry środowiska:
  - droga, zakręty, przyczepność
  - ruch uliczny
  - widoczność.
- sprzężenie pomiędzy powyżej wymienionymi czynnikami.



Rysunek 3.10 Klasyfikacja niebezpiecznych aktów (Reason, 1990).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

System oparty na tak uformowanym modelu mógłby nadzorować ludzkiego kierowcę auta. Mógłby też umożliwić wytrenowanie autonomicznego pojazdu, zwracając uwagę na błędy w zachowaniu automatu.

3.4.1.2. SDDRIVE

Simple Simulation of Driver performance, czyli SDDRIVE (Casucci *et al.*, 2010), to narzędzie umożliwiające symulację numeryczną architektury DVE (ang. *Driver Vehicle Environment*). Model teoretyczny opisany w (Cacciabue i Carsten, 2010) daje dobrą podstawę do ukazania symulacji procesów decyzyjnych kierowcy i popełnianych w nich błędów. Model zawiera również wskazówki, jak dokonywać przejścia pomiędzy podjętą decyzją, a jej fizyczną realizacją, w szczególności odniesienie do teorii Ramussena (1983) SRK (ang. *Skill-Rule-Knowledge*).

Model SDDRIVE jest *aktywnym* modelem umożliwiającym przewidzenie zachowania kierowcy na podstawie jego cech oraz w odniesieniu do zmiennych warunków drogowych. Podobnie jak w projekcie ITERATE, brane są pod uwagę cechy kierowcy, takie jak:

- doświadczenie/kompetencje kierowcy: zagregowana wiedza i umiejętności kierowcy przekładające się na właściwe reakcje na drodze,
- postawa/osobowość: stan mentalny obejmujący odczucia i system wartości człowieka
- zapotrzebowanie na zadanie/cel: dążenie do osiągania pewnych, z góry określonych i mierzalnych celów za pomocą pewnych metod
- stan kierowcy: fizyczne i psychiczne możliwości do prowadzenia pojazdu
- świadomość sytuacji/zagrożenia: postrzeganie aktualnej sytuacji na drodze (z kontekstem czasu), a w szczególności predykcja możliwości jej rozwinięcia (znaczenie sytuacji).

Model, a właściwie symulator SSDRIVE, został przetestowany w wielu ciekawych przypadkach (niestety tylko laboratoryjnych). Przyjąwszy spełnienie założeń modelu, potrafi on przewidzieć zmiany ruchu ulicznego oraz potencjalne zagrożenia związane z ruchem ulicznym.

3.4.1.3. Modelowanie zachowania kierowcy – podejście szkoleniowe

Podejście, które ma na celu utworzenie dobrego symulatora do szkolenia kierowców, jest projekt Demira i Çavuşoğlu (2012). Postuluje on stworzenie modelu zachowania kierowcy w różnych warunkach. Model kierowcy został utworzony na podstawie dwuwarstwowych Hierarchicznych Maszyn Stanów rywalizujących ze sobą (ang. *Hierarchical Concurrent State Machines*). Model ten został zastosowany w aplikacji TRAFIKENT do sterowania autonomicznymi agentami – kierowcami. Eksperymenty oraz przeprowadzone badania dowiodły (Demir i Çavuşoğlu, 2012), że przedstawiony model zachowuje się podobnie do kierowców, to jest emuluje różnego rodzaju zachowania obecne na drogach. Zarówno model, jak i aplikacja są obecnie stosowane w szkoleniu kierowców w Turcji.

Model, po zaimplementowaniu warstw przejściowych pomiędzy wyborem decyzji a rzeczywistymi aktuatorami oraz pomiędzy środowiskiem a wejściem modelu (percepcja), może zostać zastosowany jako autonomiczny kierowca.

3.4.1.4. Zachowanie kierowcy (ciężarówki) – podejście optymalizacyjne

Projektując model kierowcy, należy nie tylko uwzględnić podejmowanie decyzji, ale także optymalizację drogi oraz zachowania samochodu. Człowiek, będąc najbardziej inteligentnym stworzeniem, nie potrafi (lub nie zawsze chce) szybko optymalizować problemy wielokryterialne, w szczególności w kontekście długoterminowym, a zwłaszcza, jeśli chodzi o spalanie, czy oszczędność silnika, przedkładając przy tym (optymalizując) czas dotarcia do celu.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Podejście optymalizacyjne można znaleźć między innymi u Meech i Parreiry (2011). Przedstawiony został tam stochastyczny model do optymalizacji spalania paliwa oraz przedłużania *żywotności* silnika w zależności od wskaźników oceniających bezpieczeństwo, częstotliwość użycia hamulców itp. Jednakże model ten testowany był w symulacji dotyczącej kopalni i samochodów ciężarowych funkcjonujących non-stop. Przedstawione badania wykazały, że model optymalizuje sposób jazdy, nawet lepiej niż człowiek.

3.4.1.5. Probabilistyczne podejmowanie decyzji kierowcy

Ciekawym podejściem do podejmowania decyzji przez autonomicznego kierowcę pojazdu jest podejście probabilistyczne. Powszechnie wiadomo, że sieci probabilistyczne mogą z dobrym skutkiem pomagać w podejmowaniu decyzji (Korb i Nicholson, 2003).

Kurt i Ozguner (2011) proponują zastosowanie hybrydowej maszyny stanów (ang. *Hybrid-State System*) z użyciem prawdopodobieństwa podejmowania decyzji (w zakresie ograniczonych scenariuszy) jako funkcji ryzyka. Dzięki takiej kombinacji możliwe jest zawężenie dostępnych reakcji oraz predykcja zachowania innych kierowców. Autorzy modelu odwołują się także do wcześniejszych prac, w których zostały wyjaśnione możliwości modelowania scenariuszy zachowań kierowcy za pomocą diagramów przepływu danych (ang. *Data-Flow Diagrams*), które bardzo łatwo można przekształcić w maszyny stanów (Liu i Ozguner, 2007).

Również w kontekście planowania trajektorii pojazdu i predykcji trajektorii innych użytkowników drogi stosowane są metody stochastyczne. Do oceniania niepewności pomiarów dotyczących innych użytkowników drogi można zastosować łańcuchy Markova. System proponowany przez Althoff *et al.* (2009) został przetestowany w przypadku oceny trajektorii na skrzyżowaniu. Rozwiązanie to może zostać zastosowanie jako aktywny system wspomagania kierowcy (semi-autonomiczny), który jednak wymaga dużej mocy obliczeniowej. Podobne rozwiązanie zastosowano również w przypadku unikania kolizji w systemie planowania trajektorii (Hardy i Campbell, 2013). Zastosowane rozwiązanie pozwala na bardziej dynamiczny styl jazdy autonomicznego kierowcy niż standardowe planowanie pojedynczej trajektorii.

Elementy prawdopodobieństwa są również zastosowane w MPC (ang. *Model Predictive Control*) wykorzystywanym do utrzymywania odpowiedniego pasa ruchu oraz omijania przeszkód (Gray *et al.*, 2013). Prawdopodobieństwo jest tam stosowane do modelowania niepewnego zachowania kierowcy.

3.4.1.6. Podejście socjalne do autonomicznego kierowcy

Podobnie jak w przypadku robotów humanoidalnych, tak i w przypadku autonomicznych wehikułów warto wyróżnić podejście socjologiczne. Zarówno z punktu widzenia HSI, jak i antropologicznego, pojazdy (nie tylko autonomiczne) są coraz bardziej uczłowieczane. Zdarzają się pomysły takie jak nazywanie samochodu, czy wyposażenie go w *twarz* lub w inne antropomorficzne elementy (Waytz *et al.*, 2014).

Podejście socjalne do zagadnienia autonomicznego kierowcy jest dosyć popularne, nie tylko w kontekście interfejsu między człowiekiem, a maszyną. Przede wszystkim koncepcja współpracy samochodów doczekała się wielu publikacji oraz kilku implementacji (Juhlin, 1999; Stanton i Young, 2005). Znane są zachowania zjazdu z pasa ruchu 'na zakładkę', bądź wjeżdżania na odpowiedni pas ruchu przed bramką na autostradzie. Przypadki te również można zastosować w przypadku autonomicznych kierowców (Wei *et al.*, 2013).

Podobną, aczkolwiek szerszą perspektywę przedstawiają Rakotonierainy *et al.*(2014), którzy opisują podejścia HSI w systemie wizyjnym semi-autonomicznego samochodu. Roztaczają oni też wizję możliwości poprzez współpracę człowieka i komputera wyświetlającego (podkreślającego) ruchome obiekty na przedniej szybie. Jednocześnie przy tym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przedstawiają podejście osiągania podrzędnych celów (ang. *achievments*) do motywowania bezpiecznej jazdy (analogicznie do gier). Trzecia perspektywa przedstawiana przez Rakotonierainy *et al.* (2014) mówi o redukcji niebezpieczeństwa poprzez monitorowanie zachowania kierowcy.

3.4.1.7. Metodologia obliczeniowa

Niskopoziomowe, obliczeniowe wspieranie lub nadzorowanie kierowcy jest niezbędne również dla autonomii pojazdu. Co więcej, w pełni sprawny, autonomiczny pojazd nie może się obejść bez systemów obliczeniowych. Systemy te powinny być odpowiedzialne za wyznaczanie trajektorii (w kontekście predykcyjnym), szczegółowe wyznaczanie skrętu pojazdu, czy odpowiednie zarządzanie prędkością (poprzez klasyczny regulator PI). Modele niskopoziomowe są szeroko rozpowszechnione w literaturze (Rudigier i Horn, 2010; Shakouri *et al.*, 2011; Kiencke *et al.*, 1999) oraz w częściowych aplikacjach.

Fakt użycia metod numerycznych nie implikuje niskiej złożoności modelu, czy niewielkiej mocy obliczeniowej. Wręcz przeciwnie, przykładowo model stworzony przez MacAdama (2003) zakłada, że do symulowania zachowania kierowcy wymagane są następujące cechy:

- zapewnienie opóźnienia dla celów transportu ludzi,
- umożliwienie i jednoczesne wykorzystanie zarówno widoku z boków, jak i z przodu (w takim przypadku konieczne jest użycie algorytmów przetwarzających obraz),
- zapewnienie zdolności adaptacyjnych które wykorzystują wiedzę oraz znajomość prowadzenie pojazdu w różnych warunkach.

3.4.2. Projekty komercyjne

Aktualnie większość światowych koncernów samochodowych zajmuje się technologiami związanymi z autonomicznym pojazdem. Większość nowo produkowanych samochodów posiada już zaimplementowane systemy do automatycznego sterowania prędkością – tempomaty (ang. *Cruise Control*). Wchodzą też w użycie coraz nowsze technologie, takie jak adaptacyjne sterowanie samochodem podczas jazdy na autostradzie lub podczas jazdy w grupie.

3.4.2.1. Volvo

Przykładem takiej technologi jest technologia *Adaptive Cruise Control with Steer Assist* implementowana w samochodach marki Volvo. Pozwala ona na podążanie za jadącym z przodu pojazdem. Wyposażenie auta w kamery wysokiej rozdzielczości oraz radar pozwala na wykrywanie pojazdu jadącego z przodu (w szczególności tylnej jego płaszczyzny). Dzięki temu możliwe jest aproksymowanie trajektorii pojazdu jadącego z przodu oraz wyznaczanie optymalnej, dostosowanej do kształtu i szerokości pasa ruchu, trajektorii własnej (Volvo Car Group, 2014b). Drugą z technologii, którą opracowuje Volvo jest *360°-view*. Dzięki fuzji sensorów, takich jak lidar, radar, kamery i GPS uzyskać można jednoczesny widok dookoła samochodu. Technologia ta pozwala na zwiększenie bezpieczeństwa zarówno pasażerów, jak i pieszych, oraz innych użytkowników drogi (Volvo Car Group, 2014a).

3.4.2.2. Mercedes

Przyszłym producentem autonomicznych pojazdów jest też Mercedes-Benz. Koncern ten opracowuje technologie wspomagające parkowanie, a w przyszłości pozwalające na autonomiczne parkowanie samochodu na najbliższym parkingu (Mercedes-Benz Next, 2014a). Będzie to umożliwione dzięki oczujnikowaniu samochodu (a dokładnie jego zderzaków) w

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

12 ultradźwiękowych sensorów. Opracowywane są również technologie ułatwiające wykorzystanie rzeczywistości rozszerzonej (ang. *Augmented Reality*) w prowadzeniu pojazdu (Mercedes-Benz Next, 2014d). Rzeczywistość rozszerzona umożliwia wyświetlanie dodatkowych informacji do aktualnie oglądanego obrazu. W przypadku pojazdu informacje te mogą pojawiać się na szybie, dzięki czemu kierowca może zostać natychmiastowo poinformowany o kolizyjnych trajektoriach, warunkach pogodowych, skrótach w celu unikania korków, itp. Jednakże głównym celem jest perspektywiczne stworzenie autonomicznego samochodu (w kilku etapach). Przechodząc od funkcjonalności tempomatu na autostradzie, tempomatu w korku z możliwością asysty – DISTRONIC PLUS (sterowania kierownicą i jednocześnie prędkością), aż do pełnego autonomicznego samochodu Mercedes-Benz Intelligent Drive (Mercedes-Benz Next, 2014c,b). Uważa się, że etap finalny zostanie umożliwiony poprzez zaawansowane techniki przetwarzania obrazu i analizowania sytuacji na drodze, a w tym:

- rozpoznawania obiektów, w szczególności samochodów i pieszych,
- przewidywania trajektorii obiektów,
- klasyfikowania przewidywanych zdarzeń jako zagrożenia.

3.4.2.3. Tesla

Innowacyjne koncerny dopiero wchodzące na rynek, takie jak Tesla, również zajmują się tematem autonomicznych pojazdów. Tesla, produkując tylko pojazdy napędzane elektrycznie, idealnie wpasowuje się w przyszłe trendy na rynku samochodowym. Choć najnowszy model samochodu marki Tesla Model D, wyposażony jest w „najbardziej zaawansowany komercyjny system autonomicznego sterowania pojazdem”[11], nie jest on w pełni autonomiczny (Ziegler, 2014). System ten oparty jest na kombinacji kamer oraz sensorów ultradźwiękowych, dzięki czemu, analogicznie do wcześniej przedstawionych systemów, możliwe jest autonomiczne sterowanie w określonych okolicznościach. System ten dodatkowo potrafi rozpoznawać znaki drogowe oraz pieszych (Plumer, 2014). Model D został także wyposażony w system automatycznego parkowania w garażu i zdalnego wzywania samochodu na podjazd.

3.4.2.4. Google

Bardzo zaawansowanym projektem jest również Google Autonomous Car prowadzony przez prof. Sebastiana Thruna ze Stanford University. Samochód jest wyposażony w skaner laserowy wysokiej rozdzielczości (360°), GPS, radary, kamery oraz enkodery (Guizzo, 2011). Dzięki takiemu oczujnikowaniu autonomiczny kierowca jest w stanie rozpoznawać obiekty na drodze oraz kalkulować ich trajektorię. Samochody Google'a z zainstalowanym autonomicznym kierowcą przejechały już ponad milion kilometrów testując podsystemy oraz doskonaląc się. Niestety system opracowany przez Google'a jest w dużej części zależny od map i informacji naniesionych na nich (Gomes, 2014), a jak wiadomo mapy się dezaktualizują. Na mapach tworzonych przez firmę dla projektu są nawet informacje o wysokości świateł na drodze. Z punktu widzenia sterowania GoogleCar nie sprawdza się w śnieżnych i mokrych warunkach pogodowych (Gomes, 2014). Pomimo tego, GoogleCar jest obecny w zjawiskach socjalnych, robi furorę wśród młodych ludzi ze względu na modę oraz stopień zaawansowania projektu (Markoff, 2010). Samochód ma być dostępny publicznie około roku 2020.

[11] The most advanced commercial autonomous driving system yet.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

3.5 Podsumowanie

W powyższym rozdziale zawarto pobieżny przegląd zagadnień z zakresu wzorowania modeli, robotów i systemów na zachowaniach człowieka. Przegląd ten nie jest kompletny, ani wyczerpujący, choćby z uwagi na ciągły postęp technologiczny. Nieustannie pojawiają się nowsze badania oraz modele robotów humanoidalnych (np. ROMEO, Aldebaran Robotics). Ciągle unowocześniane są również pojazdy autonomiczne, które niedługo będziemy spotykać na drogach. Nie sposób całkowicie ogarnąć wszystkich tego typu nowin.

Najważniejszym przeglądem zaprezentowanym powyżej jest przegląd systemów emocjonalnych oraz architektur kognitywnych. Porównanie przedstawionych systemów oraz głównego systemu zaprezentowanego w niniejszej pracy zostało podane w rozdziale 5, gdzie również znajduje się odniesienie do omawianego powyżej tematu autonomicznego kierowcy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4

Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego

Głównym celem pracy jest stworzenie modelu systemu decyzyjnego, opartego na wiedzy zaczerpniętej z psychologii. Niniejszy rozdział przedstawia kompletny, koherentny i własny model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego z elementami motywacyjnymi, a w szczególności podsystemem *xEmotion*. Wykorzystuje on funkcję i strukturę ludzkich procesów decyzyjnych opartych na modelu oraz pewne szczegółowe mechanizmy opracowane w tym celu. W szczególności, model ISD jest dedykowany dla realizacji autonomii agenta, zarówno wirtualnego, jak i rzeczywistego, przewidzianego do zastosowań robotyckich.

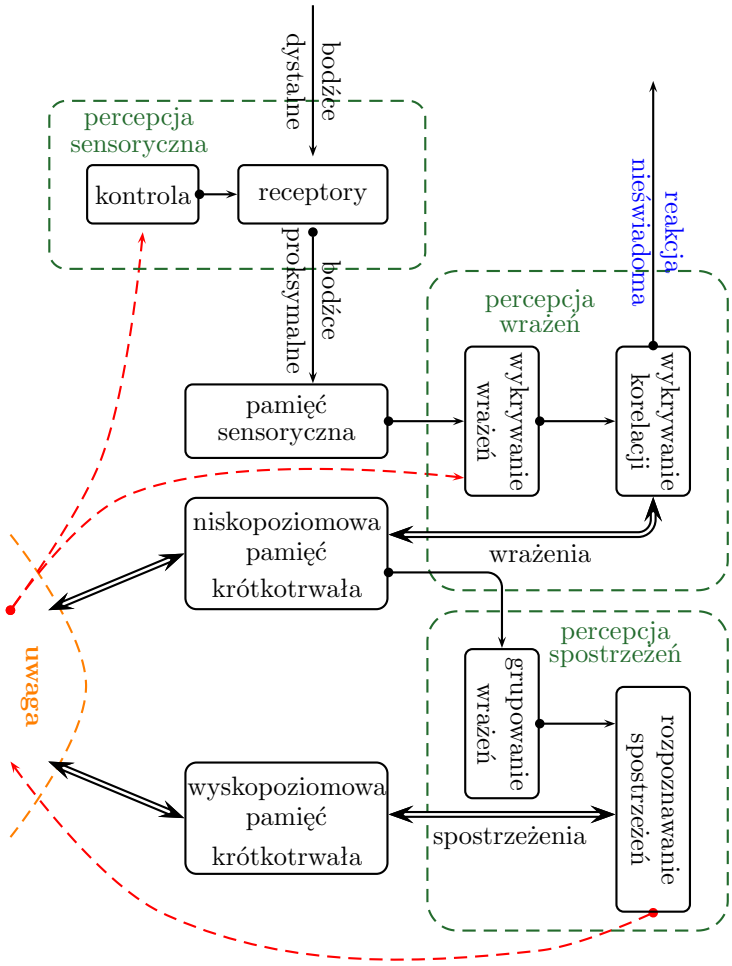
4.1 Model percepcji

Percepcja jest jednym z ważniejszych procesów poznawczych zarówno u człowieka i zwierząt, jak i w zastosowaniach automatyki i robotyki. Stanowi ona pierwszy etap przetwarzania informacji docierających ze środowiska (rys. 2.3). Proces percepcji szerzej obrazuje rys. 4.1. Bodźce odebrane ze środowiska pojawiają się na receptorach tworząc w ich pamięci (sensorycznej) bodźce proksymalne. Następnie na ich podstawie wyodrębniane są wrażenia (sekcja 4.1.2) za pomocą mechanizmów detekcji sensorycznej (sekcja 4.1.1). Niektóre wrażenia (np. ból) mogą powodować natychmiastową, nieświadomą reakcję. Wrażenia są zapisywane w niskopoziomowej pamięci krótkotrwałej (L-STM), a następnie przetwarzane są do postaci spostrzeżeń (sekcja 4.1.3). Ostatnim etapem percepcji jest rozpoznanie spostrzeżeń (porównanie ze znanymi wcześniej spostrzeżeniami) i zapisanie ich w wysokopoziomowej pamięci krótkotrwałej (H-STM).

Ważnym aspektem percepcji agenta jest rozróżnienie środowiska na zewnętrzne i wewnętrzne. Środowisko zewnętrzne jest wszystkim poza samym agentem, jego podsystemami i aktuatorami. Tymczasem środowisko wewnętrzne obejmuje tylko i wyłącznie samego agenta. W przypadku robota środowisko wewnętrzne to wszystkie jego mechanizmy sprzętowe i programowe wraz z obudową. Na tej podstawie można podzielić sensory, z których korzysta agent, na dalekie (odbierające sygnały ze środowiska zewnętrznego) oraz bliskie (zbierające sygnały ze środowiska wewnętrznego).

Według psychologii poznawczej bodźce podzielone są na dystalne (dalekie) i proksymalne (bliskie). Bodźce dystalne charakteryzują się tym, że generowane są na zewnątrz (w pewnej odległości), ale 'odbijają' się na sensorach, tworząc bodźce bliskie. Przykładowo, rzeczywiste otoczenie jest bodźcem dystalnym, podczas gdy obraz rzutowany na na siatkówkę jest proksymalnym. W analogiczny sposób można przedstawić bodźce u agenta. W odróżnieniu od bodźców dystalnych, bodźce ze środowiska wewnętrznego posiadają tylko postać proksymalną, gdyż pojawiają się od raz jako dane (informacje) w buforach czujników.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.1 Proces percepcji w Inteligentnym Systemie Decyzyjnym.

Podział ten oparty jest zarówno na podstawie kognitywistycznej (sekcja 2.1.1.1), jaki i na wyróżnieniu źródła bodźca. Do czujników odbierających sygnały ze środowiska zewnętrznego można zaliczyć:

- kamerę oraz różne jej wariacje (Microsoft Kinect, kamera stereoskopowa, kamera z linijką laserową, itp.)
- czujniki odległości (podczerwone i laserowe)
- sonary, radary i lidary
- mikrofony i matryce mikrofonów
- czujniki temperatury, ciśnienia, wilgotności
- sensory olfaktometryczne (np. Wyszynski *et al.* 2008)
- inne – mierzące np. pole elektromagnetyczne, czy natężenie światła.

Natomiast do czujników bliskich zaliczamy:

- akcelerometry, enkodery (dotyczące pozycji względnej robota)
- czujniki wibracyjne
- tensometry
- czujniki Halla (również mierzące względną pozycję poszczególnych modułów)
- kontaktrony
- czujniki dotyku
- sensory mierzące poziom naładowania baterii (robota).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Dodatkowo należy wspomnieć o module/sensorze GPS, który podaje bezwzględną pozycje agenta na mapie. Można go zaliczyć do sensorów dalekich dotyczy bowiem pozycji bezwzględnej (choć z ograniczoną dokładnością).

Bodźce proksymalne zapisywane są w pamięci sensorycznej (ultra-krótkotrwałej – USTM), która jest rozproszona po różnych częściach fizycznych robota. Każdy z sensorów bowiem posiada swój własny moduł pamięciowy (bufor). Mechanizm detekcji wrażeń jest dostosowany do poszczególnych typów bodźców.

4.1.1. Mechanizmy detekcji sensorycznej

Wymienione czujniki można podzielić na sensory proste (sprężone z prostym przetwarzaniem) oraz złożone (które wymagają złożonej analizy). W odniesieniu do sensorów prostych stosuje się z reguły przeliczenie wielkości mierzonej według ustalonej charakterystyki sensora. Do sensorów złożonych należy zaliczyć takie czujniki pomiarowe jak: kamery, mikrofony i matryce mikrofonów, sensory olfaktometryczne, inercyjne, enkodery oraz wszelkiego rodzaju matryce sensorów.

Detekcja cech w przypadku sensorów prostych polega na klasyfikowaniu przetworzonego pomiaru do odpowiedniej cechy, po uprzednim przetworzeniu wartości mierzonej czujnikiem w oparciu o charakterystykę sensora. Prostym przykładem takiej operacji jest pomiar temperatury. Mierzone wartości oporu czujnika Pt100 należy przetworzyć według charakterystyki czujnika, a następnie ocenić według ustalonych, rozmytych zbiorów dla temperatury. W analogiczny sposób można ekstrahować cechy z innych prostych sensorów.

Wśród sensorów złożonych, dane z enkoderów są w bardzo prosty sposób przetwarzane do postaci informacji o przebytej odległości. Akcelerometry dostarczają pomiarów zaszumionego przyspieszenia – na ich podstawie można próbować estymować drogę wykonaną przez robota (Kowalczuk i Merta, 2014). Ekstrahowanie cech z pomiarów olfaktometrycznych jest bardziej skomplikowane, ale ponieważ niewiele wnoszą do dalszych rozważań, dlatego zostaną tu one pominięte. Poniżej zostały przedstawione detektory cech (w kontekście kognitywnym) dla bardziej zaawansowanego przypadku, jakim jest obraz oraz dla równie ważnego, lecz dużo prostszego, sygnału dźwiękowego.

Głównym zmysłem używanym przez człowieka w celu eksploracji środowiska jest zmysł wzroku. Analogicznie, robot również powinien podejmować swoje decyzje na podstawie danych wizualnych. Stąd też pierwszymi cechami wykrywanym przez robota, omówionymi poniżej są cechy wizyjne. Następnie pokrótce zostanie przedstawione zagadnienie detekcji ruchu oraz cechy dźwięku. Cechy pozostałych zmysłów, ze względu na ich niewielki wpływ na postrzeganie środowiska, zostaną pominięte.

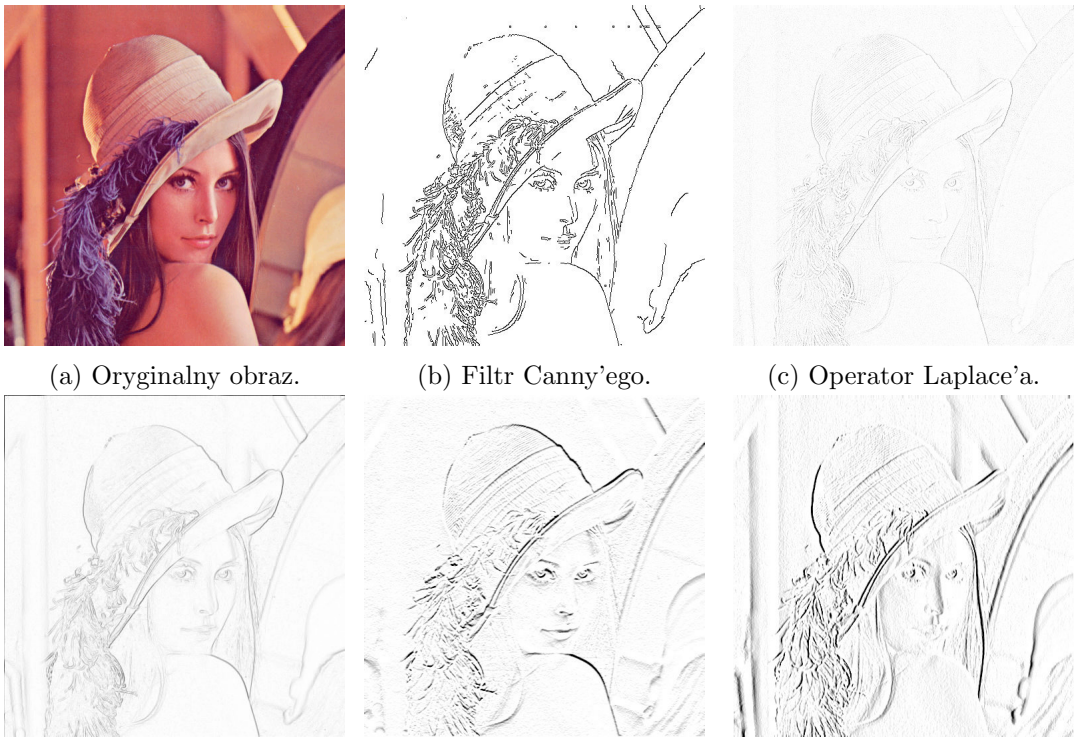
4.1.1.1. Detekcja cech (kognitywnych) obrazu

Do podstawowych cech wykrywanych podczas analizy obrazu należą krawędzie, narożniki oraz tzw. plamy, kleksy (ang. *blob*). Dodatkowo można wspomnieć o złożonych detektorach kształtu, dedykowanych dla poszczególnych przypadków.

Wśród detektorów krawędzi można wyróżnić detektory (Bradski i Kaehler, 2008):

- filtr Canny'ego, który wykrywa krawędzie na podstawie gradientu intensywności (rys. 4.2b; Canny, 1986)
- operator Laplace'a (rys. 4.2c; Ziou i Tabbone, 1998)
- krzyż Robertsa (rys. 4.2d; Davis, 1975)
- filtr Sobela bazujący na jasności obrazu, który wykrywa krawędzie w płaszczyźnie poziomej i pionowej (rys. 4.2e i rys. 4.2f; Duda i Hart, 1973)
- transformatę Hugha, wersję liniową i kołową (rys. 4.3).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



(a) Oryginalny obraz. (b) Filtr Canny'ego. (c) Operator Laplace'a.

(d) Krzyż Robertsa. (e) Filtr Sobela po osi X. (f) Filtr Sobela po osi Y.

Rysunek 4.2 Wykrywanie krawędzi w obrazach, na podstawie zdjęcia Lenny Söderberg 'Playmate of the Month'; prawa autorskie: D. Hooker, Playboy Magazine.

Aby bezpośrednio wyodrębnić obiekt z obrazu, należy się posłużyć również detektorami narożników (przecięcie dwóch krawędzi). Do detektorów narożników należą między innymi (Bradski i Kaehler, 2008):

- detektor Harrisa (rys. 4.4b; Harris i Stephens, 1988)
- Shi-Tomasi (rys. 4.4c; Shi i Tomasi, 1994)
- FAST (Features from Accelerated Segment Test; rys. 4.4d; Rosten i Drummond, 2006).

Oprócz wyżej przedstawionych detektorów cech istnieje wiele innych. Należy przy tym zauważyć, że przedstawione powyżej detektory wykrywają tylko i wyłącznie proste kształty geometryczne na płaszczyźnie. Istnieją także detektory kształtów trójwymiarowych (np. detektor grzbietu: Damon, 1999). Do ich użycia potrzebna jest przestrzeń na wejściu sensorycznym, a nie dwuwymiarowy obraz (choć detektor grzbietu w przypadku dwuwymiarowym wykryje krawędź). Przestrzeń taką można uzyskać na przykład za pomocą metody SFM *Structure from Motion* (Quan, 2010).

Cechy wydobyte z przetworzonych bodźców muszą być odpowiednio odfiltrowane, a następnie poddane dalszej obróbce, tak aby z prostych cech (krzywych, krawędzi, narożników), można było wydobyć kształt geometryczny odpowiedniego obiektu.

Aby odtworzyć kształt obiektu należy użyć metod zaprojektowanych do detekcji tzw. kleksów (ang. *blob*). Kleks jest elementarnym obszarem na płaszczyźnie o podobnych (w pewnym zakresie) cechach (jasność, kolor). Wśród metod detekcji kleksów wyróżnia się metody:

- Gaussowski laplacjan (ang. *Laplacian of Gaussian: LoG*) – rys. 4.5b
- Gaussowska różnica (ang. *Difference of Gaussians: DoG*) – rys. 4.5c
- wyznacznik hessian (ang. *Determinant of Hessian: DoH*) – rys. 4.5d

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

(a) Oryginalny obraz.

(b) Kołowa transformata Hugh.

(c) Probabilistyczna transformata Hugh.

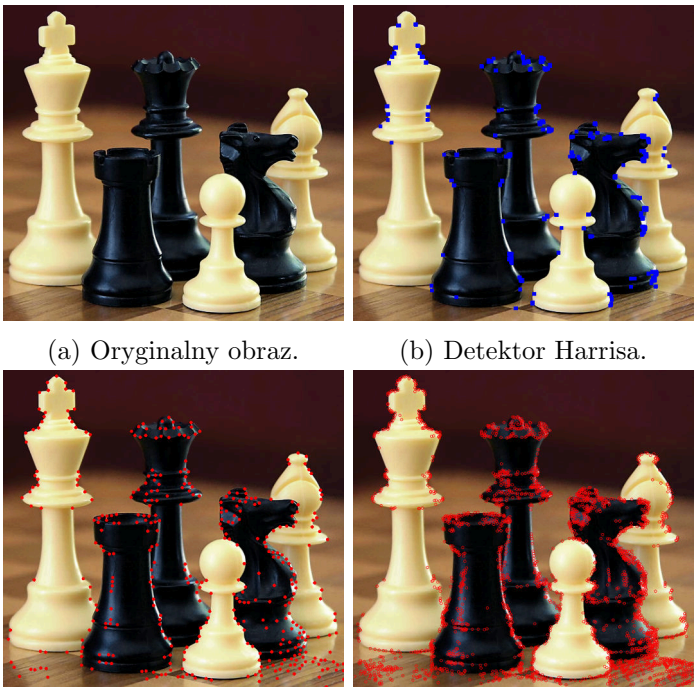
Rysunek 4.3 Wykrywanie krawędzi w obrazach za pomocą transformaty Hugh na podstawie zdjęcia Forda A z 1928 na froncie biblioteki w Bowen Island; prawa autorskie: R. Smith, Wikimedia Commons, CC BY 2.0. Łatwo można zauważyć, że detekcja okręgów (kołowa transformata) nie jest idealna. Podobnie detekcja odcinków prostych (probabililistyczna transformata) również nie wykrywa wszystkich możliwych odcinków. Spowodowane jest to doborem nieodpowiednich (dla tego obrazu) parametrów transformaty, co skutecznie utrudnia przetwarzanie dynamiczne (zwłaszcza przy zmiennym oświetleniu).

- podobieństwo cech (na podstawie grupowania podobieństwa koloru, obszaru, okrągłości, inercji, otoczki) – rys. 4.5e
- maksymalne stabilne obszary ekstremalne (ang. *Maximally Stable Extremal Regions: MSER*)
- regiony zasadniczych krzywizn (ang. *Principal Curvature-Based Region: PCBR*).

Niestety metody te mają bardzo różną skuteczność. Dlatego też po wykryciu odpowiednich obszarów obrazu, należy zweryfikować kształty kleksów (np. za pomocą konturów). Dopiero użycie wielu metod przetwarzania obrazu umożliwi określenie właściwego kształtu obiektu.

Dysponując zespołem blobów (elementarnych obszarów obiektów) można mówić o wykryciu cech danego obiektu, jego koloru, lub jasności. Dzięki wyróżnieniu odpowiednich pod-kleksów danego obiektu można wskazać obiekt (dwuwymiarowy) o określonym kształcie.

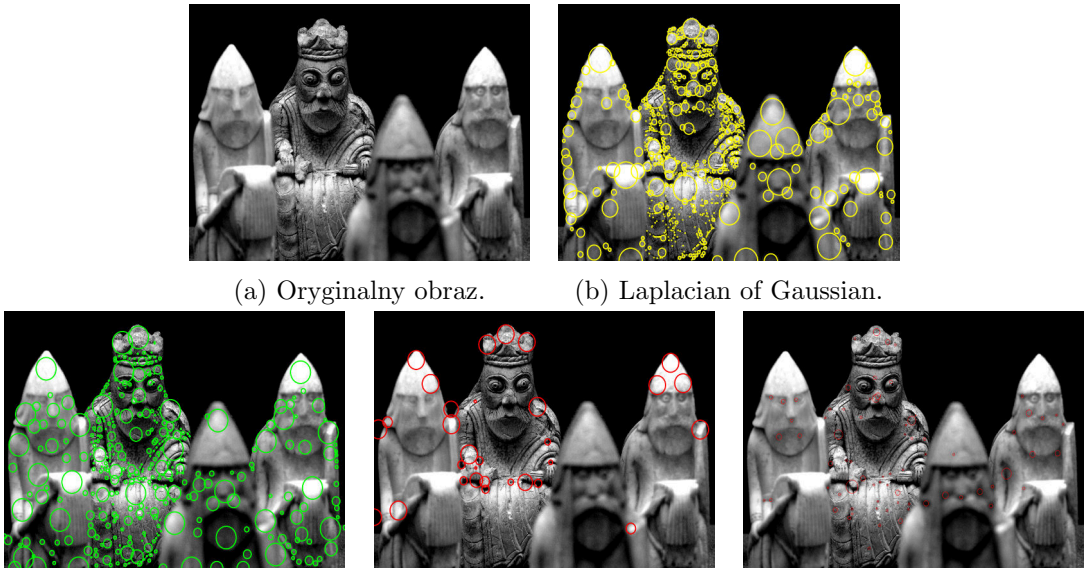
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



(a) Oryginalny obraz. (b) Detektor Harrisa.

(c) Detektor Shi-Tomasi. (d) Detektor FAST.

Rysunek 4.4 Wykrywanie narożników w obrazach na podstawie zdjęcia figur szachowych; prawa autorskie: A. Light, Wikimedia Commons, GFDL.



(a) Oryginalny obraz. (b) Laplacian of Gaussian.

(c) Difference of Gaussians. (d) Determinant of Hessian. (e) Podobieństwo cech.

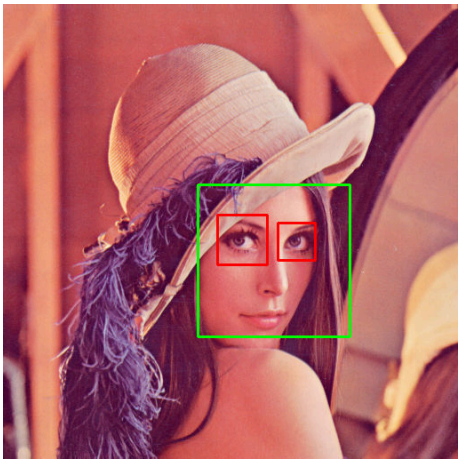
Rysunek 4.5 Wykrywanie kleksów na podstawie zdjęcia figur szachowych; prawa autorskie: http://www.cgpgrey.com, Wikimedia Commons, CC BY 2.0. Okręgi na rysunkach oznaczają centrum kleksa. Grupując centra oraz używając metod przetwarzania obrazu uzyskać można bezpośrednio obszary odpowiadające pojedynczym obiektom.

Oprócz prostych cech, takich jak krawędzie czy narożniki, istnieją również metody pozwalające na wykrycie bardziej złożonych kształtów. Z ich pomocą można wykryć cha-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

rakterystyczne kształty (np. twarze; Wilson i Fernandez, 2006; Garcia i Delakis, 2004), obiekty określonego typu (np. koty; Le Quoc, 2013) lub obiekty wyraziste, rzucające się w oczy (Liu *et al.*, 2011). Do tego typu metod należą:

- kaskady Haara, stosowane głównie do wykrywania twarzy (rys. 4.6)
- analiza składowych głównych (ang. *Principal Component Analysis: PCA*)
- warunkowe pola losowe (ang. *Conditional Random Field: CRF*)
- losowe pola Markova (ang. *Markov Random Field: MRF*)
- sztuczne sieci neuronowe (ang. *Artificial Neural Networks: ANN*)
- wektory wspierające (ang. *Supported Vector Machine: SVM*).



Rysunek 4.6 Wykrycie twarzy oraz oczu za pomocą kaskady Haara, jako przykład detektora złożonych cech.

Pomimo dostrzegania możliwości konstruowania bardziej złożonych i lepiej działających detektorów (na przykład służących klasyfikowaniu postrzeganych samochodów oraz śledzenia ich ruchu za pomocą wielu kamer; Dalka 2006; Dalka i Czyżewski 2010), metody te nie zostaną tutaj omówione, gdyż wykracza poza zakres niniejszej pracy.

4.1.1.2. Detekcja ruchu

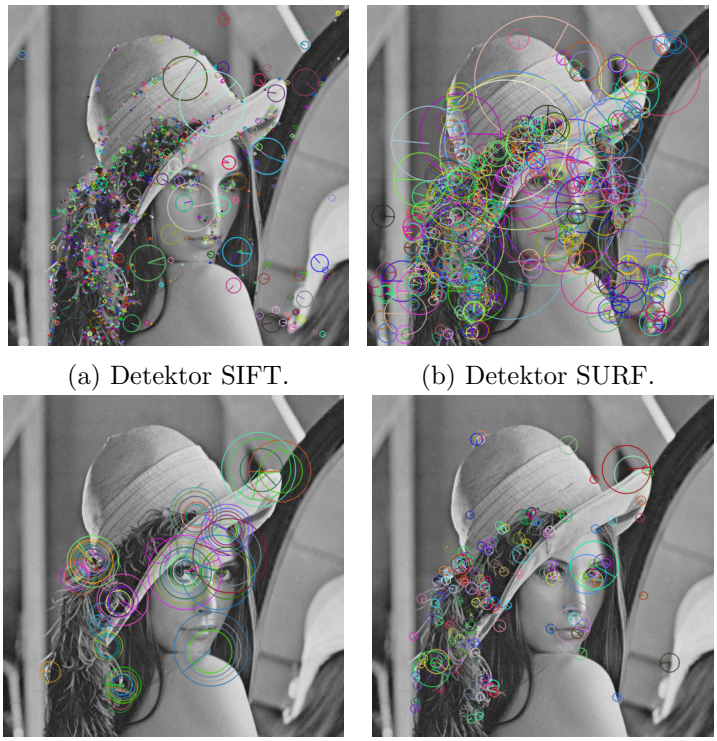
Odrębna kwestią jest detekcja ruchu, rozpoznawanie ruchomych obiektów, a także śledzenie obiektów. Opracowano wiele metod do wykrywania ruchu. Część z nich opiera się na użyciu dodatkowych sensorów (np. Microsoft Kinect), część polega na monitorowaniu położenia poszczególnych punktów charakterystycznych lub kształtów/kleksów, a część na zaawansowanych metodach sztucznej inteligencji.

Do zagadnienia śledzenia obiektów używa się głównie deskryptorów cech obrazu (nie należy mylić z cechami w kontekście kognitywnym). Do tego rodzaju cech należą punkty charakterystyczne obiektu/obrazu. Każdy z przedstawionych poniżej algorytmów wyszukuje punkty charakterystyczne obrazu (lub jego części), tak aby móc dopasować do siebie obrazy zarejestrowane w kolejnych chwilach czasu. Dzięki temu wykrywane są transformacje obrazu (rotacja, translacja) lub poszczególnych obiektów w obrazie. Do wyszukiwania punktów charakterystycznych obrazu stosuje się specjalne algorytmy (Bradski i Kaehler, 2008):

- SIFT (Scale-Invariant Feature Transform; rys. 4.7a)
- SURF (Speeded-Up Robust Features; rys. 4.7b)
- BRISK (Binary Robust Independent Scalable Keypoints; rys. 4.7d)
- ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF; rys. 4.7c).

Przy wykrywaniu ruchu (śledzeniu obiektów) z dodatkowymi sensorami wyróżnia się dwa przypadki:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



(a) Detektor SIFT. (b) Detektor SURF.

(c) Detektor ORB. (d) Detektor BRISK.

Rysunek 4.7 Wykrywanie cech charakterystycznych obiektów w obrazie w celu określenia własnego przemieszczenia bądź też przemieszczenia obiektów. Okrąg dookoła punktu charakterystycznego jest proporcjonalny do wielkości cechy, z kolei kolor mówi o jej *sile*. Jak można zauważyć, każdy z detektorów wykrywa zupełnie inne *cechy*.

- śledzenia w przestrzeni trójwymiarowej, gdzie dodatkowe sensory używane są do określenia odległości obiektów (wymiar głębokości)
- śledzenia w przestrzeni dwuwymiarowej, gdzie dodatkowe sensory pozwalają na wykrycie kierunku ruchu bądź zmiany odległości określonych punktów.

Przypadek pierwszy polega na mapowaniu obrazu do przestrzeni trójwymiarowej, w celu dobrego opisania punktów w przestrzeni (tak aby można było jednoznacznie określić ich pozycję, w szczególności głębokość). Mapowanie odbywa się z wykorzystaniem dodatkowych sensorów oraz zaawansowanych algorytmów (np. LIDAR, Kinect, linijka laserowa, etc.). Agent, posiadając adekwatny opis danych pomiarowych z sensorów, może wykryć różnicę pomiędzy kolejnymi chwilami czasu, przypisaną do ruchu. Dane analizowanej przestrzeni trójwymiarowej zwykle są jednak mało dokładne (nie licząc badań w środowisku laboratoryjnym). Dlatego też dodatkowo jako odniesienie stosuje się wykrycie/porównanie ustalonych punktów charakterystycznych w trójwymiarowej przestrzeni (Oikonomidis *et al.*, 2011; Raheja *et al.*, 2011).

Przypadek drugi, polegający na monitorowaniu środowiska w celu wykrycia kierunku ruchu, opiera się głównie na użyciu sensorów podczerwieni lub ich matryc. W tym wypadku wykrywana jest zmiana w określonych punktach (na które skierowane są czujniki), co znaczenie zmniejsza zapotrzebowanie na moc obliczeniową. Podejście to pozwala też na zredukowanie przestrzeni analizowanej pod kątem punktów charakterystycznych. Porównywanie tych punktów następuje dopiero w przypadku wykrycia ruchu w określonym kierunku, w związku z czym analizowany jest odpowiedni kierunkowo obszar (Cutler i Davis, 2000; Borst i Egelhaaf, 1989; Xia *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2013).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W przypadku wykrywania kierunkowego wykorzystać można zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji w celu redukcji złożoności zadania. Dobrym przykładem metod wykrywania ruchu są komórkowe sieci neuronowe (Manganaro *et al.*, 1999; Roska *et al.*, 1990) lub innego rodzaju sieci neuronowe wykrywające ruch (Zhao i Thorpe, 2000; Borst i Egelhaaf, 1989; Dalka, 2012; Szwoch *et al.*, 2013), a także inne metody, jak np. logika rozmyta (Zlokolica, 2006).

4.1.1.3. Cechy dźwięku

W przypadku dźwięku, sytuacja przedstawia się względnie prościej. Ludzkie ucho analizuje dźwięk z zakresu częstotliwości ok. 16 – 20 000 Hz. Mechanizmy wbudowane w ucho człowieka, dzielą sygnał dźwięku na odpowiednie pasma, które z kolei są przetwarzane na impulsy nerwowe. Dodatkowo, dzięki słyszeniu dwuusznemu, układ słuchowy jest w stanie wykryć względne położenie źródła dźwięku. Również z punktu widzenia agenta należy rozważyć podział sygnału akustycznego na pasma częstotliwości oraz lokalizację źródła dźwięku. Analogicznie, jak w przypadku obrazu, istnieje duża liczba cech sygnału dźwiękowego przydatna w parametryzacji i identyfikacji dźwięków.

Dzielenie sygnału na pasma częstotliwości jest względnie proste. Stosuje się tu szereg filtrów, odpowiednio górno- i dolnoprzepustowych tak, aby dobrać odpowiedni zakres częstotliwości poddawanych dalszej analizie. Wykrywanie odległości od obiektu nie jest już takie proste. Pomimo wielu zaawansowanych technik skanowania środowiska za pomocą dźwięku (przykład pokazano na rys. 4.8), nie opracowano skutecznej metody lokalizacji źródła na podstawie tylko dwóch mikrofonów. Istnieje natomiast wiele algorytmów, które skutecznie lokalizują źródło pochodzenia dźwięku na podstawie danych z macierzy mikrofonów (przykładowo Valin *et al.* 2003; Brandstein i Silverman 1997; Popper i Fay 2005).

Zaproponowano wiele deskryptorów dźwięku. Ze względu na podział czasowy mówi się o deskryptorach globalnych (dotyczących całego sygnału – całego czasu jego trwania) i chwilowych (dotyczące tylko aktualnej ramki czasowej, zwykle ok. 60 ms). Dodatkowo, ze względu na rodzaj cech można wyróżnić (Peeters, 2004):

- parametry opisujące kształt fali sygnału
- cechy opisujące kształt energii sygnału
- deskryptory kształtu widma
- cechy tymczasowe, takie jak współczynnik autokorelacji, czy przejścia przez zero
- charakterystyki energetyczne
- cechy harmoniczne
- własności percepcyjne (w rozumieniu kognitywnym i subiektywne dla agenta), takie jak głośność, ostrość, czy rozpiętość
- inne cechy obliczeniowe (np. deskryptory MPEG-7).

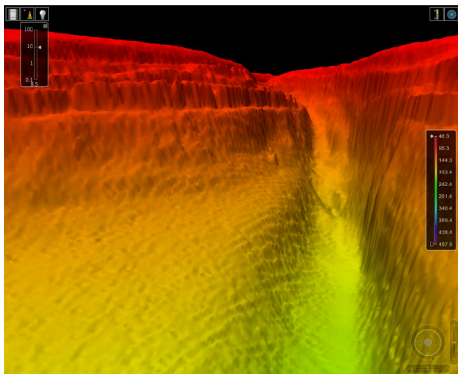
Mówiąc o cechach dźwięku, należy też wspomnieć o cechach mowy. Najmniejszą jednostką mowy, która może zmieniać znaczenie jest fonem (Cruttenden, 2008). Może on posiadać szereg relewantnych cech pogrupowanych na różne kategorie (Clements, 1985):

- cechy główne, np. zgłoskotwórczość
- cechy laryngologiczne
- maniery artykulacji, np. nosowość
- miejsce artykulacji, np. wargowość.

Zaproponowano wiele sposobów podziału cech fonemów (np. Jakobson i Halle, 2002). W dalszej części pracy lingwistyka oraz metody przetwarzania mowy zostaną pominięte ze względu na wysoce specjalistyczny charakter, który – poza wykorzystaniem – nie będzie specjalnie rozwijany w niniejszej pracy.

Podsumowując, proces dźwiękowej detekcji sensorycznej obejmuje podział sygnału na pasma częstotliwości oraz lokalizację źródła sygnału (względem aktualnej pozycji agenta). W celu uskutecznienia procesu przetwarzania i detekcji sensorycznej, można uwzględnić

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.8 Trójwymiarowa reprezentacja kanionu w morzu Czerwonym, na podstawie skanu dźwiękowego zrobiona przez HMS Enterprice; prawa autorskie: Royal Navy/MOD, Wikimedia Commons, OGL.

wbudowane (zaimplementowane) w agenta deskryptory dźwięku. Po detekcji sensorycznej przetwarzanie kontynuowane jest przez procesy wyższej percepcji.

4.1.2. Wrażenia

Biorąc pod uwagę teorie reprezentacji umysłowych (sekcja 2.1.1.2), podstawową jednostką wiedzy wynikającą z przetwarzanej informacji jest spostrzeżenie. Dotyczy ono jednego konkretnego obiektu i zawiera w sobie opis jego cech, tj. wrażeń i powiązań między nimi. Wrażenie należy do podstawowych jednostek informacji w ISD (def. 4.1). Według teorii Kosslyna, wrażenia są po prostu częścią składową *plików*, które odpowiadają pojęciu spostrzeżeń.

Definicja 4.1. Wrażenie:
Pojedyncza cecha określonego obiektu. Wrażenie (imp) oznaczane jest symbolem γ z indeksem górnym odpowiadającym typowi wrażenia (pierwotne, złożone, funkcjonalne). Wrażenia mogą przyjmować wartość rozmytą, ostrą lub nieokreśloną (w przypadku przynależności do spostrzeżeń abstrakcyjnych).

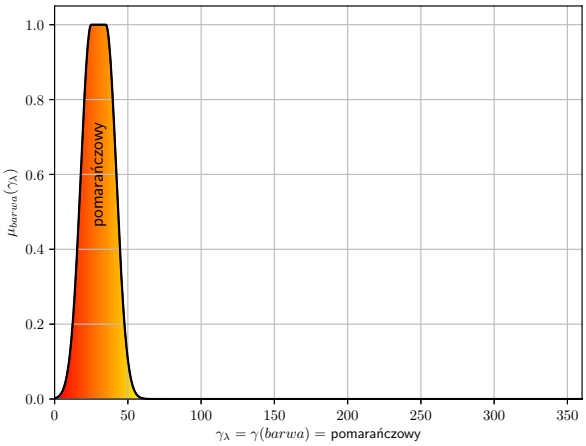
Wrażenia nie stanowią odzwierciedlenia jedynie cech fizycznych. Przykładem wrażenia może być kolor, kształt prosty czy złożony, także subiektywne odczucia obiektu (np. 'miły'), wpływ na potrzeby i emocje agenta, itp. Ogólnie wrażenia można podzielić następująco (Kowalczuk i Czubenko, 2014):

- pierwotne, podstawowe, elementarne (rozmyte) – podstawowe cechy fizyczne, proste kształty geometryczne, barwy, proste tekstury, itp.
- złożone (rozmyte) – charakterystyki opisujące złożone cechy fizyczne, tj. zaimplementowane prototypy (np. twarz, człekokształtność, paski, kropki) bądź wytworzone przez agenta na podstawie przynależności do pewnej abstrakcyjnej klasy (np. rudy), czy poprzez sposób oddziaływania (np. miły)
- funkcjonalne, wtórne (lingwistyczne i ostre) – cechy związane z wpływem na agenta, w kontekście emocjonalnym (sub-emocje i sub-equalia), mające związek z potrzebami oraz inne abstrakcyjne własności, takie jak opisany dalej tryb czasowy, czy kategoria.

Wrażenia pierwotne mają bezpośredni związek z fizycznymi cechami i ich odbiorem przez zmysły. Z kolei wrażenia złożone składają się z zapamiętanych wcześniej prototypów złożonych z wrażeń podstawowych i złożonych (wartości wrażeń i relacje pomiędzy nimi). Obie grupy wrażeń stanowią wyróżniki obiektów, na podstawie których obiekt może być rozpoznawany. Zarówno wrażenia pierwotne, jak i złożone, opisane są za pomocą zmiennej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

lingwistycznej, przyjmującej odpowiednią wartość w określonej dziedzinie (przykład na rys. 4.9).



Rysunek 4.9 Przykład wrażenia barwy (H, Hue) opisanej jako zbiór rozmyty funkcją przynależności $\mu_{barwa}(\gamma_\lambda)$ w dziedzinie $\gamma_\lambda = \gamma(barwa)$ wraz z jej wartością lingwistyczną ('pomarańczowy').

Każdemu z tych wrażeń przypisuje się pewien nadrzędny logogen (etykietę), aby umożliwić porównywanie wrażeń dotyczących tej samej cechy (nie porównuje się np. koloru z barwą dźwięku). Logogen wrażeń można też równoważnie opisać jako $\lambda(logogen) = \lambda \in \mathcal{N}$ (gdzie $\mathcal{N}$ symbolizuje zbiór liczb naturalnych), co oznacza lokalną reprezentację liczbową logogenu wrażenia (numer/indeks) wśród wrażeń danego spostrzeżenia. Wrażenia pierwotne i wtórne są traktowane jako zespół *podwrażeń*, czyli wartości rozmytych oraz lingwistycznych reprezentujących różnorodność każdego wrażenia, co ukazuje rys. 4.10. Jest to użyteczna struktura ułatwiająca posługiwanie się notacją spostrzeżeń. Dzięki niej można równoważnie przedstawić wrażenie γ o lokalnym indeksie λ, które przynależy do spostrzeżenia Γ_α, jako:

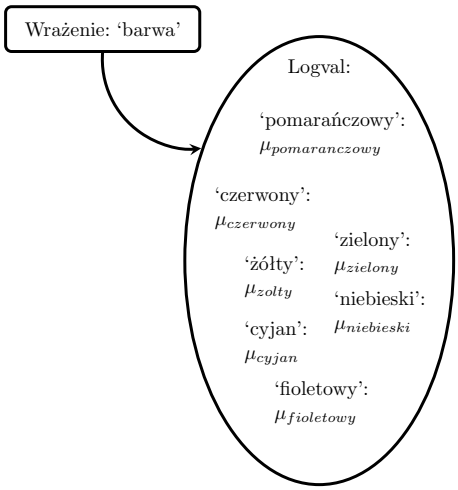
$$[\gamma_\lambda]_\alpha = \gamma_{logogen} = \gamma(logogen) = logval \tag{4.1}$$

gdzie $\gamma(logogen)$ stanowi już odniesienie do pewnej konkretnej oceny (wartości) ogólnego wrażenia, którą można porównywać (przez globalny logogen) do innych ocen tej cechy (wrażenia), należących do wspólnego zbioru cech ISD (oraz analizowanego spostrzeżenia, które oznaczono symbolem α), co można również wyrazić jako $logogen \in \{\}^{\gamma}_{\texttt{logogen}}$. Zatem dane wrażenie, traktowane (w przypadku wrażeń pierwotnych i złożonych) jako zmienna lingwistyczna, przyjmuje wartość lingwistyczną *logval* (oraz odpowiadającą jej wartość rozmytą). Powyżej oraz w dalszej części pracy za pomocą logogenów α, β i δ zostaną oznaczone przykładowe spostrzeżenia, z kolei $\{\gamma\}_\alpha$ będzie oznaczać zbiór wrażeń opisujących spostrzeżenie α, zaś $[\gamma]_\alpha$ pojedyncze wrażenie opisujące spostrzeżenie α.

Przykładowo wrażenie $[\gamma_2]_{kubek} = \gamma(barwa) =$ 'pomarańczowy' odnosi się do cechy spostrzeżenia o nazwie kubek, która to cecha jest drugim (lokalnym) wyróżnikiem obiektu. γ_2 mówi o barwie, która w tym wypadku jest pomarańczowa (wyróżniona wartość lingwistyczna na rys. 4.10 oraz jedna z wartości lingwistycznych na rys. 4.9). W ten sposób, można porównać barwę kubka z dowolną inną barwą.

Wrażenia pierwotne i złożone są bezpośrednio powiązane z podejściem oddolnym do przetwarzania informacji (ang. *bottom-up*), podczas gdy wrażenia funkcjonalne – z odgórnym (ang. *top-down*). Wrażenia oddolne rozpoznawane są przez mechanizmy wbudowane

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.10 Przykład wrażenia o logogenie 'barwa', które może przyjmować jedną z wartości lingwistycznych (np. 'pomarańczowy') wraz z odpowiadającą jej funkcję przynależności ($\mu_{pomaranczowy}$).

w postrzeganie sensoryczne, np. rozpoznawanie twarzy (kaskady Haara – Wilson i Fernandez, 2006). Mechanizmy te zostały dokładniej omówione w sekcji 4.1.1.

Wrażenia złożone mogą być zmieniane w trakcie ewolucji systemu. W zależności od środowiska, w którym agent funkcjonuje, mogą pojawiać się nowe prymitywy oparte na bardziej złożonych kształtach (np. krzyż jako złożenie dwóch odcinków lub prostokątów pod kątem 90°). Tworzenie nowych prymitywów oparte jest na frekwencyjności (częstości wystąpień) wystąpień odpowiedniej struktury wrażeń pierwotnych (bądź innych wrażeń złożonych). Podczas myślenia autystycznego podejmowane są próby tworzenia nowych prymitywów. Nowotworzony prymityw może być powtarzającym się złożeniem wrażeń opisujących różne obiekty. Po wyodrębnieniu jest on wyszukiwany wśród znanych obiektów oraz sprawdzana jest jego frekwencyjność. Po przekroczeniu pewnego, ustalonego progu wystąpień, nowotworzony prymityw definiowany jest jako nowe wrażenie złożone.

Wrażenia funkcjonalne (wtórne) mieszczą się w pamięci związanej z obiektami (opisana dalej pamięć semantyczna), wraz z odniesieniami do historii ich użycia (opisana dalej pamięć epizodyczna). W szczególności, wpływ obiektów (jako spostrzeżeń) na realizację potrzeb (czyli odczuwalnych, obserwowanych skutków interakcji z obiektem) zależy od historii (sposobów i procedur) użycia obiektu i zmian w stopniu zaspokojenia potrzeb. Sub-emocja jest odczuwalnym wrażeniem typu emocji, która silnie (często) towarzyszyła interakcji z obiektem. Innymi słowy, sub-emocja stanowi bezpośrednie powiązanie emocji z obiektem. W podobny sposób działają również sub-equalia (indywidualnie definiowane sub-emocje). Różnica polega tylko na sposobie ich determinowania (sub-emocje są ogólnie i ściśle zdefiniowane, natomiast sub-equalia tworzone są na podstawie indywidualnych doświadczeń i potrzeb). Oba mechanizmy zostaną szerzej opisane w sekcji 4.4.2.

Wzorce wrażeń (prymitywy, prototypy, definicje) stanowią podstawę rozpoznawania wrażeń przez system percepcji. W wyjątkowych wypadkach (jak np. niemożliwość rozpoznania wrażenia) system percepcji, może porównywać rozpoznawane wrażenie bezpośrednio do prymitywów zawartych w pamięci. Prymitywy wrażeń przechowywane są w stałych obszarach pamięci długotrwałej (LTM), do których ma dostęp system percepcji.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.1.2.1. Wrażenia pierwotne

Jak wspomniano powyżej, wrażenia pierwotne opisują podstawowe cechy obiektów. W większości współczesnych robotów stosuje się systemy wizyjne, sensory czuciowe (zwłaszcza w przypadku bezpośredniej interakcji ze środowiskiem poprzez chwytanie) oraz, coraz częściej, systemy dźwiękowe. Zdarzają się roboty wyposażone w bardzo zaawansowane sensory (np. uwzględniające zapachy), jednakże zwykle związane są one z określonym zastosowaniem robota. W niniejszej pracy wrażenia dotyczące smaku i węchu nie będą rozpatrywane.

Definicja 4.2. Wrażenie pierwotne (podstawowe, elementarne):
Jest to cecha obiektu rozpoznawana przez wbudowane mechanizmy detekcji, w analogii do cech rozpoznawanych przez człowieka, np. barwa, tekstura, kształt, itp.. Wrażenie pierwotne oznaczane jest symbolem γ^p (ang. *primal imperession*).

Niżej wymienione wrażenia pierwotne pozwalają na dobre odzwierciedlenie rzeczywistości w pamięci robota, a w szczególności na rozpoznawanie i klasyfikację obiektów. Wśród takich podstawowych wrażeń (opartych na zmysłowych wzorcach człowieka) można wyróżnić wrażenia dotyczące:

- bodźców wizyjnych:
  - kształt (bryła)
  - barwa
  - rozmiar (szacunkowo, z małą dokładnością)
  - dynamika ruchu (prędkość).
- bodźców czuciowych (zbliżeniowych):
  - temperatura
  - faktura
  - kształt krawędzi (ostre/opływowe)
  - rozmiar (większa dokładność)
  - plastyczność (ze względu na nacisk)
  - wilgotność.
- bodźców dźwiękowych:
  - głośność
  - wysokość dźwięku
  - podobieństwo do szumu
  - powtarzalność
  - lokalizacja źródła (odległość od źródła).

Bardzo ważnym aspektem zmysłowym człowieka jest propriocepcja (poczucie własnego ciała), nocycepcja (poczucie bólu) i zmysł równowagi. Przenosząc te *zmysły* na agenta, można przyjąć, że dotyczą one *środowiska wewnętrznego*. Pozwalają na znajomość dokładnej pozycji aktuatorów i stawów robota, a także mogą informować o stanach diagnostycznych i awaryjnych takich elementów. Mają one pośredni, ale duży wpływ na percepcję środowiska zewnętrznego, na przykład zmysł równowagi pozwala na orientację (pion/poziom).

W dalszej części zostaną skrótowo omówione wrażenia pierwotne stosowane w ISD.

♠ *Kształt*

Poniżej znajduje się lista podstawowych wrażeń dotyczących kształtu. Odnosi się ona tylko do płaszczyzny, przy braku perspektywy (przypadek trójwymiarowy nie będzie tu rozważany):

- odcinek (lub wypełniony prostokąt o dwóch krótkich bokach)
- łuk (opisany dowolnym równaniem, np. oparty na krzywej stożkowej).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ze względu na efektywność oraz prostotę, lista ta została rozszerzona o figury geometryczne, pomimo możliwości zdefiniowania ich jako wrażeń złożonych:

- prostokąt (4 odcinki łączące się pod kątem prostym)
- trójkąt (3 odcinki połączone ze sobą)
- wielokąt
- okrąg (łuk regularny o mierze 360°)
- elipsa (łuk nieregularny o mierze 360°).

Należy podkreślić, że wrażenia dotyczące figur geometrycznych mogą być identyfikowane tylko na podstawie miary rozmytej. Widząc kształt, agent ocenia podobieństwo do odpowiednich prototypów (Maghrebi *et al.*, 2007; Bezdek *et al.*, 2006). W przypadku skomplikowanych kształtów można zastosować zbiory przybliżone (ang. *rough sets*) do oceny podobieństwa do prototypu (Pawlak, 1982). Podobieństwo pomiędzy wrażeniami będzie omawiane dalej – w sekcji 4.1.2.4. Na tej podstawie rozpoznaje się wrażenia kształtu, takie jak np. kwadratowy (podobny do kwadratu), czy okrągły. Oczywiście kształt (wyrażany podobieństwem) ma zwykle charakter wrażenia złożonego.

Oprócz takich wrażeń, można wyróżnić również inne pojedyncze cechy kształtu, takie jak:

- rozmiar (minimalny i maksymalny, zobrazowane na rys. 4.11), w odniesieniu do środka geometrycznego
- stopień rotacji, definiowany jako kąt pomiędzy wektorem utworzonym przez centrum geometryczne i wierzchołek najdalej do niego oddalony, a osią poziomą
- stopień foremności figury, będący wariancją długości boków
- regularność, czyli stosunek rozmiarów (max/min)
- liczba kątów/wierzchołków figury.

Aby rozpatrywać część powyżej wymienionych cech, należy najpierw zdefiniować pojęcie środka geometrycznego:

$$\boldsymbol{r_0} = \frac{1}{S}\int\limits_S \boldsymbol{r}dS; \quad \boldsymbol{r_0}, \boldsymbol{r} \in R^2 \tag{4.2}$$

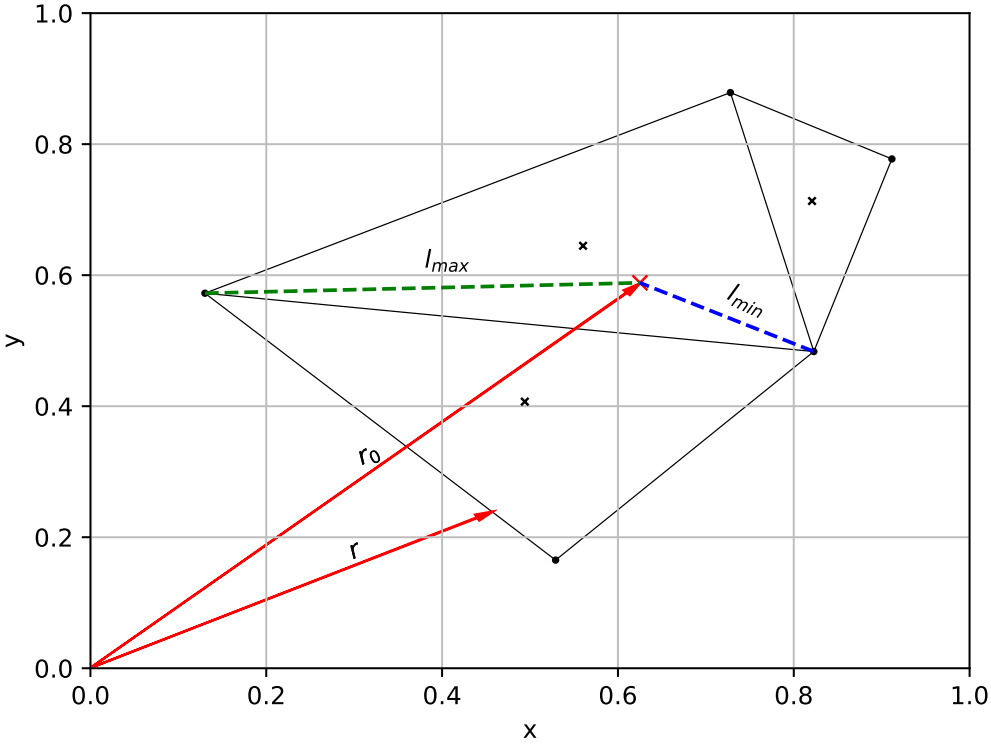
gdzie S jest powierzchnią figury płaskiej, dS jej różniczką, natomiast $\boldsymbol{r_0}$ oznacza środek geometrycznego figury. W praktyce wzór (4.2) przekłada się na średnią ważoną środków geometrycznych składowych figur (Feynman *et al.*, 2013). W przypadku obrazów pobranych z sensora wizyjnego, można na przykład zastosować algorytm triangulacji Delaunay'a (De Berg *et al.*, 2007), po czym wyznaczyć składowe środki geometryczne trójkątów i uśrednić je (przykład na rys. 4.11). Dzięki wyznaczeniu środka geometrycznego figury, możliwe jest określenie jej rozmiarów, gdzie rozmiar figury jest rozumiany jako odległość euklidesowa każdego z wierzchołków od środka geometrycznego figury.

Tak określone wrażenia kształtu mają zatem charakter ostry. W systemie ISD są one rozmywane, co pozwala na elastyczne i skuteczne rozpoznawanie.

♠ *Rozmywanie cech ostrych*

Ostre wartości pewnych wrażeń przekształcane są na miarę rozmytą odpowiadającą pięciu różnym wartościom lingwistycznym: bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży (rys. 4.12). Ostre wartości wrażeń należy przed rozmyciem znormalizować. W ramach odpowiedniego logogenu przechowywane są (i zmieniane) w pamięci długotrwałej agenta ostre wartości maksymalne i minimalne danego wrażenia. Przykładowo 'wysoka' temperatura to największa doświadczona (pozytywnie) przez agenta (granica ta zmienia się wraz z doświadczeniem temperatury wyższej). Po znormalizowaniu ostrej wartości wrażenia korzysta się ze schematu przedstawionego na rys. 4.12, który pozwala na przypisanie odpowiednich wartości lingwistycznych (*logval*) danego wrażenia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.11 Wyznaczenie rozmiarów figury płaskiej; czarne krzyżyki oznaczają środki geometryczne trójkątów składowych, czerwony krzyżyk reprezentuje środek geometryczny figury (pięciokąta), podczas gdy niebieska, przerywana linia wyznacza rozmiar minimalny (l_{min}), a zielona przerywana maksymalny (l_{max}).

Rozmycie ostrych cech łatwiej (bezpośrednio) stosuje się do wrażeń podstawowych, takich jak np. wilgotność, ciśnienie, dynamika ruchu, temperatura, kształt krawędzi, plastyczność, głośność, poziom zaszumienia, wysokość dźwięku, etc., które posiadają skalowalną miarę.

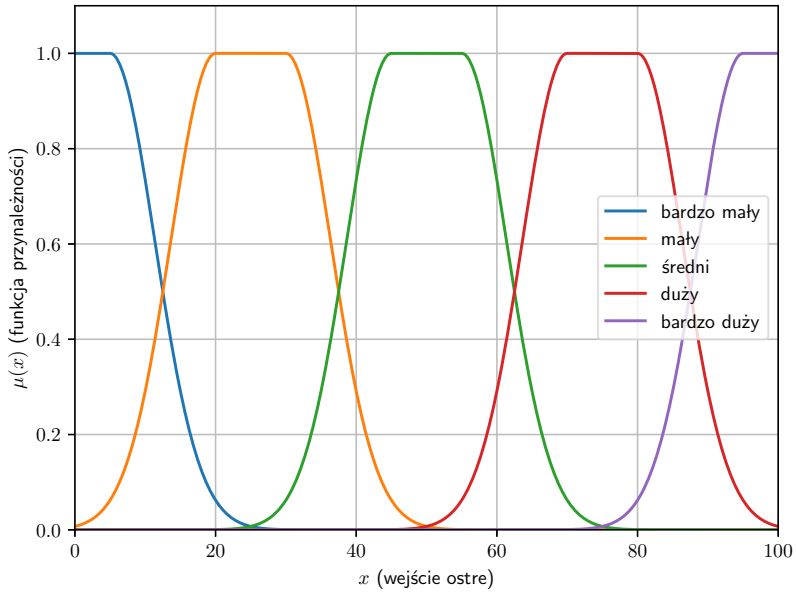
♠ *Faktura*

W sposób podobny do kształtów rozwiązywany jest problem wrażenia faktury. Zakłada się następujące, podstawowe prototypy faktury:

- gładka
- chropowata
- pomarszczona
- falista
- niejednolita.

Podobnie jak powyżej konkretne wartości wrażenia ('nasycenie' cechy) oceniane są za pomocą rozmytych relacji podobieństwa względem nasyconego (max) prototypu. Zarówno w przypadku faktury, jak i w przypadku kształtu mogą pojawić się nowe, złożone prototypy wrażeń (np. faktura aksamitna), co zostanie omówione w sekcji 4.1.2.2.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.12 Zbiory rozmyte służące do określania zmiennej lingwistycznej wrażeń posiadających wartości ostre.

♠ *Kolor*

Kolor, a właściwie barwa w przypadku wrażeń pierwotnych, również została zdefiniowana jako przynależność do określonego zbioru rozmytego. Jest ona jedną z 7 możliwych podstawowych barw. Taki rozmyty zestaw barw przedstawiono na rys. 4.13, przy czym zastosowany dobór funkcji przynależności został częściowo oparty na pracy Shamira (2006).

Aby umożliwić dokładniejsze rozróżnianie kolorów, a także porównywanie ich w sposób matematyczny, kolory zostały określone przez rozmyte wartości w formacie barwa, nasycenie, luminancja (ang. *Hue, Saturation, Lighness – HSL*)[1]. Barwa określana jest wartościami lingwistycznymi zdefiniowanymi na rys. 4.13, podczas gdy luminancja i nasycenie są określane standardowymi zbiorami rozmytymi (rys. 4.12). Zauważmy, że kolory bardziej złożone, takie jak biały, czarny, brązowy, szary, czy różowy wynikają tylko tylko z różnicy w luminancji i nasyceniu, niezależnie od barwy.

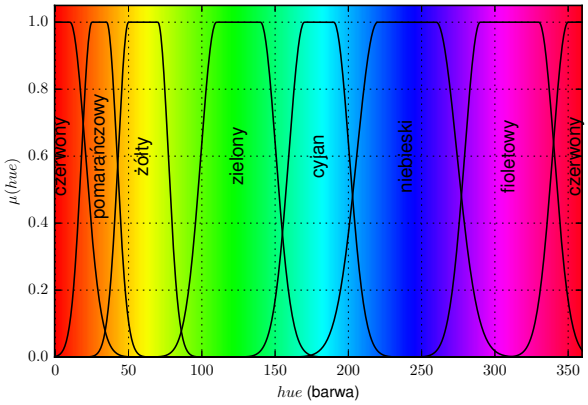
Widać zatem, że podobnie do kształtu, kolor też stanowi złożenie poszczególnych składowych. Oczywiście w implementacji użyć można innego systemu kolorów, jak RGB, CMYK, czy HSV. W takim przypadku można określić zbiory rozmyte poszczególnych składowych indywidualnie, bądź skorzystać ze standardowych zbiorów rozmytych (rys. 4.12).

4.1.2.2. Wrażenia złożone

Wrażenie złożone powstają jako użyteczne uogólnienie pewnych spostrzeżeń abstrakcyjnych sprowadzonych do formy wrażenia. Stanowią też one formę przejściową (element bazowy) w procesie rozpoznawania indywidualnych spostrzeżeń (rys. 4.14). Operacja definicji wrażenia złożonego polega na opracowaniu detektora nowego zestawu wrażeń oraz relacji między nimi opisujących dane spostrzeżenie abstrakcyjne. Oczywiście, możliwe jest pominięcie spostrzeżenia abstrakcyjnego i nauka detektora na podstawie uogólnionego zbioru wrażeń i relacji pomiędzy nimi (w przypadku gdy agent wielokrotnie poznaje pośrednio

[1]HSL jest systemem opisu kolorów opartym na podstawie percepcji ludzkiego oka.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.13 Rozmyte funkcje przynależności barw.

wrażenie złożone, np. dowiaduje się o nim wielokrotnie z różnych źródeł). Nowo-powstałe wrażenie złożone ułatwia opis zarówno spostrzeżeń abstrakcyjnych, jak i indywidualnych (w pamięci semantycznej).

Definicja 4.3. Wrażenie złożone:
Złożona (z pierwotnych wrażeń) cecha obiektów powtarzająca się w obiektach rozpoznawanych przez agenta za pomocą utworzonych mechanizmów detekcji (np. człekokształtność, kształt domu, itp.). Wrażenie złożone (ang. *complex*) oznaczane jest symbolem γ^c. Wrażenia takie mogą być identyfikowane (wykrywane) w złożonych spostrzeżeniach abstrakcyjnych Γ^a, które wynikają z analizy struktur wielu wcześniej poznanych spostrzeżeń.

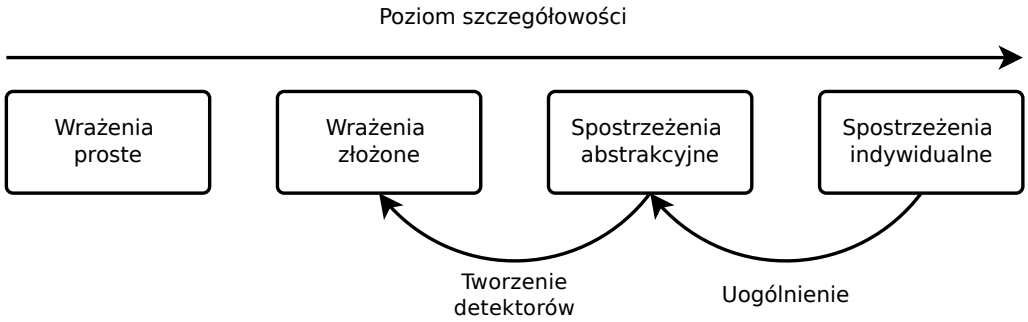
Wrażenia złożone mają na celu przyspieszenie rozpoznawania spostrzeżeń indywidualnych. W procesie myślenia autystycznego system ISD może tworzyć nowy, niskopoziomowy detektor wrażenia w momencie, w którym liczba wystąpień spostrzeżenia abstrakcyjnego przekracza pewien próg (τ_{γ^c}). W takim przypadku, detektor (zaimplementowany np. w postaci sieci neuronowej) uczony jest zestawem wrażeń pierwotnych, wchodzących w skład nowego wrażenia złożonego (a także spostrzeżenia abstrakcyjnego, na podstawie którego jest tworzone). W ten sposób powstaje niskopoziomowy detektor złożonych kształtów (ułatwiający analizę aktualnej sytuacji).

Przykładowo, wrażenie dwuwymiarowego ‘domu’ można opisać jako: *duży prostokąt*, **nad** którym położony jest *trapez*. Trapez ma *szerokość* **podobną** do szerokości dużego prostokąta. **W środku** dużego prostokąta znajduje się *mały* prostokąt i *średni* prostokąt. **Dolna** krawędź średniego prostokąta znajduje się **w pobliżu** dolnej krawędzi dużego prostokąta. W powyższym opisie kursywą oznaczono wrażenia, natomiast czcionką pogrubioną – relacje pomiędzy nimi. Opis uporządkowany, semantyczny, złożonego wrażenia ‘dom’, przedstawiony jest poniżej w zapisie xml.

```
<Impression type="complex" name="house">
        <Trapezoid id="1"><!-- roof -->
                <Position type="above" reference_id="2" />
                <Size type="big" reference_id="2" />
        </Trapezoid>
        <Rectangle id="2"><!-- front -->
                <Position type="below" reference_id="1" />
                <Size type="big" reference_id="1" />
                <Contains>
                        <Element id="3">
                        <Element id="4">
                        <Element id="5">
```


MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

```
                </Contains>
        </Rectangle>
        <Rectangle id="3"><!-- door -->
                <Position type="bottom" reference_id="2" />
                <Size type="medium" reference_id="2" />
        </Rectangle>
        <Rectangle id="4"><!-- window -->
                <Position type="middle" reference_id="2" />
                <Position type="aside" reference_id="3" />
                <Size type="small" reference_id="2" />
                <Size type="medium" reference_id="3" />
        </Rectangle>
</Impression>
```



Rysunek 4.14 Stopień uogólnienia elementów poznawczych ISD.

Do wrażeń złożonych można zaliczyć również wrażenia mówiące o efekcie oddziaływania na agenta (np. 'miły'). Po analizie danych lub skutków, gdy obiekty można zgrupować pod pewnym względem (np. zmian w stanach wewnętrznych agenta zachodzących w takiej sytuacji) – tworzone są nowe wrażenia złożone. Wrażenia te opierają się na powtarzających się zjawiskach (np. wielokrotne uśmiechnięcie się tej samej osoby może wygenerować wrażenie 'miła' w jej uogólnieniu lub wielokrotnie powtórzona złośliwość pozwoli na oznaczenie jej jako 'złośliwa'). Wrażenia tego typu są przechowywane w pamięci semantycznej, jednakże budowane są one na podstawie zdarzeń zawartych w pamięci epizodycznej.

Wśród wrażeń złożonych można również wyróżnić wrażenia wygenerowane na podstawie przynależności do jakiejś klasy (na podstawie abstrakcyjnej sieci semantycznej) lub pewnej relacji podobieństwa (opisanej w dalszej części pracy) niektórych cech (wrażeń). Do wrażeń budowanych na podstawie przynależności można zaliczyć wrażenie pochodzenia (np. 'naturalny', 'sztuczny'). Natomiast do wrażeń opartych na pewnej mierze podobieństwie można zaliczyć wrażenia intensywności pewnej wartości (np. 'długowłosy'). Należy zauważyć, iż miara ta dotyczy relacji pomiędzy wrażeniami przynależnymi do jednego spostrzeżenia. Dla przykładu tworzone jest wrażenie 'x' będące pewnym złożeniem wrażeń 'kolor' i 'piegi'. W tym przypadku, wrażenie złożone można przykładowo opisać jako zbiór pewnych cech:

$$\gamma_x = \{\gamma_{hsl}, \gamma_{piegi}\} = \{\gamma_h, \gamma_s, \gamma_l, \gamma_{piegi}\} \tag{4.3}$$

gdzie pojedyncze γ_i oznaczają konkretne wartości lingwistyczne odpowiednich zbiorów rozmytych ($\gamma_{logogen} = logval$), zaś cechy koloru rozdzielono na bezpośrednie składowe (H,S,L), z których każda odrębnie jest opisana przez wartość lingwistyczną.

Podobnie do większości wrażeń pierwotnych, wrażenia złożone – w zakresie poszczególnych składowych (wrażeń) – określane są za pomocą zbiorów rozmytych (obiekt może być np. 'mniej' lub 'bardziej' 'złośliwy'). Funkcje przynależności danych zbiorów są określane na podstawie utworzonej statystki wystąpień określonego wrażenia wtórnego. Etykieta

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 4.1 Przykład tworzenia złożonego wrażenia ‘koloru osobnika’:‘rudy’. W kolumnie kolor zademonstrowane są konkretne (ostre) wartości kolorów HSL.

instancja	kolor włosów (H, S, L)	‘piegowatość’	interpretacja koloru
Stefan	(czerwony, średni, średni)	średni	
Zośka	(pomarańczowy, b. duży, średni)	duży	
Ziuta	(czerwony, duży, duży)	mały	
Marusia	(czerwony, duży, b. duży)	średni	
Bożysław	(pomarańczowy, duży, duży)	mały	
Stefania	(czerwony, duży, średni)	b. duży	

(logogen) wrażenia wtórnego jest wyznaczana przez proces myślenia (autystycznego); nie koniecznie musi się zgadzać z odpowiednimi określeniami używanymi przez innych ludzi.

Jeśli wiele (statystycznie) różnych obiektów (instancji spostrzeżeń) posiada wśród swoich wrażeń pewien wspólny zestaw złożony z kilku pierwotnych lub wtórnych wrażeń (‘kolor włosów’, ‘piegowatość’[2]), może być tworzone nowe uogólniające wrażenie złożone np. ‘rudy’. Przykład statystyki poszczególnych instancji przedstawiony został w tab. 4.1. Na podstawie takich danych można zdefiniować wrażenie złożone ‘koloru osobnika’ z jego wartością: ‘rudy’, które jest rozpięte na nowej definicji zestawu wrażeń pierwotnych (‘piegowatość’, ‘hue’, itp.) wraz z przybliżonymi, lingwistyczno-rozmytymi wartościach HSL (czerwono-pomarańczowy, duży, średnio-duży) oraz ‘piegowatość’ (średnia), co ukazuje rys. 4.15.

Proces tworzenia nowych definicji funkcji przynależności dla nowego wrażenia wtórnego polega na obliczeniu średniej arytmetycznej z funkcji przynależności biorących udział w tworzeniu wrażenia wtórnego oraz unormowaniu jej (względem wartości maksymalnej):

$$\mu_{new}(x) = \frac{1}{\max\limits_{y}(\sum_{i=0}^{N} \mu_i(y))} \sum_{i=0}^{N} \mu_i(x) \tag{4.4}$$

gdzie μ_i jest i-tą składową funkcją przynależności (dotyczącą jednej wartości lingwistycznej ocenianej cechy, jak na rys. 4.12), zaś $y \in Y$, gdzie Y jest dziedziną badanej wielkości ostrej. Wyznaczanie wynikowych funkcji przynależności zilustrowano na rys. 4.15.

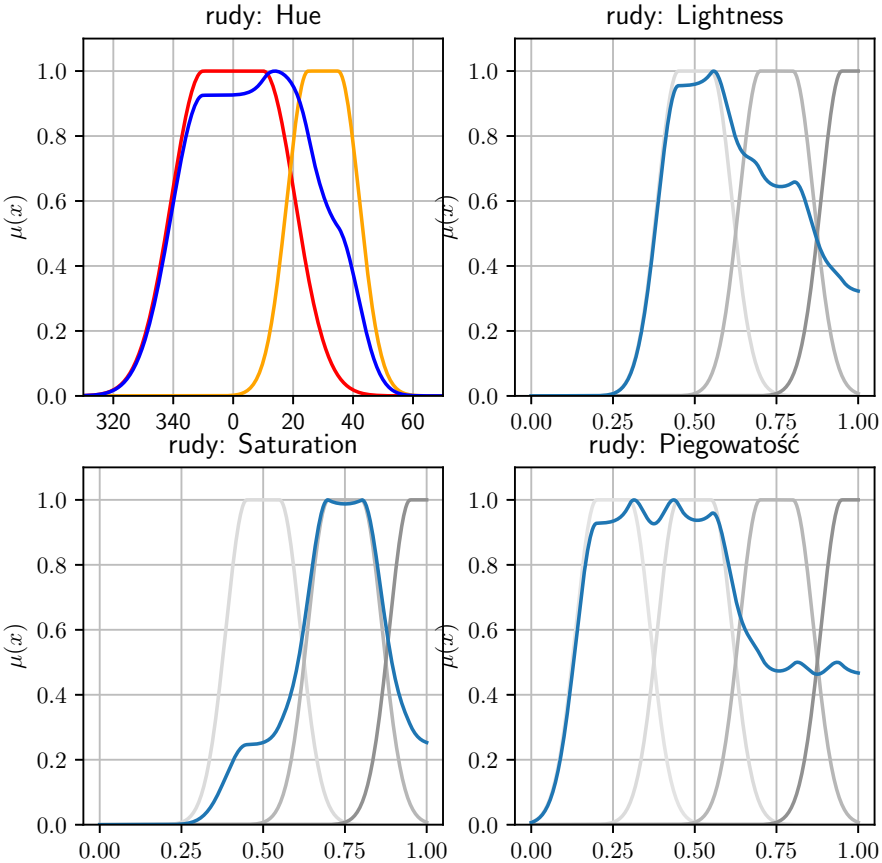
4.1.2.3. Wrażenia funkcjonalne (wtórne)

Wrażenia wtórne, w przeciwieństwie do wrażeń prostych i złożonych, kojarzone są głównie z podejściem odgórnym do rozpoznawania obiektów. Ich funkcją jest zarówno doinformowanie agenta, jak i zmiana jego motywacji. Wrażenia wtórne pojawiają się w momencie rozpoznania obiektu (spostrzeżenie indywidualne) jako konkretnej instancji danego, abstrakcyjnego spostrzeżenia. Wrażenia wtórne mogą dotyczyć także spostrzeżeń abstrakcyjnych. Dzięki temu mechanizmowi, agent może ocenić przypuszczalne znaczenie (wpływ) danego obiektu. Wśród wrażeń wtórnych można wyróżnić wrażenia:

- informacyjne, wnoszące dodatkowe informacje nt. spostrzeżenia, mogące mieć wpływ pośredni na motywację agenta
- motywacyjne, mają bezpośredni wpływ na motywację agenta.

[2] ‘Piegowatość’ to również wrażenie złożone.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.15 Przedstawienie funkcji przynależności dla złożonego wrażenia 'koloru osobnika' o wartości 'rudy', gdzie liniami szarymi oraz pomarańczową i czerwoną (w przypadku barwy) przedstawione są składowe funkcji przynależności, zaś linią niebieską wynikowe funkcje.

Według powyższego można podać następującą definicję.

Definicja 4.4. Wrażenie funkcjonalne:
Cecha obiektu mająca na celu bezpośrednią zmianę motywacji agenta (motywacyjne wrażenie wtórne) lub doinformowanie go o danym obiekcie (informacyjne wrażenie wtórne). Wrażenie wtórne oznaczane jest symbolem γ^f (ang. *functional*).

Wrażenia informacyjne służą do zwiększenia zakresu informacji dotyczących obiektu. Pojawiają się one w ramach procesów percepcyjnych w ścieżce *top-down*, czyli w momencie rozpoznania określonego obiektu. Do informacyjnych wrażeń funkcjonalnych należy zaliczyć wrażenia:

- definiujące czas trwania, tryb czasowy $MPT = \{M, P, T\}$
- opisujące zmianę spostrzeżenia w czasie, ściśle powiązane z trybem czasowym P
- kategoryzujące spostrzeżenie pod względem użyteczności (np. miejsce).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

♠ *Tryb czasowy*

Dzięki wrażeniom charakteryzującym tryb czasowy agent może wyciągać wnioski dotyczące zmian spostrzeżeń w czasie. Zauważmy, że czas w poniższej kategoryzacji użyty jest w rozumieniu klasycznym. W systemie ISD reprezentowany jest on przede wszystkim przez fazę w ujęciu MPT. W ISD wyróżnia się trzy tryby czasowe:

- M – monumentalny (ang. *monumental*), przypisany zjawiskom, niezmienny w bardzo długim okresie czasu,
- P – permanentny (ang. *permanent/persitant*), charakterystyczny dla obiektów trwałych, które mogą jednak zmieniać się powoli (okresowo) przechodząc przez różne fazy
- T – tymczasowy (ang. *temporary*), pojawiający się chwilowo lub szybkozmienny (przełączający się między wieloma fazami).

Powyższe tryby, tak różne od powszechnego spojrzenia na kwestię czasu, oparte są na podziale lingwistycznym języka Indian Hopi (Whorf, 1950, 1952). Według wykształconego przez nich systemu poznawczego wszystkie elementy świata można podzielić na obiektywne i subiektywne. Elementy obiektywne ukazują się jako *ujawnione* – takie jakie są postrzegane, podczas gdy elementy subiektywne, *ujawniające się* – równie dobrze reprezentują przyszłość, jak i aspekty mentalne. Elementy ujawnione (obiektywne) wyrażają się w dowolnym trybie (MPT), podczas gdy elementy subiektywne odnoszą się tylko do trybu tymczasowego.

W niniejszej dysertacji pojęcie czasu nie będzie odrębnie zdefiniowane, choć naturalne rozumienie tego pojęcia wykorzystane jest w trybie czasowym temporalnym (T), przy mechanizmie zapominania, w czasie rzeczywistym agenta i cyklu pracy komputera sterującego oraz (w zdegenerowanej formie) w trybie czasowym P. Efekty dyskretnego czasu związane są z dynamiką agenta oraz jego procesem decyzyjnym.

Wrażeniem wtórnym bezpośrednio powiązanym z trybem czasowym (P lub T) jest wrażenie ewolucji czasowej, równoważne wrażeniu aktualnej fazy obiektu. Dzięki niemu agent może między innymi modelować (w pamięci wyobraźni) proces starzenia się. Wrażenie (lingwistyczno-rozmyte) fazy istnienia/trwania obiektu (ewolucji czasowej) z trybem czasowym (głównie P, zwykle szczątkowo T) pozwala na przykład na zmianę etykiety spostrzeżeń indywidualnych (dziecko → człowiek → człowiek starszy), czyli na nowe uogólnienie. Takie uogólniające/kategoryzujące przemianowanie obiektu pozwala na jego lepsze śledzenie oraz głębszą specyfikację. Dostarcza dodatkowej informacji dla agenta, która pozwala wnioskować np. o możliwym czasie reakcji danego obiektu, jego energetyczności, etc. W systemie ISD ten czasowo-ewolucyjny atrybut przypisany jest głównie spostrzeżeniom permanentnym (P) i pojawia się na poziomie abstrakcyjnym (abstrakcyjna pamięć semantyczna opisana w dalszej części), gdzie definiuje możliwości ewolucji obiektu oraz jego kolejne fazy czasowe. W trybie temporalnym (T) zwykle wystarcza oznaczenie faktu pojawienia się obiektu (0/1). W trybie tym możliwe są także częste zmiany pomiędzy dwiema lub większą liczbą faz.

W spostrzeżeniu (def. 4.7) instancyjnym wrażenie to mówi przede wszystkim o fazie jaką aktualnie spostrzeżenie przyjmuje. W niektórych przypadkach (dla niektórych spostrzeżeń) wrażenie ewolucji czasowej może wskazywać na inne spostrzeżenia abstrakcyjne. Przykładowo, w spostrzeżeniu opisującym 'teownik' wrażenie ewolucji wskazywać może (jako finalny stan ewolucji czasowej) na inne uogólnione spostrzeżenie 'złom'.

♠ *Kategoria*

Wśród (funkcjonalnych) wrażeń informacyjnych można także wyróżnić wrażenie kategorii. Wrażenie to służy do ułatwienia zapisu semantycznego spostrzeżeń. Klasyfikuje ono

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

spostrzeżenia ze względu na dynamikę i rozmiar. W systemie ISD wyróżniamy następujące kategorie:

- miejsca – ograniczone (przez ściany, płoty, abstrakcyjne granice, itp.) duże powierzchnie, po których może się poruszać agent; kategoria ta połączona jest z czasowym trybem M
- ko-agenta – spostrzeżenie ruchome, mogące wykonywać akcje; kategoria ta jest połączona z trybem czasowym T
- przedmiotu ruchomego – spostrzeżenie mogące być wykorzystywane przez agenta do różnych akcji, w tym przenoszenia; kategoria może być połączona z trybem czasowym T (przedmiot który często znajduje się w użyciu) lub P (przedmiot praktycznie historycznie nieruchomy, choć możliwe jest jego użycie)
- przedmiotu nieruchomego – obiekt przymocowany na stałe, nieruchomy, raczej nie wykorzystywany przez agenta do akcji; połączone z trybem M lub P.

♠ *Wrażenia motywacyjne*

Funkcjonalne wrażenia motywacyjne są (bezpośrednio lub pośrednio) związane z systemem motywacji agenta, a w szczególności z czynnikami motywacyjnymi takimi jak: potrzeby, które posiada agent, oraz emocje, które zmieniają się po rozpoznaniu obiektu (sub-emocje i sub-equalia). Czynniki motywacyjne są przechowywane oraz używane w postaci lingwistyczno-rozmytej lub ostrej (w przypadku niektórych potrzeb). Czasem w przypadku niektórych potrzeb możliwy jest dynamiczny (ostry) opis wrażenia motywacyjnego. Ma on na celu zmianę wartości potrzeb w zależności od pewnego punktu odniesienia (np. odniesie do różnicy między prędkością dopuszczalną, a własną).

Przykładem rozmytej reprezentacji takich wrażeń może być modelowanie ciekawości (Wu i Miao, 2013). Użycie tej reprezentacji wydaje się bardzo naturalne; ludzie operują przecież głównie konceptami lingwistycznymi i rozmytymi. Pozwala to także na skuteczną komunikację agenta z człowiekiem (w ramach koncepcji *Human-System Interaction*). Rozmycie czynników motywacyjnych pozwala także na zastosowanie metod wnioskowania rozmytego, a w szczególności na neuronowo-rozmyte sposoby podejmowania decyzji (opisane dalej w sekcji 4.5.1.3).

4.1.2.4. Relacje pomiędzy wrażeniami

Oprócz poszczególnych wrażeń (prostych, złożonych i funkcjonalnych), obiekt charakteryzują także relacje pomiędzy wrażeniami. Przykładowo, złożone wrażenie 'dom' można zdefiniować z wykorzystaniem zespołu relacji pomiędzy wrażeniami. Podstawowy podział relacji semantycznych przedstawił Arystoteles (Studtmann, 2014; Aristotle, 40; Hjørland, 2007). Ukazał on relacje jako odniesienie się do pewnych ogólnych kategorii:

- treści (specyficzne relacje zachodzące pomiędzy obiektami, np. człowiekiem i koniem)
- ilości (np. dłuższy) lub liczby (większy)
- jakości w określonym sensie (np. bielszy)
- względności lub relatywności (np. większy od...)
- miejsca (np. na dole)
- czasu (np. dziś)
- pozycji (np. siedząca)
- posiadania (np. posiadanie brody)
- czynności (np. wykonywanie pracy, czytanie książki, pływanie itp.)
- czucia (w kontekście przeżytego doświadczania, np. poparzenia).

Powyższy podział wydaje się właściwy, jednak odnosi się on głównie do kompletnych obiektów – spostrzeżeń (o których będzie mowa w dalszej części pracy). Jest on jednak

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

bezwzględny. Tymczasem relacje pomiędzy wrażeniami (cechami obiektu) należy definiować przede wszystkim w kategoriach względnych. Jakiekolwiek wrażenie agent ocenia albo względem siebie, albo względem innego, wcześniej poznanego wrażenia. Większość relacji pomiędzy wrażeniami można wyrazić w kategoriach względnych, jakości, wielkości, ilości i miejsca.

Szczególnym przypadkiem relacji pomiędzy wrażeniami jest relacja przynależności w pewnej przestrzeni (w powyższych kategoriach relacja miejsca). Część wrażeń dotyczących zmysłów czuciowych i wizyjnych przynależy do określonego miejsca w przestrzeni (w ogólności) lub na płaszczyźnie (figury geometrycznej – w omawianym przypadku dwuwymiarowym).

4.1.2.5. Podobieństwo wrażeń

Wrażenia można porównywać do siebie i określać ich wzajemne podobieństwo tylko i wyłącznie pod tym warunkiem, że dotyczą one tej samej cechy (globalnego logogenu wrażenia). Na podstawie rozmytych pojęć (wartości tego samego wrażenia) o danych funkcjach przynależności obliczane jest podobieństwo, oparte na ich odległości od siebie. Istnieje wiele możliwości obliczania podobieństwa rozmytego (Beg i Ashraf, 2009). Przykładowym zastosowaniem jest rozmyte porównywanie kształtów z mozaiki (Baccour *et al.*, 2014), gdzie najlepszą miarą podobieństwa okazuje się:

$$S_4(A,B) = \frac{Card(\bar{A} \cap \bar{B})}{Card(\bar{A} \cup \bar{B})} \tag{4.5}$$

W powyższym wzorze A i B oznaczają zbiory rozmyte, natomiast $\bar{A}$ jest negacją/dopełnieniem zbioru A zdefiniowaną jako:

$$\forall_{x \in X} \quad \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \tag{4.6}$$

Zauważmy, że sumę zbiorów rozmytych A i B oblicza się następująco:

$$\forall_{x \in X} \quad \mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \ [\star_S] \ \mu_B(x) \tag{4.7}$$

zaś przekrój tych zbiorów wyrażany jest jako:

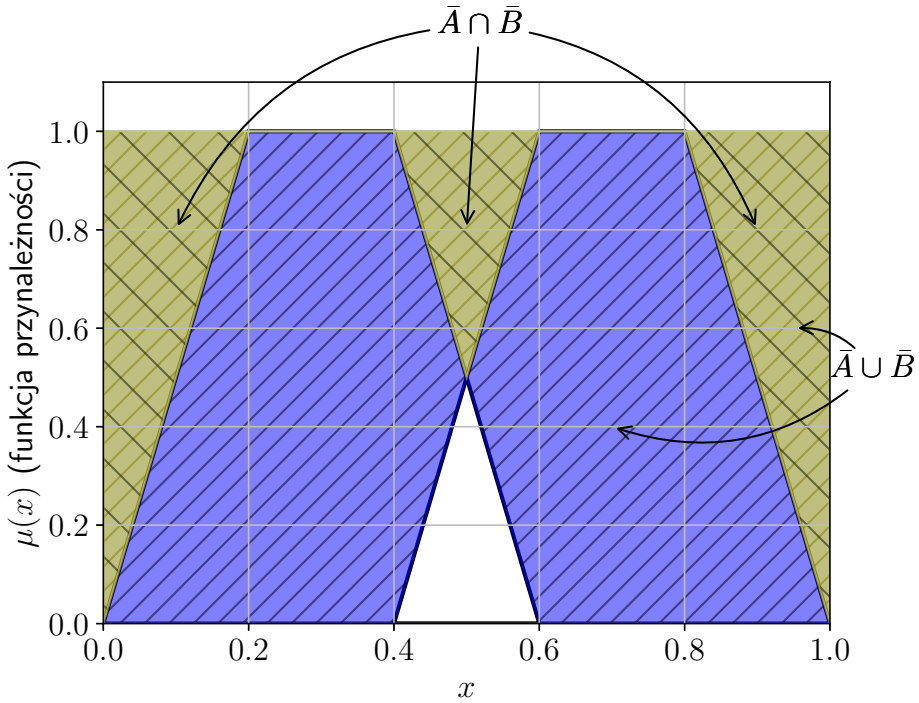
$$\forall_{x \in X} \quad \mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \ [\star_T] \ \mu_B(x) \tag{4.8}$$

gdzie $[\star_S]$ oznacza operator S-normy, zaś $[\star_T]$ symbolizuję T-normę. Najczęściej stosowane są normy Zadeha (Rutkowski i Cpalka, 2003; Rutkowska *et al.*, 1997; Łęski, 2008), odpowiadające odpowiednio operacjom maximum i minimum. W niniejszej pracy stosowane są głównie normy Einsteina i Łukasiewicza, zdefiniowane w dalszej części. Operacja $Card$ oznacza moc zbioru rozmytego A:

$$Card(A) = \int_{x \in X} \mu_A(x) dx \approx \Delta x \cdot \sum_{x \in X} \mu_A(x) \tag{4.9}$$

W przypadku ciągłego zbioru rozmytego korzystamy z całki w dziedzinie X tego zbioru (A), jednak w praktyce (w rzeczywistej implementacji), przy ustalonym kroku kwantyzacji Δx, łatwo jest obliczyć jej dyskretny odpowiednik. Powyższe operacje można zobrazować dla dwóch przykładowych zbiorów rozmytych przedstawionych na rys. 4.16, gdzie wartość podobieństwa dla danego przykładu wynosi około 0.26, gdyż $Card(\bar{A} \cap \bar{B}) = 0.25$, natomiast $Card(\bar{A} \cup \bar{B}) = 0.95$. Przedstawiona powyżej miara podobieństwa rozmytego jest używana w ISD do wyznaczania podobieństwa ustalonych wrażeń.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.16 Ilustracja podobieństwa dwóch przykładowych zbiorów rozmytych (4.5), zbiory przedstawiono grubą czarną linią; kolor niebieski określa sumę dopełnień zbiorów, zaś kolor żółty iloczyn dopełnień.

4.1.3. Spostrzeżenia

Spostrzeżenie stanowi abstrakcyjną reprezentację każdego rzeczywistego obiektu, ale też i obiektów nieistniejących w rzeczywistości, a jedynie w *wyobraźni*. W większości przypadków spostrzeżenie jest nieprecyzyjne, subiektywne i niekompletne. Jednakże na podstawie opisu zawartego w spostrzeżeniu agent (robot lub inny system) może precyzyjnie zidentyfikować dany obiekt.

Definicja 4.5. Uogólnione spostrzeżenie:
Systemowa (abstrakcyjna, *mentalna*) reprezentacja obiektu oznaczana jako Γ, będąca zbiorem określających go cech (postaci/wartości) oraz relacji z innymi obiektami.

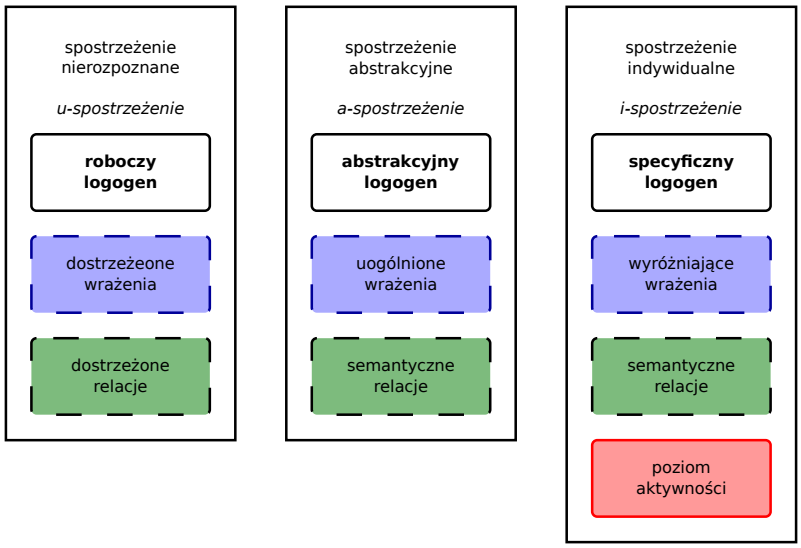
Na pojedyncze spostrzeżenie składają się wszystkie wrażenia przypisane danemu obiektowi, relacje pomiędzy nimi, etykieta, czyli *logogen* spostrzeżenia oraz relacje odnoszące się do innych spostrzeżeń (rys. 4.17). Relacje pomiędzy spostrzeżeniami przede wszystkim wskazują na przynależność oraz dziedziczenie. Wśród spostrzeżeń należy wyróżnić trzy typy:

- a-spostrzeżenie, oznaczane jako Γ^a (a) – spostrzeżenie abstrakcyjne (uogólnione)
- i-spostrzeżenie, oznaczane jako Γ^i (i) – spostrzeżenie instancyjne (szczegółowe)
- u-spostrzeżenie, oznaczane jako Γ^u (u) – spostrzeżenie nierozpoznane, hipotetyczne (unknown).

Zbiór wszystkich spostrzeżeń oznaczamy jako $\mathcal{F}$, w którym można wyróżnić dwa rozłączne podzbiory $\mathcal{F}^a$ oraz $\mathcal{F}^i$, co można przedstawić w postaci $\mathcal{F} = \mathcal{F}^a \cup \mathcal{F}^i$. Wobec powyższego, spostrzeżenia nierozpoznane (hipotetyczne, tymczasowe) nie należą do zbioru $\mathcal{F}$.

Oznaczamy ogólnie indeks liczbowy spostrzeżenia Γ jako Λ, oraz przyjmujemy, że relacja matematyczna $\mathcal{P}(k, l)$ dotyczy tych par indeksów spostrzeżeń, pomiędzy którymi zachodzą jakiekolwiek relacje spostrzeżeniowe (ρ). Oddaje ona zatem ogólną strukturę systemowej (spostrzeżeniowej) relacji pomiędzy spostrzeżeniami (k i l). Dzięki temu można

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.17 Struktura spostrzeżeń (Kowalczuk i Czubenko, 2014), gdzie wśród wrażeń wyróżnia się wrażenia pierwotne, wtórne i funkcjonalne oraz analogicznie wśród relacji – pierwotne oraz funkcjonalne (opisane dalej).

też teraz precyzyjnie wyrazić wspólną *strukturę spostrzeżeń* w systemie ISD jako:

$$\overline{\Gamma}_\Lambda = \{\{\gamma\}_\Lambda; \{\rho\}_{\{\tilde{\Lambda}\}}\} \tag{4.10}$$

gdzie zbiór $\{\tilde{\Lambda}\}$, zdefiniowany jako $\{k : \mathcal{P}(\Lambda, k) \neq 0\}$, stanowi zbiór wszystkich indeksów skojarzonych poprzez relację spostrzeżeniową $\mathcal{P}(k, l)$ z danym indeksem Λ. Innymi słowy definicja (4.10) mówi o strukturze dowolnego spostrzeżenia o indeksie Λ, na które składa się zbiór wrażeń $\{\gamma\}_\Lambda$ oraz zbiór wszystkich relacji spostrzeżeniowych dotyczących danego (indeksu) spostrzeżenia $\{\rho\}_{\{\tilde{\Lambda}\}}$.

Wszystkie relacje spostrzeżeniowe zachodzące pomiędzy spostrzeżeniami można przedstawić posiłkując się globalną (systemiczną) klasyczną relacją matematyczną $\mathcal{P}$, zachodzącą na kartezjańskim iloczynie indeksów spostrzeżeń. W ten sposób (za pomocą relacji matematycznej) binarnie wskazuje się pary spostrzeżeń, dla których definiuje się odpowiednie zbiory relacji spostrzeżeniowych. Wśród relacji spostrzeżeniowych wyróżniamy relację współistnienia (autorelacji, z definicji zachodzącej dla każdego spostrzeżenia, reprezentowanego danym indeksem) oraz relację dziedziczenia, oznaczaną jako $\lhd$, opisaną w dalszej części pracy. Zarówno relacje matematyczne jak i ww. podstawowe relacje spostrzeżeniowe oraz podstawowa część relacji abstrakcyjnych są w kompetencji projektanta systemu, którego zadaniem jest ich definicja.

Wśród relacji można wyróżnić relacje pierwotne (ρ^p) i relacje funkcjonalne (ρ^f), co jest szerzej opisane w dalszej części pracy (sec. 4.1.3.3):

$$\{\rho\} \triangleq \{\{\rho^p\} \cup \{\rho^f\}\} \tag{4.11}$$

Przywołując poprzednie założenia, zbiór wszystkich wrażeń przedstawiamy jako:

$$\{\gamma\} \triangleq \{\{\gamma^p\} \cup \{\gamma^c\} \cup \{\gamma^f\}\} \tag{4.12}$$

czyli zbiór wrażeń pierwotnych ($\{\gamma^p\}$, wg def. 4.2), złożonych ($\{\gamma^c\}$, wg def. 4.3) oraz funkcjonalnych ($\{\gamma^f\}$, wg def. 4.4).

Zakładając funkcjonalną nadmiarowość oznaczenia i korzystając ze struktury spostrzeżenia $\overline{\Gamma}_\Lambda$ łatwo zdefiniować dowolne spostrzeżenie Γ_Λ oraz spostrzeżenie abstrakcyjne jako:

$$\Gamma^a_\Lambda \triangleq \Gamma_\Lambda \tag{4.13}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie $\Gamma_\alpha = \Gamma_{logogen} = \Gamma_\Lambda$, zaś $\Lambda(logogen) = \Lambda \in \mathcal{N}$, który to indeks należy interpretować jako (globalną w ISD) reprezentację liczbową logogenu przypisanego do każdego spostrzeżenia. Wartość liczbowa Λ oznacza zatem globalny indeks spostrzeżenia w ISD, podczas gdy *logogen* należy do zbioru wszystkich logogenów (etykiet, nazw) oznaczających spostrzeżenia ($logogen \in \{\}^{\Gamma}_{logogen}$). Z kolei α oraz dalej β są użytecznymi symbolami konkretnych logogenów.

Przykładowe spostrzeżenie instancyjne $\Gamma^i_1 = \Gamma^i_{kubek}$ (bowiem odnosi się do konkretnego kubka) opisane jest zbiorem wrażeń $\{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3\}_{kubek}$, które można opisać (w ISD) kolejno jako $\{\gamma_1 = \gamma(kolor) =$ 'brązowy', $\gamma_2 = \gamma$(kształt) ='okrągły z uchem', $\gamma_3 = \gamma$(emblemat) ='struś'$\}$. Dzięki tak opisanemu spostrzeżeniu można bez trudu porównać poszczególne cechy tego spostrzeżenia z odpowiadającymi im cechami innych spostrzeżeń.

Wrażenia, przy opisywaniu spostrzeżenia abstrakcyjnego, mogą przyjmować też wartość nieokreśloną ($\emptyset$). Należy to interpretować jako wskazówkę, że instancja tego spostrzeżenia może już posiadać takie wrażenie, ale nie musi. Przykładowo, stolik (Γ^a_{stolik}) pozostanie stolikiem niezależnie od wartości koloru, jednak jeśli chcemy się odnieść do konkretnego stolika ($\Gamma^i_{stolik-Tomka}$), wrażenie koloru musi przyjąć jakąś wartość *logval* (np. $[\gamma_{kolor}]_{stolik-Tomka} = \gamma$(kolor) ='orzechowy'). Zapis $[\gamma_{kolor}]_{stolik-Tomka}$ oznacza wrażenie 'koloru' spostrzeżenia 'stolik-Tomka', gdzie nawias kwadratowy symbolizuje odniesienie do konkretnego spostrzeżenia.

W przypadku instancji spostrzeżenia (Γ^i_Λ), do opisu dochodzi dodatkowy element w postaci poziomu aktywności (ϱ^i) przyjmujący pojedynczą wartość liczbową. Zwykle wszystkie wrażenia opisujące spostrzeżenie indywidualne powinny być niezerowe (ściśle określone). W każdym zbiorze relacji spostrzeżeniowych opisujących spostrzeżenia musi być zawarta relacja dziedziczenia po spostrzeżeniu abstrakcyjnym (dla którego dane spostrzeżenie jest instancją). Opis spostrzeżenia indywidualnego przedstawia poniższe równanie:

$$\Gamma^i_\alpha \triangleq \{\{\gamma\}, \{\rho\}, \varrho^i\}\Big|_{\substack{[\gamma]_\alpha \neq \emptyset \\ \Gamma^i_\alpha \lhd \Gamma^a_\beta}} \tag{4.14}$$

gdzie $\Gamma^i_\alpha \lhd \Gamma^a_\beta$ oznacza relację dziedziczenia wszystkich wrażeń po spostrzeżeniu abstrakcyjnym β. Relacja ta, jest wpisywana w strukturę spostrzeżenia, tak aby agent, *poruszając się* po grafie zbudowanym z relacji dziedziczenia, mógł uzyskiwać dodatkowe informacje dotyczące obiektu. Relacja dziedziczenia (szczegółowo omówiona w dalszej części pracy) implikuje fakt, że wszystkie wrażenia spostrzeżenia β przechodzą do spostrzeżenia α.

Spostrzeżenia nierozpoznane (np. aktualnie rozpoznawane) są zbiorem rzeczywistych (dostrzeżonych) wrażeń i skojarzonych w jeden obiekt nierozpoznany przez agenta, który jest porównywany w procesie rozpoznawania spostrzeżeń (sekcja 4.1.4) ze spostrzeżeniami abstrakcyjnymi.

4.1.3.1. Spostrzeżenie abstrakcyjne

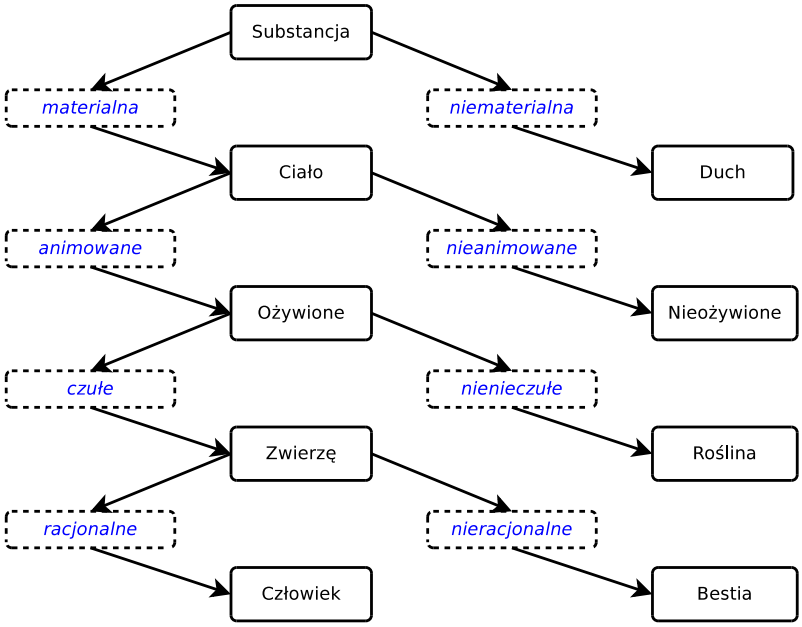
Każde spostrzeżenie dotyczące rzeczywistego obiektu może być (w trakcie rozwoju *mentalnego* agenta) odpowiednio uogólnione do postaci (a) – abstrakcyjnego spostrzeżenia (Kowalczuk i Czubenko, 2014). Operacja taka pozwala na tworzenie abstrakcyjnych elementów ('kategorii') w pamięci semantycznej agenta. Abstrakcyjne spostrzeżenia charakteryzują się wysokim poziomem uogólnienia upraszczającym modelowanie. Na takie spostrzeżenie składają się uogólnione cechy obiektu, pozwalające na przyporządkowanie do danego abstraktu innych spostrzeżeń oraz rozróżnienie pomiędzy abstraktami. Abstrakcyjne spostrzeżenie, oprócz uogólnionych wrażeń, musi również posiadać indywidualną etykietę (logogen) np. 'zwierzę', a także relacje do innych spostrzeżeń. Abstrakcyjne spostrzeżenie może również (aczkolwiek nie musi), w szczególnych przypadkach (np. arachnofobii) wpływać na emocje

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

lub potrzeby agenta, czyli posiadać i wywoływać w stosownych momentach (po wykryciu spostrzeżenia dziedziczącego po danym abstrakcie) wrażenia wtórne.

Definicja 4.6. Spostrzeżenie abstrakcyjne:
Reprezentacja systemowa obiektu abstrakcyjnego Γ^a, nie mającego rzeczywistej implementacji, będąca rozwinięciem uogólnionego spostrzeżenia. Spostrzeżenie abstrakcyjne reprezentuje grupę/typ obiektów (jego cechy nie zawsze muszą przyjmować określone wartości).

Spostrzeżenia abstrakcyjne zapisane są w pamięci semantycznej w postaci drzewa semantycznego. Przykładowe drzewo semantyczne (bardziej filozoficzne, niż związane z praktycznym poznawaniem otoczenia agenta) ilustrujące zagadnienie w bardzo uproszczony sposób, ukazuje rys. 4.18. Dodając pojedynczą cechę/wrażenie ('materialna') do najbardziej abstrakcyjnego spostrzeżenia ('substancja') możemy uzyskać spostrzeżenie bardziej uszczegółowione ('ciało'). Z kolei schodząc do liści abstrakcyjnego drzewa semantycznego, uzyskać można bardzo dokładną kategorię, opisaną poprzez wiele wrażeń: 'człowiek' jest materialnym, animowanym, czującym i racjonalnym tworem (oczywiście, do rzeczywistego scharakteryzowania człowieka potrzeba dużo więcej wrażeń).



Rysunek 4.18 Drzewo semantyczne narysowane na podstawie najstarszej znanej sieci semantycznej – Drzewo Porphyra (Peter of Spain, 1947). Pochylone, niebieskie elementy drzewa stanowią przykłady wrażeń dodawanych w kolejnych gałęziach.

Spostrzeżenia abstrakcyjne mogą zawierać abstrakcje wrażeń, czyli wrażenia bez przypisanej wartości. Dzięki temu wiadomo, jakie wrażenia dotyczą danego spostrzeżenia (dziedziczącego po danym spostrzeżeniu abstrakcyjnym) i które wrażenia należy określić. Przykładowo wiadomo, że 'koń' jako spostrzeżenie abstrakcyjne posiada maść, jednak dopiero po ścisłym zdefiniowaniu np. jako klacz 'Silver Blaze' (spostrzeżenie indywidualne/instancyjne) można jednoznacznie określić jego maść.

4.1.3.2. Spostrzeżenia instancyjne

Spostrzeżenia indywidualne lub instancyjne (i) odnoszą się do jednego (poprzednio wyuczonego) konkretnego obiektu – (np. koń zwany 'Silver Blaze'). Takie instancje spo-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

strzeżeń składają się z wrażeń, których zestaw pozwala na ich identyfikację. Każde pojedyncze i-spostrzeżenie dziedziczy po istniejącym (w abstrakcyjnej pamięci semantycznej) a-spostrzeżeniu. Co oznacza, że na spostrzeżenie indywidualne składają się cechy spostrzeżenia abstrakcyjnego (nie ma potrzeby ich powtarzania) oraz cechy instancyjne, czyli szczególne, indywidualne wartości wrażeń pozwalające rozróżnić jedną instancję od innych.

Definicja 4.7. Spostrzeżenie instancyjne (instancja):
Reprezentacja systemowa rzeczywistego, konkretnego obiektu Γ^i, dziedzicząca po pewnym spostrzeżeniu abstrakcyjnym. Wszystkie wrażenia opisujące instancję muszą być określone (przyjmować określone wartości), co pozwala na rozróżnienie danego spostrzeżenia od innych.

Spostrzeżenia instancyjne mogą (lecz nie muszą) być przypisane do jednej z czterech kategorii: miejsce, przedmiot ruchomy, przedmiot nieruchomy, ko-agent (wrażenie funkcjonalne). Takie wrażenie umożliwia uproszczenie opisu semantycznego spostrzeżeń. Dzięki niemu możliwe jest określenie: które spostrzeżenia wymagają analizy np. obliczania trajektorii ruchu (aby uniemożliwić kolizję); których spostrzeżeń możne agent użyć (przedmioty ruchome); a do których można dotrzeć (miejsca).

Spostrzeżenia indywidualne posiadają swój poziom istotności czasowej (aktywności), mówiący o tym, jak często (bądź ile razy) są one wywoływane z pamięci długotrwałej. Dzięki takiemu zabiegowi, spostrzeżenia częściej używane, są dużo łatwiej dostępne dla agenta oraz dużo szybciej rozpoznawane.

4.1.3.3. Relacje pomiędzy spostrzeżeniami

Pomiędzy spostrzeżeniami, zarówno abstrakcyjnymi jak i indywidualnymi, mogą zachodzić pewne (pierwotne, funkcjonalne) relacje spostrzeżeniowe, oznaczane symbolem ρ. Relacje wstępnie zaimplementowane w ISD określamy jako pierwotne. Z kolei relacje definiowane w sposób autonomiczny przez agenta określamy jako funkcjonalne. Relacje te zapisywane są w tablicy relacji matematycznej $\mathcal{P}$ dla odpowiednich indeksów spostrzeżeń oraz przypisywane do struktury odpowiedniego spostrzeżenia.

♠ *Relacje pierwotne*

Do relacji pierwotnych należą wszystkie relacje przedstawione w tab. 4.2.

Definicja 4.8. Relacja pierwotna:
Odzwierciedlenie wstępnie zdefiniowanej w ISD relacji zachodzącej w parze spostrzeżeń $(\Gamma_\alpha, \Gamma_\beta)$ oznaczane jako ρ^p.

($\lhd$) Podstawową relacją pierwotną używaną przy wszystkich spostrzeżeniach jest relacja *dziedziczenia* **'is_a'**. Każdy element dziedziczący po innym posiada jego wszystkie wrażenia. W przypadku wrażeń niezdefiniowanych (o wartości $\emptyset$) w spostrzeżeniu abstrakcyjnym, element dziedziczący pozwala na ustalenie jego wartości np. z abstrakcyjnym spostrzeżeniem 'koń' związane jest wrażenie 'umaszczenie', które nie jest zdefiniowane; z kolei instancja spostrzeżenia 'koń', np. 'Silver Blaze', dziedzicząca po abstrakcie może wrażenie 'umaszczenie' wyspecyfikować przypisując mu odpowiednią wartość (np. 'kary'). Każde spostrzeżenie abstrakcyjne może dziedziczyć tylko po innym spostrzeżeniu abstrakcyjnym. Natomiast spostrzeżenie instancyjne nie może dziedziczyć po innym postrzeżeniu instancyjnym. Oczywiście, dziedziczność jest przechodnia, tj. jeśli spostrzeżenie 'człowiek' dziedziczy po spostrzeżeniu 'zwierzę', które z kolei dziedziczy po 'ożywione', to człowiek posiada wszystkie wrażenia spostrzeżenia 'ożywione'. Relacja dziedziczenia jest w sposób

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

oczywisty zwrotna (każde spostrzeżenie dziedziczy po sobie dla wszystkich spostrzeżeń abstrakcyjnych) oraz antysymetryczna (dwa spostrzeżenia dziedziczące po sobie wzajemnie są tożsame). Dzięki temu system charakteryzuje się częściowym porządkiem między spostrzeżeniami abstrakcyjnymi. Relacja dziedziczenia jest relacją jeden do wielu, co oznacza, że jeden rodzic może mieć wiele obiektów potomnych, po nim dziedziczących. Relację dziedziczenia można zdefiniować dla dowolnego spostrzeżenia Γ_α dziedziczącego po Γ_β w taki sposób że:

$$\Gamma_\alpha \lhd \Gamma_\beta \Leftrightarrow (\forall_{\gamma \in \Gamma_\beta}\ \gamma \in \Gamma_\alpha) \tag{4.15}$$

Spostrzeżenia instancyjne mogą dziedziczyć tylko i wyłącznie po spostrzeżeniach abstrakcyjnych. W przypadku takiego dziedziczenia wszystkie wrażenia przynależne do spostrzeżenia instancyjnego powinny przyjąć konkretną wartość lingwistyczno-rozmytą (zwykle wymaga się, aby instancja charakteryzowała się np. określonymi wrażeniami). Natomiast spostrzeżenia instancyjne mogą dziedziczyć po więcej niż jednym spostrzeżeniu abstrakcyjnym. W takim wypadku i-spostrzeżenie przyjmuje wszystkie zgodne (bez konfliktu) cechy rodziców, zaś przypadku cech skonfliktowanych (np. dwa różne kolory), spostrzeżenie dziedziczy wartość koloru będącą sumą rozmytą wartości koloru rodziców.

Najważniejszym aspektem dziedziczenia jest determinowanie istnienia spostrzeżenia w pamięci ISD. Każde ze spostrzeżeń (zarówno abstrakcyjnych, jak i instancyjnych) w pamięci semantycznej musi dziedziczyć przynajmniej po jednym spostrzeżeniu abstrakcyjnym. W ekstremalnym przypadku może to być *abstrakt*, coś, czyste zjawisko, oznaczane jako $\Gamma^\top$. Spostrzeżenie to reprezentuje korzeń (ang. *root*) drzewa pamięci semantycznej agenta.

($\otimes$) Operacja *uwspólnienia* jest oparta na istnieniu (relacji) logicznego produktu ($\Gamma_\alpha \cap \Gamma_\beta \neq \emptyset$), która mówi o istnieniu wspólnych składowych (wrażeń) dwóch różnych spostrzeżeń:

$$\Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta \triangleq \{\{\gamma\} : (\gamma \in \{\gamma\}_\alpha \cap \{\gamma\}_\beta)\} \tag{4.16}$$

Operacja uwspólnienia zwraca jedynie zbiór wrażeń, na podstawie którego agent może następnie poszukiwać lub tworzyć spostrzeżenia abstrakcyjne (niekoniecznie istniejące w

Tablica 4.2 Lista pierwotnych relacji dotyczących spostrzeżeń wraz z ich symbolami (przykładowe spostrzeżenia oznaczono jako Γ_α i Γ_β), oraz operacjami na spostrzeżeniach.

Symbol	Relacja pierwotna/Operacja	Opis
$\Gamma_\alpha \lhd \Gamma_\beta$	Dziedziczenie	Γ_α dziedziczy po Γ_β wszystkie cechy
$\Gamma_\alpha \rhd \Gamma_\beta$	Rodzicielstwa	Γ_α jest rodzicem Γ_β
$\Gamma_\alpha \subset \Gamma_\beta$	Przynależność	Γ_α jest składową Γ_β
$\Gamma_\alpha \sim \Gamma_\beta$	Podobieństwo	Γ_α jest podobne do Γ_β
$\Gamma_\alpha \nsim \Gamma_\beta$	Niepodobieństwo	Γ_α nie jest podobne do Γ_β
$\Gamma_\alpha \oslash \Gamma_\beta$	Wykluczenie	Γ_α nie jest Γ_β
$\Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta$	Operacja uwspólnienia	część wspólna wrażeń przynależnych do Γ_α i Γ_β
$\Gamma_\alpha \circledast \Gamma_\beta$	Operacja podobieństwa	wartość liczbowa podobieństwa między Γ_α i Γ_β

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

rzeczywistości) zawierające ten zbiór lub wprowadzać relację rodzicielstwa do istniejącego spostrzeżenia. Uwspólnienie, nigdy nie będzie zbiorem pustym, gdyż wszystkie spostrzeżenia dziedziczą po abstrakcie – posiadają jedną abstrakcyjną cechę. Należy również zaznaczyć, że operacja uwspólnienia oraz relacja dziedziczenia dotyczą tylko wrażeń zawartych w spostrzeżeniu, tj. działania te nie uwzględniają dziedziczenia lub uwspólnienia relacji przypisanych analizowanym spostrzeżeniom (stąd nie można tu stosować teoriomnogościowych operatorów sumy lub iloczynu).

($\triangleright$) *Rodzicielstwo* dotyczy obiektów/spostrzeżeń i może być wyrażone poprzez operację uwspólnienia ($\otimes$): dla pary spostrzeżeń (Γ_α, Γ_β) zachodzi: Γ_α i Γ_β posiadają (określonego wspólnego) rodzica Γ_δ:

$$(\Gamma_\delta \triangleright \Gamma_\alpha \wedge \Gamma_\delta \triangleright \Gamma_\beta) \Leftrightarrow (\forall_{\gamma \in \Gamma_\delta}\ \gamma \in \Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta) \tag{4.17}$$

gdzie Γ_δ jest pewnym spostrzeżeniem abstrakcyjnym, związanym z wynikiem uwspólnienia. Jest to też część naturalnego mechanizmu formowania nowego abstraktu z instancji. W równoważny sposób można zapisać:

$$\Gamma_\delta \triangleright \Gamma_\alpha \Leftrightarrow \Gamma_\alpha \triangleleft \Gamma_\delta \tag{4.18}$$

bowiem według oddolnego punktu widzenia (od liści do korzenia), można tu mówić o relacji odwrotnej do dziedziczenia.

($\subset$) Podstawowym typem relacji pomiędzy spostrzeżeniami jest też relacja *przynależności* **'is_composed_of'**, którą można opisać jako:

$$\Gamma_\alpha \subset \Gamma_\beta \Leftrightarrow (\forall_\gamma\ \gamma \in \Gamma_\alpha \Rightarrow \gamma \in \Gamma_\beta) \tag{4.19}$$

Relacja przynależności dotyczy spostrzeżeń abstrakcyjnych złożonych z innych spostrzeżeń abstrakcyjnych, czyli odpowiadającym im wrażeń złożonych, np. γ^c_{blat} – wrażenie złożone stworzone na podstawie spostrzeżenia abstrakcyjnego Γ^a_{blat} – przynależy do Γ^a_{stol}, co można oznaczyć jako $\gamma^c_{blat} \in \Gamma^a_{stol}$, oraz przy użyciu operacji przynależności: $\Gamma^a_{blat} \subset \Gamma^a_{stol}$, tj. spostrzeżenie abstrakcyjne 'stół' składa się ze spostrzeżenia abstrakcyjnego 'blat'. Ta relacja odnosi się głównie do spostrzeżeń abstrakcyjnych (spostrzeżenia indywidualne dziedziczą po nich). Można zatem wnioskować, że skoro 'koń' (abstrakcyjny) składa się z czterech (abstrakcyjnych) nóg (i nie tylko), to klacz 'Silver Blaze' również składa się z czterech abstrakcyjnych nóg. Jako, że instancje spostrzeżeniowe dziedziczą wszystkie wrażenia, to również klaczy 'Silver Blaze' domyślnie przypisane są konkretne instancje nóg (nie muszą one w tej instancji figurować w pamięci semantycznej). Relacja przynależności poza relacją komponent-całość (przedstawiona wcześniej noga od stołu), może przyjmować luźniejszą postać element-kolekcja (np. drzewo w lesie) (Hendrickx *et al.*, 2009). W przypadku przynależności element-kolekcja, do obiektu nadrzędnego przynależy lista obiektów podrzędnych (choć nie zawsze daje się ją wyrazić wartością ostrą; np. las składa się z wielu drzew).

($\circledast$) Niech $\gamma_{logogen_1}$, $\gamma_{logogen_2}$, $\ldots$, $\gamma_{logogen_N}$ stanowi (uporządkowany) ciąg wrażeń, którego elementy należą do uwspólnienia: $\forall_{i \in 1 \ldots N} \gamma_{logogen_i} \in \Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta$; wówczas *operację podobieństwa* (zwracającą wartość rzeczywistą) można wyrazić jako:

$$\Gamma_\alpha \circledast \Gamma_\beta \triangleq \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} S_4([\gamma_{logogen_i}]_\alpha, [\gamma_{logogen_i}]_\beta) \tag{4.20}$$

gdzie S_4 jest funkcją podobieństwa wrażeń rozmytych (4.5), natomiast $N = Card(\Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta)$ mocą zbioru będącego uwspólnieniem spostrzeżeń. Należy podkreślić, że w powyższym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

porównywane są tylko i wyłącznie wrażenia (pierwotne i złożone) w postaci rozmytej (co oznacza, że w przypadku wrażeń ostrych, przed porównaniem należy zastosować rozmycie). Natomiast porównanie wrażeń funkcjonalnych odbywa się na poziomie binarnym.

($\sim$) Z kolei relacją, która ma duże znaczenie z punktu widzenia agenta jest relacja *podobieństwa* **'is_similar_to**. Określana jest ona za pomocą operacji podobieństwa pomiędzy spostrzeżeniami ($\circledast$). Im więcej wrażeń (odpowiadających sobie w obu spostrzeżeniach) jest do siebie bardzo podobnych (lub takich samych), tym większe jest rozmyte podobieństwo spostrzeżeń. Relacja podobieństwa jest opisana jako:

$$\Gamma_\alpha \sim \Gamma_\beta \Leftrightarrow (\Gamma_\alpha \circledast \Gamma_\beta \approx 1) \tag{4.21}$$

($\nsim$) W analogii do relacji podobieństwa można zdefiniować relacje *niepodobieństwa*:

$$\Gamma_\alpha \nsim \Gamma_\beta \Leftrightarrow not(\Gamma_\alpha \sim \Gamma_\beta) \tag{4.22}$$

Zarówno relacja podobieństwa, jak i niepodobieństwa świadczą o liczbie i podobieństwie wrażeń które przynależą do obu spostrzeżeń. Obie relacje ($\sim, \nsim$) są realizowane na spostrzeżeniach indywidualnych, choć mogą być również użyte do określania podobieństwa spostrzeżeń abstrakcyjnych.

($\oslash$) Wśród relacji pierwotnych wyróżnia się też relację zwaną relacją *wykluczenia* **'is_not_a'**. Oznajmia ona, że spostrzeżenie abstrakcyjne jest wykluczeniem innego spostrzeżenia abstrakcyjnego w pewnej dziedzinie ('pies' nie jest 'kotem' wśród 'zwierząt'). Taka (jawna) relacja zdefiniowana jest jako:

$$\Gamma_\alpha \oslash \Gamma_\beta|_{\Gamma_\delta} \Leftrightarrow (\Gamma_\alpha \lhd \Gamma_\delta) \wedge (\Gamma_\beta \lhd \Gamma_\delta) \wedge (\exists_\gamma^{few}\ \gamma \in \Gamma_\alpha \wedge \gamma \notin \Gamma_\beta) \tag{4.23}$$

Ukryta relacja wykluczenia może być również zdefiniowana bez podania jawnej dziedziny, przedstawia wtedy Γ_δ oparte jest na uwspólnieniu spostrzeżeń α i β:

$$\Gamma_\alpha \oslash \Gamma_\beta \Leftrightarrow \Big((\Gamma_\alpha \lhd \Gamma_\delta) \wedge (\Gamma_\beta \lhd \Gamma_\delta)\Big)|_{\Gamma_\delta:\forall_{\gamma\in\Gamma_\delta}\gamma\in\Gamma_\alpha\otimes\Gamma_\beta} \wedge (\exists_\gamma^{few}\ \gamma \in \Gamma_\alpha \wedge \gamma \notin \Gamma_\beta) \tag{4.24}$$

Wszystkie relacje opisane powyżej można zaliczyć do relacji pierwotnych, które dotyczą obiektów zarówno w abstrakcyjnej jak i w instancyjnej pamięci semantycznej.

♠ *Relacje funkcjonalne*

Podobnie jak w przypadku wrażeń wtórnych (funkcjonalnych), relacje funkcjonalne tworzone są w trakcie (procesu) myślenia autystycznego przez agenta. Reprezentują one związki znaczeniowe (semantyczne), relacje pomiędzy spostrzeżeniami. Związki te swobodnie wykraczają poza relacje pierwotne odnoszące się do pamięci semantycznej.

Definicja 4.9. Relacja funkcjonalna:
Odzwierciedlenie relacji swobodnie definiowanej przez agenta i dotyczącej pary spostrzeżeń (Γ_α, Γ_β), oznaczane jako ρ^f. Relacje te wyrażane są słowami angielskimi.

Wtórną relacją opartą na relacji przynależności jest relacja posiadania **'has'**, która taktuje spostrzeżenia w kontekście własności (semantycznej), a nie składowej, jak relacja przynależności (np. 'Tomek has ołówek').

Relacją funkcjonalną jest relacja umiejscowienia **'is_in'**, czyli wskazanie miejsca, w którym dany obiekt się znajduje. Relacja ta może pośrednio odnosić się do pamięci epizodycznej, gdzie lokalizuje miejsce (spostrzeżenie oznaczone kategorią 'miejsce'), w którym

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

dane spostrzeżenie (w trybie czasowym P lub T) znajdowało się podczas ostatniego kontaktu agenta z nim. Relacja umiejscowienia może także oznaczać oczywiste fakty zachodzące pomiędzy instancjami spostrzeżeń (np. '*Bieszczady is_in Beskidy Wschodnie*' – oba spostrzeżenia oznaczone są wtedy kategorią 'miejsce', tryb P). Relacja ta może także być daleką parafrazą relacji posiadania (np. '*Tomek has dom*', więc '*Tomek is_in dom*'[3]).

Relacją wtórną jest także relacja używania **'uses'**. Pozwala ona na zdefiniowanie, że spostrzeżenie indywidualne (kategorii 'ko-agent') może używać innego obiektu indywidualnego (kategorii 'przedmiot'). Dzięki tej relacji agent może wnioskować, które obiekty mogą być użyte przez niego lub innych ko-agentów obecnych w środowisku (np. uczestnicy zdarzenia). Alternatywną (odwrotną) relację dotyczącą narzędzi można zdefiniować jako **'used_by'**, gdzie użytkownicy są przypisani do narzędzi.

Relacje wtórne są tworzone na podstawie wnioskowania o obiektach w pamięci epizodycznej. Przykładowo, jeśli Jaś dużo czasu spędza **'attends'** w okolicy Małgosi, to można wysnuć wniosek, że być może '*Jaś likes Małgosia*'. Tego typu relacje tworzone przez agenta mogą się odnosić do emocji, uczuć, własnych przekonań '*Jabłko better_than pomarańcza*', zaobserwowanych efektów dotyczących spostrzeżeń, itp. W przypadku wielokrotnego (powyżej pewnego progu) wystąpienia lub określonych okoliczności (np. zjawiska, sekwencji spostrzeżeń), agent tworzy (i nazywa), nową relację pomiędzy spostrzeżeniami.

W chwili tworzenia relacji nadawana jest właściwość 'ścisłość'. System ISD może modyfikować relacje zmieniając ich właściwości na następujące (definiowane w klasycznej teorii mnogości; Guzicki i Zakrzewski, 2005):

- ścisłość/przeciwzwrotność (ang. *antireflexive*)
- zwrotność (ang. *reflexive*)
- symetryczność (ang. *symmetric*)
- antysymetryczność (ang. *antysymmetric*)
- asymetryczność (ang. *asymmetric*)
- przechodniość (ang. *transitive*)
- spójność (ang. *total*).

Relacja funkcjonalna posiada swój unikatowy (globalny) logogen, warunki (czyli podstawę na jakiej można ją stworzyć), właściwości (wybrane z powyżej przedstawionych) oraz odniesienia do spostrzeżeń, pomiędzy którymi zachodzi. Zapisujemy ją w postaci:

$$\rho^f_{logogen} \triangleq \{cond; prop; \Lambda(\alpha), \Lambda(\beta)\} \tag{4.25}$$

gdzie $r(logogen) = r \in \mathcal{N}$, dzięki czemu można zapisać relację w sposób naturalny $\Lambda(\alpha)\ \rho^f_r\ \Lambda(\beta)$ lub odnosząc się bezpośrednio do spostrzeżeń (poprzez indeksy i strukturę spostrzeżenia) $\Gamma_\alpha\ \rho^f_{logogen}\ \Gamma_\beta$. Z kolei *cond* stanowi zbiór zjawisk (spostrzeżeń, zdarzeń i relacji) warunkujących daną relację, *prop* określa właściwości relacji (wg ww. teorii), $\Lambda(\alpha)$ jest indeksem spostrzeżenia o logogenie α, natomiast $\Lambda(\beta)$ indeksem spostrzeżenia o logogenie β. Tak przedstawioną notację można zapisać w postaci $\Gamma^i_{Jacek}\ likes\ \Gamma^i_{Agatka}$, gdzie relacja $\rho^f_{likes} = likes$ jest relacją funkcjonalną zapisaną (wraz z odpowiednimi cechami) w pamięci agenta.

Przykładowo, '*Jacek likes Agatka*' jest relacją wtórną ρ^f_{likes} pomiędzy spostrzeżeniami Γ^i_{Jacek} i Γ^i_{Agatka}, stworzoną w systemie ISD (mechanizm autystyczny) poprzez oparcie jej na częstym uśmiechaniu się Agatki do Jacka (efekt wielokrotnego wystąpienia zdarzenia uśmiechu). Relację taką można zdefiniować jako:

$$\rho^f_{likes} = likes \triangleq \left\{ \begin{array}{c} cond = \{\Gamma_{Agatka_smile}, \ldots\}; \\ prop = \{antireflexive, ...\}; \Lambda(Jacek), \Lambda(Agatka) \end{array} \right\} \tag{4.26}$$

[3]Mowa o Tomku oraz domu jako określonych instancjach.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie Γ_{Agatka_smile} oznacza tymczasowy stan (powiązany z trybem czasowym T) uśmiechu spostrzeżenia 'Agatka'.

4.1.4. Ścieżka informacji

Ścieżka pomiędzy odbiorem bodźców a decyzją (dotyczącą jakiejkolwiek reakcji agenta) podzielona jest na kilka etapów (rys. 4.19). Najpierw dane są zbierane przez mechanizmy postrzegania zmysłowego – czyli zachodzi percepcja sensoryczna (rys. 4.1), która odbiera bodźce z sensorów odpowiedzialnych za poszczególne *zmysły*. Percepcja sensoryczna agenta zachodzi w dwóch etapach (jak u człowieka), związanych z bodźcami dalekimi (rzeczywistymi obiektami reprezentowanymi jako bodźce) i proksymalnymi (odbicie bodźców na sensorach – czasem lustrzane, jak w przypadku kamery). Bodźce proksymalne zapisywane są w pamięci sensorycznej (buforach sensorów). Mechanizmy detekcji sensorycznej operujące na danych zapisanych w pamięci sensorycznej potrafią rozpoznawać konkretne wrażenia: kształty, kolory, kontury, tekstury, itp.

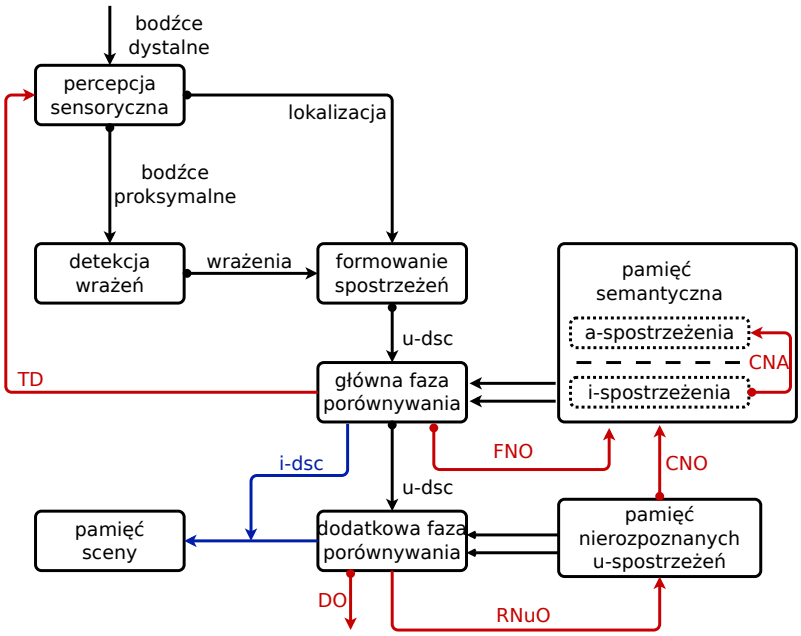
Rozpoznane wrażenia są grupowane według ich lokalizacji w przestrzeni. Złożenie wrażeń zlokalizowanych blisko siebie w konkretnym miejscu może być podstawą nierozpoznanego spostrzeżenia (u-spostrzeżenie). Należy pamiętać, że grupowanie ze względu na lokalizację nie jest ani tak dokładne, ani tak istotne, aby uznać, że dane wrażenia składają się na jakieś jedno spostrzeżenie. Proces rozpoznawania spostrzeżenia polega na przeszukiwaniu części drzewa abstrakcyjnych spostrzeżeń (w części pamięci semantycznej[4]) pod kątem zgodności rozpoznanych wrażeń u-spostrzeżenia. Nie trzeba przeszukiwać całego drzewa. Stąd też w pamięci krótkotrwałej[4] zapisywane są tylko wskaźniki (adresy) fragmentów drzewa, którego elementy biegną w kierunku najlepszego dopasowania. Innymi słowy, gdy drzewo spostrzeżeń abstrakcyjnych (np. rys. 4.18) jest podzielone w pewnym miejscu ze względu na obecność jednego wrażenia (np. 'czułe'), które występuje w spostrzeżeniu hipotetycznym, sprawdzane są tylko elementy dziedziczące to wrażenie (w przypadku przykładu 'zwierzę' – reszta elementów drzewa nie musi i nie jest brana pod uwagę.

Kiedy podobieństwo (4.21) u-spostrzeżenia ze spostrzeżeniami z pamięci krótkotrwałej jest większe od określonego progu (τ_{Γ^i}), spostrzeżenie to jest oznaczane jako rozpoznane. W przypadku kiedy rozpoznawane spostrzeżenie nie jest podobne do żadnego spostrzeżenia w pamięci krótkotrwałej, generowany jest sygnał FNO (*Fetch New Objects*), zapisujący nową porcję adresów spostrzeżeń z pamięci długotrwałej[4] (nowy kawałek drzewa) w pamięci krótkotrwałej. Po rozpoznaniu obiektu, spostrzeżenie to jest przenoszone do pamięci sceny[4] (gdzie przedstawiane jest aktualne zdarzenie). Opisany proces, w szczególności formowanie i rozpoznawanie u-spostrzeżeń, można nazwać sub-procesem oddolnym (*bottom-up*) procesu percepcji.

Detekcja wrażeń i spostrzeżeń stanowi oddolną część procesu rozpoznawania spostrzeżeń, czyli ścieżki informacyjnej. Odgórna część tego procesu (*top-down*) ma na celu przeszukiwanie pamięci agenta w poszukiwaniu najbardziej prawdopodobnych spostrzeżeń w aktualnym kontekście. Proces ten stara się skierować *zmysły* (z pewnym udziałem procesów uwagi i myślenia) na wyszukiwanie odpowiednich wrażeń uzupełniających luki w hipotetycznych spostrzeżeniach (sygnał TD – *Top-Down*). Innymi słowy, odgórny proces rozpoznawania polega na wyszukiwaniu wrażeń, które spełniają założenia najbardziej prawdopodobnych spostrzeżeń. Przykładowo, obiektem rzeczywistym jest kubek, natomiast dane sensoryczne wykrywają wrażenia: 'cylinder' (pierwotne) i 'ucho' (złożone, gdyż nie jest to prosty kształt trójwymiarowy). Proces odgórny zakłada najbardziej podobne spostrzeżenie: 'kubek', po czym stara się skierować receptory tak, aby sprawdzić, czy cylinder jest pusty w środku.

[4]Wszystkie typy pamięci, w tym wspomniane tutaj: semantyczna, sceny, krótkotrwała i długotrwała zostały opisane w dalszej części pracy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.19 Ścieżka informacji w ISD. Niebieska linia oznacza rozpoznane spostrzeżenie (i), zaś linie czerwone pokazują sygnały sterujące (TD, FNO, CNO, CNA, DO, RNuO).

Spostrzeżenia nierozpoznane w głównej fazie porównywania, przechodzą dodatkową fazę porównywania (blok na rys. 4.19), w której agent porównuje aktualnie rozpoznawane u-spostrzeżenie do wcześniej dostrzeżonych, ale nierozpoznanych obiektów – u-spostrzeżeń, które nie zostały (jeszcze) przeniesione do drzewa pamięci semantycznej instancyjnej[4]. W przypadku wystarczającego podobieństwa (4.21) pomiędzy u-spostrzeżeniem, a spostrzeżeniem z pamięci nierozpoznanych spostrzeżeń, wzrasta liczba wystąpień tego spostrzeżenia. Jeśli nie stwierdzono zgodności (podobieństwo pomiędzy spostrzeżeniami nie przekracza progu $\tau_{!RNuO}$), proces percepcji tworzy w pamięci nierozpoznanych spostrzeżeń nowe (nadal nierozpoznane, tymczasowe) u-spostrzeżenie i generuje sygnał RNuO (*Remember a New unrecognized Object*).

Gdy liczba wystąpień tymczasowego spostrzeżenia osiągnie ustalony poziom (τ_{CNO}), spostrzeżenie to jest traktowane jako nowe i-spostrzeżenie, które następnie przeniesione zostaje do pamięci semantycznej wraz z wygenerowaniem sygnału CNO (*Create New Object*). Podczas tego procesu spostrzeżenie otrzymuje nazwę/etykietę (quasi-świadomie) utworzoną przez proces myślenia. Podobny mechanizm przedstawia sygnał CNA, podczas myślenia autystycznego, w przypadku wykrycia wielu obiektów które można w pewien sposób uogólnić tworzone jest nowe spostrzeżenie abstrakcyjne.

Niektóre analizowane spostrzeżenia mogą zawierać wrażenia niespójne ze sobą (np. *zlanie się* dwóch obiektów w jeden), przez co spostrzeżenie takie nie zostaje rozpoznane. W takim przypadku spostrzeżenie jest odrzucane wraz z wygenerowaniem sygnału DO – *Drop Object*. Sygnał ten zwraca uwagę agenta na nierozpoznany obiekt (co może skutkować np. bliższemu przyjrzeniu się danemu obiektowi), a także generuje emocje związane z nierozpoznaniem obiektu.

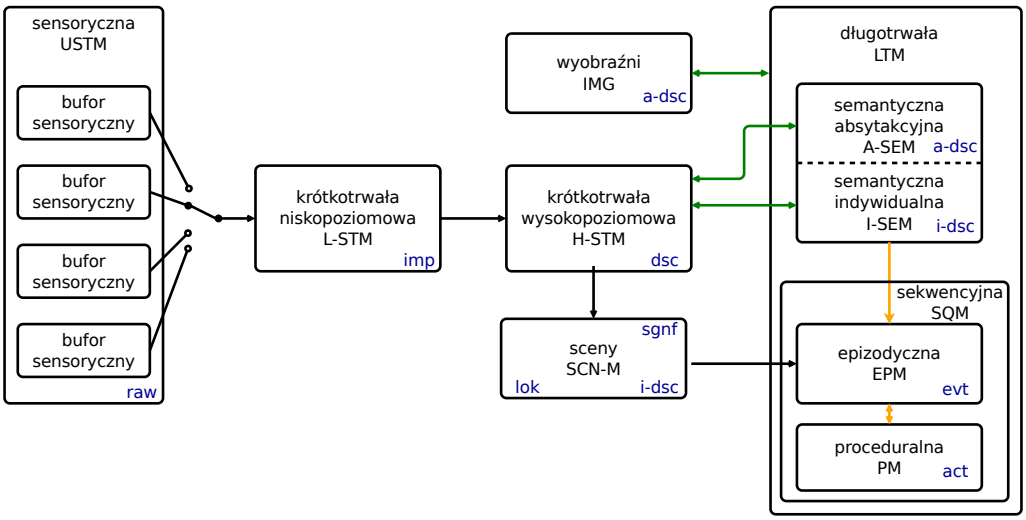
4.2 Model pamięci

Ze względu na czas dostępu do pamięci oraz biorąc pod uwagę jej klasyczny podział (sekcja 2.1.3.1), w modelu ISD zostały wyróżnione następujące rodzaje pamięci:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- sensoryczna (USTM), czyli wewnętrzny bufor używanych przez system czujników, np. bufor kamery, żyroskopu, itp.
- krótkotrwała niskiego poziomu (L-STM), będąca tymczasowym magazynem przechowującym aktualne wrażenia (*imp*) postrzegane przez agenta; pamięć ta jest buforem pomiędzy pamięcią sensoryczną a rozpoznanymi obiektami
- krótkotrwała wysokiego poziomu (H-STM), która z kolei buforuje spostrzeżenia (*dsc*), zanim zostaną one rozpoznane
- sceny (SCN-M), która ma na celu modelowanie aktualnego otoczenia/przestrzeni agenta w postaci instancji spostrzeżeń (*i*) wraz z ich ważnością (*sgnf*) i lokalizacją (*lok*)
- wyobraźni (IMG), dzięki której agent może *wirtualnie* zmieniać scenę, przewidywać skutki reakcji i innych wydarzeń
- długotrwała (LTM), czyli magazyn wiedzy semantycznej, podzielonej na:
  - abstrakcyjną (A-SEM), zawierającą drzewo a-spostrzeżeń
  - instancyjną (I-SEM) złożoną z instancji spostrzeżeń
  - sekwencyjną (SQM), na który składają się procedury (PM) i epizody (historia) agenta (EPM).

Zaprezentowany powyżej podział widoczny jest częściowo (STM i LTM) na rys. 2.2, oraz dokładniej i precyzyjniej na rys. 4.20.



Rysunek 4.20 Model pamięci agenta, przepływy oraz typy danych w systemie ISD: czarne strzałki symbolizują przepływ informacji, pomarańczowe odniesienia, zaś zielone wymianę informacji; niebieski tekst w rogach oznacza typ danych przechowywanych przez odpowiedni rodzaj pamięci (raw – surowe dane, imp – wrażenia, dsc – spostrzeżenia, i – indywidualne spostrzeżenia, a – abstrakcyjne spostrzeżenia, lok – lokalizacja, sgnf – ważność, evt – zdarzenie, act – akcje).

Surowe dane (raw data) zbierane przez bufory sensoryczne (USTM) są przetwarzane do postaci wrażeń (imp), a następnie przekazywane do niskopoziomowej pamięci krótkotrwałej (L-STM). Następnie wrażenia są przetwarzane do postaci spostrzeżeń (dsc) i zapisywane w wysokopoziomowej pamięci krótkotrwałej (H-STM). Następnie są one tam porównywane ze spostrzeżeniami z obu pamięci semantycznych: abstrakcyjnej (A-SEM) i instancyjnej (I-SEM). Po rozpoznaniu, instancje spostrzeżeń (i), wraz z lokalizacją w przestrzeni (lok) oraz wstępnie nadaną wagą (sgnf) zapisywane są w pamięci sceny (SCN-M). Po pewnym czasie pamięć sceny – a przynajmniej jej ważniejsze elementy – zapisywana

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

jest w pamięci epizodycznej (EPM) w postaci zdarzeń (evt), na które składają się obiekty wraz z ich lokalizacją i wagą oraz akcje (act) ich dotyczące. Definicje akcji przechowywane są w pamięci proceduralnej (PM), zaś definicje obiektów w pamięci semantycznej (A-SEM, I-SEM). Pamięć epizodyczna i proceduralna składają się na pamięć sekwencyjną (SQM), która razem z pamięcią semantyczną tworzy pamięć długotrwałą (LTM).

4.2.1. Pamięć sensoryczna

Pamięć sensoryczna, w przypadku zrobotyzowanego, odpowiednio wyposażonego agenta, może być zrealizowana poprzez bufory na wejściach sensorycznych. W wielu sensorach (np. kamerach) bufor pamięciowy stanowi element wbudowany. Warto tu wspomnieć, że pamięć ultra-krótkotrwała u człowieka działa na zasadzie przerzutników (bodziec-zatrzask). Informacja sensoryczna jest w niej przechowywana do momentu otrzymania nowych bodźców lub wygaszenia poprzedniego bodźca.

W przypadku bardzo dużej liczby czujników (tego samego typu) można wprowadzić rozwiązanie polegające na dodatkowym buforowaniu lub hierarchizacji pewnych stref. Na przykład, najpierw przesyłana jest informacja, w której strefie coś się dzieje, a następnie informacja, który sensor dostarczył bodziec. Kiedy dane z sensorów są pobierane synchroniczne (np. z dwóch kamer) należy skorzystać albo z zegara systemowego (wyzwalającego pobieranie), albo z dodatkowego bufora przechowującego dane z obu sensorów (oczekującego na cały zestaw danych do dalszego przesłania). Podobnie należy postąpić, gdy wszystkie dane z sensora mają jednakowe znaczenie i system nie może utracić żadnej ramki (Metta *et al.*, 2006). W przypadku istotności danych aktualnych można posłużyć się pamięcią bębnową lub bramką czasową.

Najważniejszym aspektem powiązanym z pamięcią sensoryczną jest filtracja uzyskanych sygnałów (bodźców proksymalnych). Filtracja ta związana jest z procesem selekcji 1-go rzędu (jest to jeden z aspektów uwagi, szerzej opisany w sekcji 2.1.2.1). Głównym jej zadaniem jest przepuszczanie do dalszego przetwarzania tylko istotnych danych. Selekcja 1-go rzędu umożliwia przełączanie pomiędzy odpowiednimi kanałami zmysłowymi. Decyduje też o tym, które sygnały (w odniesieniu do konkretnych zmysłów oraz ich stref) są przekazywane do dalszego przetwarzania.

Na zasadzie bramkowania, analizowane sygnały lub wydzielone z nich części (skojarzone ze strefami), które aktualnie nie zmieniają się (jak tło w przypadku obrazu z kamery), po wstępnej analizie, nie są powtórnie przetwarzane. Zatem do dalszego przetwarzania przekazywane są tylko i wyłącznie innowacje (nowe dane) z sensorów. W skrócie zjawisko to można opisać jako odejmowanie szeroko pojętego tła (zarówno wizualnego, dźwiękowego, jak i inno-zmysłowego). Użycie zasady bramkowania, zgodnie z filtrem Broadbenta (sekcja 2.1.2.1; Broadbent i Gregory, 1964), umożliwia znaczne obniżenie obciążenia zasobów obliczeniowych.

4.2.2. Pamięć krótkotrwała

Pamięć krótkotrwała w ISD spełnia funkcję bufora pomiędzy aktualnie przetwarzanymi-/rozpoznawanymi obiektami a pamięcią długotrwałą. Ze względu na sposób reprezentacji wiedzy w ISD w pamięci krótkotrwałej wyróżnić można pamięć niskopoziomową (służącą do przechowywania wrażeń) i wysokopoziomową (wykorzystywaną do rozpoznawania spostrzeżeń).

Niskopoziomowa pamięć krótkotrwała (L-STM) odpowiada za przechowywanie wykrytych wrażeń wraz z ich lokalizacją w przestrzeni. Dzięki powiązaniu wrażenia z lokalizacją w przestrzeni, możliwe jest (w dalszych fazach) grupowanie wrażeń do postaci spostrzeżeń. Przy zapisie do pamięci niskopoziomowej wrażenia są dodatkowo analizowane pod kątem korelacji z wcześniej nauczonymi wzorcami. Jest to tzw. oznaczanie wrażeń w celu wykonania *reakcji nieświadomej*. Reakcja taka odnosi się do kolejnego filtru uwagi (sekcja 2.1.2.1;

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Treisman, 1960). Bodźce oznaczane jako potencjalnie niebezpieczne, które przekraczają pewien poziom graniczny i generują wrażenie o dużej intensywności, wymagają natychmiastowej reakcji. W przypadku sensorów bliskich (proksymalnych) poziom ten jest w zasadzie stały, natomiast w przypadku sensorów dalekich (dystalnych) poziom zwykle zależy od mocy sygnału tła.

Na takie wrażenia system zwykle odpowiada reakcją, która wydaje mu się najbezpieczniejsza. Jest nią ucieczka, gwałtowne wycofanie się (całego *ciała* robota lub jego części). Można tu wyszczególnić następujące reakcje:

- powrót do bazy (np. ze względu na wykryte uszkodzenie),
- powrót do poprzedniej pozycji z powodu utraty kontaktu (zerwanie połączenia z powodu zakłócenia środowiskowego),
- cofnięcie kroku robota na podstawie wrażenia dużego oporu na sensorach (np. wykrytego przez kontaktron, czy tensometr),
- cofnięcia akcji robota na podstawie przekroczenia zakresu pewnych instrumentalnych/diagnostycznych wielkości (np. temperatury),
- tryb oszczędny, np. zmniejszenia liczby działających silników ze względu na gwałtowny spadek napięcia.

Szczególnym przypadkiem działania 'nieświadomego' jest reakcja na błąd percepcji (sygnał DO na rys. 4.19 lub pomyłka podczas rozpoznawania obiektu), która polega na odsunięciu się od pomylonego lub nierozpoznanego obiektu.

Pamięć krótkotrwała wysokiego poziomu (H-STM) służy porównywaniu spostrzeżeń. Agent przechowuje w niej 'nieznane spostrzeżenia', które zostały uformowane we wcześniejszych fazach procesu percepcji (sekcja 4.1.4) oraz zapisuje w niej adresy spostrzeżeń referencyjnych (typu i-, oraz a-) z pamięci długotrwałej, które służą do porównywania: najpierw spostrzeżenia wysoko abstrakcyjne, a następnie coraz bardziej uszczegóławiające, aż do spostrzeżeń indywidualnych. Zapisywanie adresów spostrzeżeń z semantycznej pamięci długotrwałej odbywa się na podstawie estymowanego podobieństwa pomiędzy nierozpoznanymi spostrzeżeniami a spostrzeżeniami z pamięci długotrwałej.

Dodatkowo pamięć H-STM umożliwia porównywanie nieznanych spostrzeżeń z wcześniej zapamiętanymi, aczkolwiek jak dotąd nierozpoznanymi i nienazwanymi obiektami. Pamięć H-STM pełni także rolę bufora dla zapisu (bądź aktualizacji) spostrzeżeń w pamięci długotrwałej (sygnały *Create New Object*, *Create New Abstract*).

Najważniejszym aspektem uwagi powiązanym z pamięcią krótkotrwałą wysokiego poziomu jest selekcja wtórna, czyli nadanie priorytetów rozpoznanym spostrzeżeniom. Proces ten ma miejsce przy przenoszeniu rozpoznanych spostrzeżeń z pamięci H-STM do pamięci sceny. Nowo rozpoznane spostrzeżenia, które zmieniają się dynamicznie, otrzymują wysoki priorytet (głównie obiekty o trybie czasowym T). Analogicznie rzecz się ma w przypadku zaskakującej dla agenta zmiany sceny (np. gdy spostrzeżenie dotyczy obiektu ruchomego, który niespodziewanie zmieni trajektorię, która będzie inna niż szacowana przez agenta). Kiedy rozpoznane spostrzeżenia są absurdalne, skomponowane z przeciwieństw lub też oznaczone jako potencjalnie niebezpieczne (w pamięci długotrwałej), proces selekcji wtórnej oznacza je jako ważne.

Ze względu na złożoność procesów przetwarzania informacji z sensorów nie należy ograniczać pamięci krótkotrwałej do liczby Millera (sekcja 2.1.3.3; Miller, 1956). Pamięć niskopoziomowa L-STM powinna mieć dużą pojemność ze względu na odbieranie wielkiego zbioru wrażeń. Ze względu na złożoność obliczeniową, liczba elementów pamięci wysokopoziomowej nie powinna przekraczać pewnego progu (ogólnie projektant systemu musi dbać o ograniczenie pamięci krótkotrwałej). Liczba Millera sugeruje maksymalną liczbę aktualnie rozpoznawanych spostrzeżeń, zaś pozostałą pojemność pamięci powinny zajmować adresy spostrzeżeń niezbędnych przy rozpoznawaniu. Liczba Millera powinna mieć

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

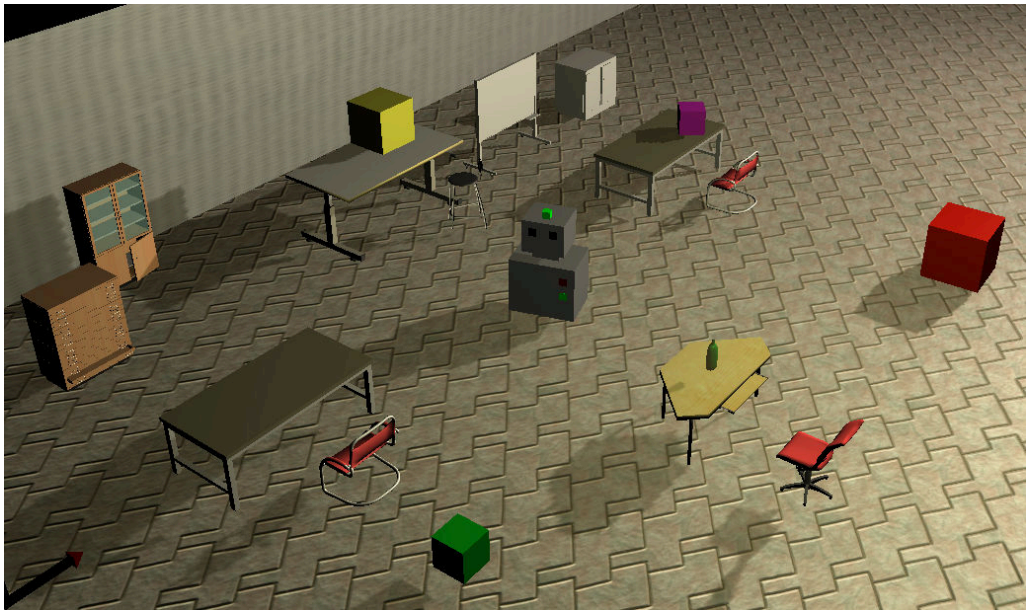
także wpływ na priorytet spostrzeżeń znajdujących się w pamięci sceny, co oznacza, że maksymalnie 7 ± 2 elementów może uzyskać wysoki priorytet.

4.2.3. Pamięć sceny

W pamięci sceny przechowywana jest reprezentacja przestrzenna aktualnego otoczenia agenta. Otoczenie jest zapisywane w postaci mapy, w której w odpowiednich miejscach znajdują się rozpoznane obiekty, natomiast centralnym punktem jest sam agent. Obiekty w pamięci sceny reprezentowane są przybliżonym kształtem, tzw. *bounding box*, czyli otoczeniem (obwiednią) w postaci graniastosłupa wraz odpowiednim opisem semantycznym pobranym z pamięci długotrwałej. Wśród obiektów znajdujących się w pamięci sceny można wyróżnić obiekty statyczne (nieruchome, w trybie M) oraz dynamiczne (mające tryb czasowy P lub T oraz będące w odpowiedniej kategorii). Obiekty dynamiczne w pamięci sceny oprócz obwiedni posiadają estymowany kierunek ruchu. Na podstawie danych o położeniu obiektów statycznych i dynamicznych oraz ich obwiedni i kierunku ruchu, agent jest w stanie wyznaczyć bezkolizyjną trajektorię ruchu pomiędzy obiektami (jest to typowe zadanie w robotyce).

Każdy z obiektów znajdujących się w pamięci sceny połączony jest z jego odpowiednikiem znajdującym się w instancyjnej pamięci semantycznej, dzięki czemu agent dokładnie wie, w jakim stopniu może podjąć z nim interakcję (np. chwycić odpowiedni obiekt).

Przykładową pamięć sceny[5] (patrząc z zewnątrz) przedstawiono na rys. 4.21. W samym centrum widać robota, natomiast dookoła niego przedstawione są różne obiekty statyczne (uproszczone). Pamięć sceny (z punktu widzenia robota) przedstawiono rys. 4.22.

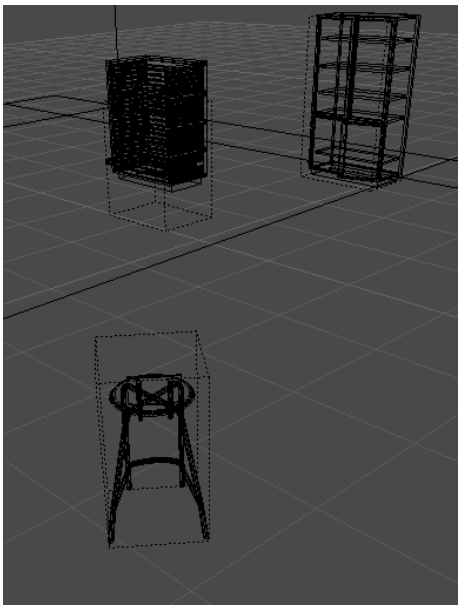


Rysunek 4.21 Przykładowa zawartość pamięci sceny (widziana przez człowieka).

Każdy element w pamięci sceny posiada nadawaną i zmienianą w czasie wartość ϱ^{sgfn}, oznaczającą stopień uwagi agenta przypisywanej danemu obiektowi. Suma wszystkich stopni uwagi w pamięci sceny jest równa 100% (tzn ich całkowita liczba jest normowana). W ten sposób każdy nowy element zapisywany w pamięci sceny zmniejsza (względnie) stopień uwagi każdego z innych elementów. Funkcja wyznaczająca stopień uwagi jest opisana w sekcji 4.3.3.

[5]Mapa pamięci sceny została wygenerowane w środowisku MORSE.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.22 Przykładowy wycinek pamięci sceny z obwiedniami obiektów.

4.2.4. Pamięć wyobraźni

Pamięć wyobraźni jest w ogólności rozbudowaną kopią pamięci sceny, na której agent może swobodnie rozgrywać własne akcje, niezależnie od rzeczywistego środowiska. Pamięć wyobraźni ma na celu symulację rzeczywistego środowiska oraz wparcie predykcyjne akcji agenta lub innych obiektów.

Oprócz abstrakcyjnych reprezentacji obiektów (również w postaci obwiedni) pamięć wyobraźni posiada następujące mechanizmy symulacji:

- siły działające na obiektu (możliwa do modyfikacji przez agenta, dzięki czemu może on przewidywać zachowanie się obiektu)
- przyspieszenie lub spowolnienie ewolucji obiektu w czasie (dzięki czemu agent może obserwować, jak się zmieniają pewne obiekty)
- modyfikowanie sceny; agent może dodawać, usuwać, przesuwać i obracać spostrzeżenia w pamięci
- modyfikowanie spostrzeżeń, poprzez zmianę ich wrażeń (agent może kreować wygląd obiektów).

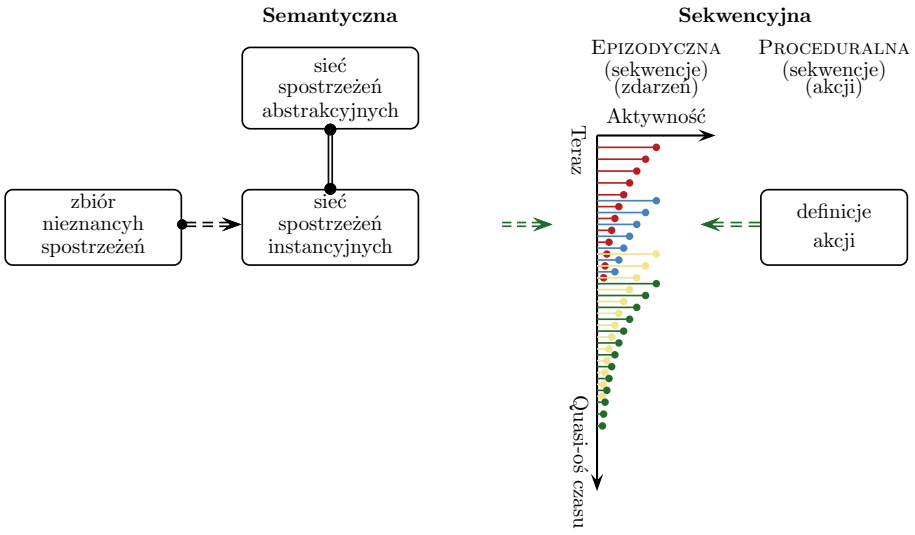
4.2.5. Pamięć długotrwała

W pamięci długotrwałej ISD wyróżnia się pamięć semantyczna i sekwencyjną (rys. 4.20). Pamięć semantyczna zawiera wiedzę, czyli definicje obiektów i (pierwotne) relacje między nimi. Dzięki temu obiekty mogą być identyfikowane przez agenta. W pamięci sekwencyjnej wyróżnia się pamięć epizodyczną oraz proceduralną. Pamięć proceduralna zawiera ciągi zaprogramowanych akcji (sekwencji zachowań).

Pamięć epizodyczna obejmuje wszystkie zdarzenia, których doświadczył agent, umieszczone na quasi-osi czasu. Są one oznaczone jako te co się wydarzyły wcześniej lub później, bez specyficznego i dokładnego oznaczenia czasu, bardziej jako pewna sekwencja (opisująca fakt, że jakieś zdarzenie wydarzyło się po jakimś innym, a przed jeszcze innym). Pojedyncze zdarzenie opisane jest jako sekwencja znanych agentowi akcji z udziałem obiektów (spostrzeżeń) i relacji między spostrzeżeniami. Pamięć epizodyczna łączy w określony sposób elementy z pamięci semantycznej oraz proceduralnej, umożliwiając zapamiętywanie epizodów (zdarzeń).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Model pamięci długotrwałej wraz z jej szczegółowym podziałem i mechanizmem zapominania zdarzeń w pamięci epizodycznej przedstawia rys. 4.23.



Rysunek 4.23 Model pamięci długotrwałej.

Przyjęta klasyfikacja pamięci długotrwałej odnosi się do podziału Squire'a (1992) i Tulvinga (1985). U Squire'a pamięć długotrwała podzielona jest na deklaratywną (fakty i zdarzenia) oraz nie-deklaratywną (umiejętności, uczenie bądź warunkowanie). W zastosowanym w ISD podziale, pamięci deklaratywnej odpowiada pamięć długotrwała, zaś pamięć nie-deklaratywną reprezentują mechanizmy uczenia (w ramach myślenia). Natomiast model pamięci Tulvinga został zachowany, jednakże pamięć epizodyczna łączy elementy pamięci proceduralnej i semantycznej (co przeczy założeniu Tulvinga o ich ścisłym rozdziale).

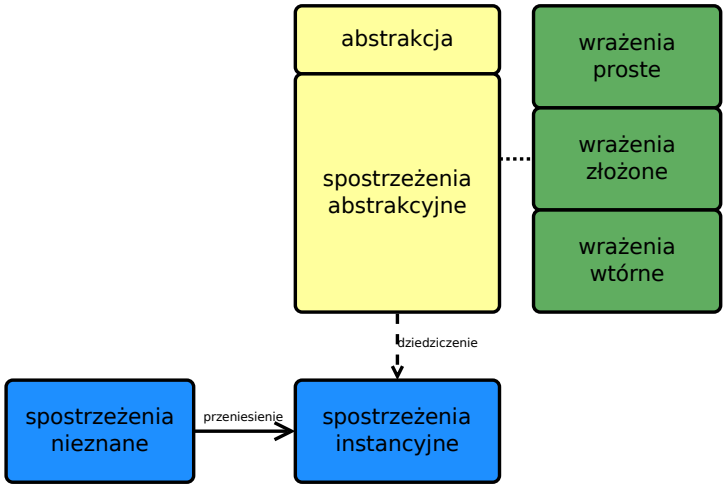
4.2.5.1. Pamieć semantyczna

Pamięć semantyczna odpowiada za wszelkiego rodzaju definicje (znaczenia): spostrzeżeń indywidualnych, abstrakcyjnych, nieznanych (niezapisanych), a także wrażeń prostych i złożonych. Można w niej wydzielić obszary odpowiadające za przechowywanie wyżej wymienionych elementów. Pamięć semantyczną dzieli się ze względu na możliwość zapisu. Jedynie wrażenia proste i spostrzeżenia o najwyższym stopniu abstrakcji są niezmienne (część stała pamięci semantycznej). W części pamięci semantycznej odpowiadającej za ich przechowywanie możliwy jest tylko odczyt. Pozostałe elementy są przechowywane w zmiennej części pamięci semantycznej (w której możliwy jest również zapis). Szczegółowy podział pamięci semantycznej przedstawiono na rys. 4.24.

Najważniejsza cześć pamięci semantycznej składa się z dwóch, połączonych między sobą relacjami dziedziczenia, sieci semantycznych opisujących spostrzeżenia abstrakcyjne i indywidualne. Korzystając z terminologii używanej w ontologii[6], a w szczególności dotyczącej logiki opisowej (*Description Logic*), sieć zawierająca spostrzeżenia abstrakcyjne to T-Box (*Terminological Box*), z kolei sieć ze spostrzeżeniami indywidualnymi to A-Box (*Assertional Box*) (Baader, 2003). Wiedza w nich zawarta jest niezbędna do poprawnego rozpoznania obiektu oraz używania go w dalszych, złożonych operacjach umysłowych (np. wyobraźni). Abstrakcyjna pamięć semantyczna przechowuje spostrzeżenia opisujące kate-

[6]Ontologia to formalnie przedstawione nazewnictwo, rodzaje, właściwości oraz wzajemne powiązania (relacje) podmiotów.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.24 Szczegółowy podział pamięci semantycznej. Kolorem zielonym zaznaczone wrażenia proste (tylko do odczytu), złożone (połączone z odpowiadającymi im spostrzeżeniami abstrakcyjnymi) oraz wtórne (funkcjonalne). Kolorem żółtym oznaczone są abstrakcyjne spostrzeżenia, natomiast niebieskim instancyjne (dziedziczące po abstrakcyjnych) i nieznane (które mogą stać się instancjami).

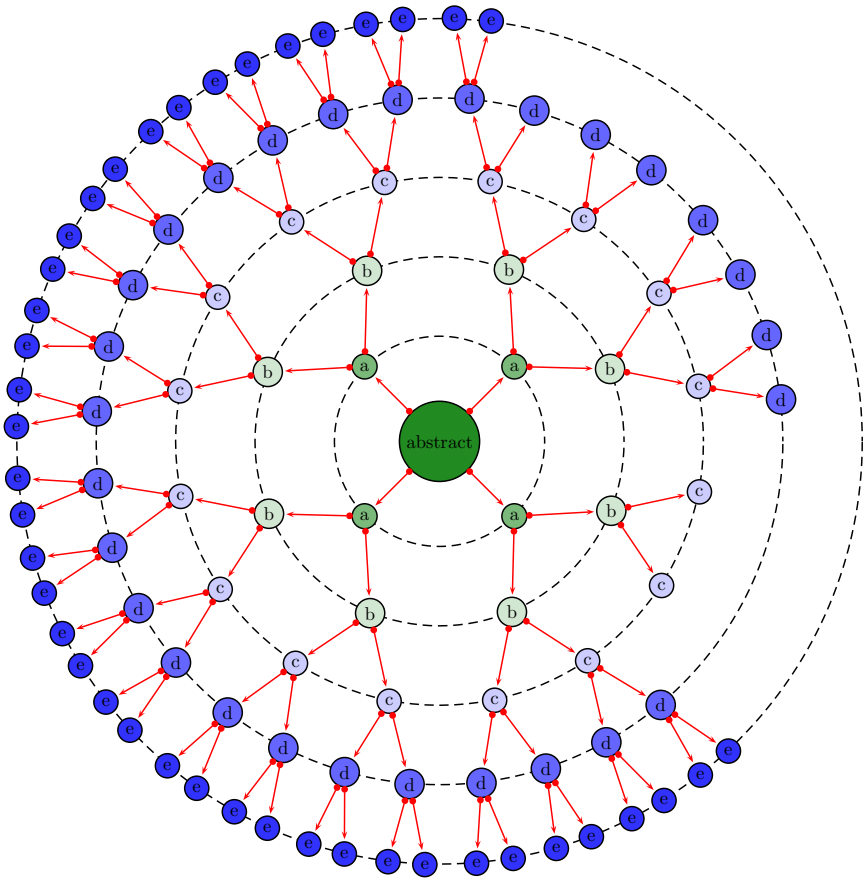
gorie obiektów, począwszy od najbardziej ogólnych, a skończywszy na bardzo szczegółowych, po których dziedziczą wszystkie instancje obiektów (spostrzeżenia indywidualne).

Uproszczony model abstrakcyjnej pamięci semantycznej (tylko relacje dziedziczenia) można przedstawić za pomocą pierścieni o wspólnym środku, gdzie odległość od środka oznacza coraz większe konkretyzowanie obiektów/spostrzeżeń, natomiast sam środek reprezentuje byt abstrakcyjny (rys. 4.25). Z kolei do najbardziej konkretnych abstrakcyjnych spostrzeżeń (tych o największym promieniu w danej gałęzi) 'podpięta' jest relacja dziedziczenia, która łączy abstrakcyjne spostrzeżenie (pamięć A-SEM) z jego instancjami (czyli pamięcią I-SEM). Każde abstrakcyjne spostrzeżenie (def. 4.6 posiada (rys. 4.17):

- unikatową etykietę, nadaną przez agenta lub zaprogramowaną wcześniej
- listę wrażeń pierwotnych i złożonych, odróżniających dane spostrzeżenie od innych (np. rozgałęzionych poziom wyżej); w niektórych przypadkach wrażenie pierwotne może mieć nieokreśloną wartość (np. do spostrzeżenia przypisane jest tylko wrażenie koloru uzyskujące konkretną wartość dopiero w instancji)
- wrażenia funkcjonale (opcjonalnie), które świadczą o wpływie instancji dziedziczącej; wśród wrażeń wtórnych można wyróżnić kontekst emocjonalny (sub-emocje), kontekst motywacyjny (wpływ na potrzeby), wrażenie trybu czasowego (MPT), ewolucji czasowej (fazy) oraz kategorii
- listę relacji z innymi spostrzeżeniami abstrakcyjnymi i indywidualnymi (wraz z najważniejsza relacją – dziedziczenia).

Sieć semantyczna zapisana w pamięci A-SEM może być nieregularna. Zjawisko to spowodowane może być różną długością gałęzi poprowadzonych od abstraktu do najbardziej specyficznych, ale wciąż abstrakcyjnych spostrzeżeń. Regularność sieci zależy od możliwości uogólniających agenta (aspekt myślenia autystycznego) oraz liczby poznanych obiektów, z których można utworzyć abstrakcyjną kategorię. Przykładowo: w pewnym praktycznym zastosowaniu w gałęzi 'roślina' wyróżnia się gałąź 'drzewo' (i dalej abstrakcyjną definicję 'sosna') oraz wprowadza abstrakcyjną definicję 'ziemniak', który (w przybliżeniu) jest rośliną. Stąd długość gałęzi 'sosna', może być inna niż 'ziemniak'.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.25 Uproszczony, schematyczny model abstrakcyjnej pamięci semantycznej A-SEM. Czerwone strzałki oznaczają relację dziedziczenia, natomiast zielone węzły przedstawiają ustaloną (niezmienną) część pamięci A-SEM (nieregularność przykładowej sieci wyraża się zdefiniowaniem wielu obiektów przynależnych do lewej części sieci.

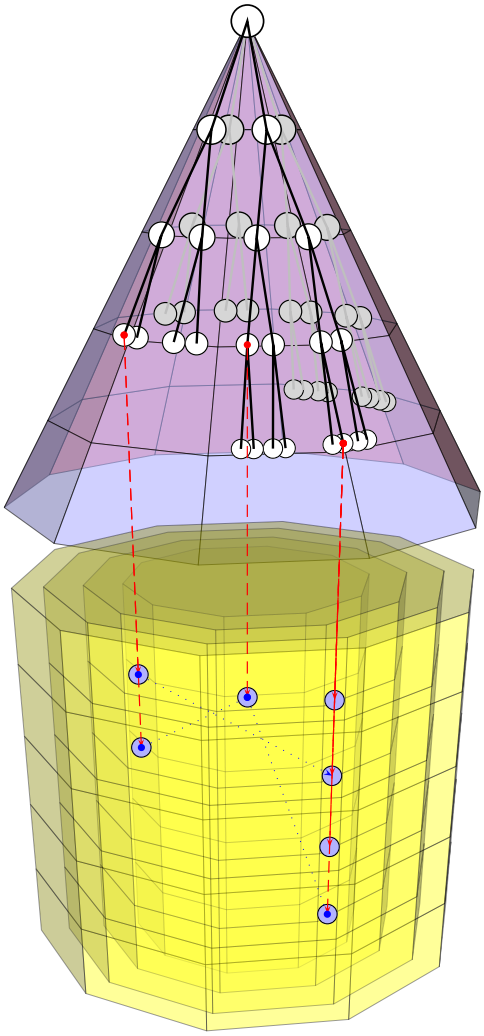
Dzięki zdolności agenta do uogólniania podczas myślenia autystycznego tworzone są wrażenia złożone, oparte bezpośrednio na spostrzeżeniach abstrakcyjnych oraz ich detektory. Agent rozpoznając wrażenie złożone nie musi sięgać do jego definicji, czyli spostrzeżenia abstrakcyjnego. Obiekt, którego dotyczy wrażenie złożone, podlega klasycznie dalszemu rozpoznawaniu przy użyciu pamięci indywidualnej. Przykładowo: obiekt 'Stefan' został rozpoznany przy użyciu wrażenia wtórnego 'człekokształtny', co może prowadzić do abstrakcyjnego spostrzeżenia 'człowiek', następnie przeszukiwana jest pamięć indywidualna dotycząca tylko znanych ludzi, w kolejności zależnej od stopnia aktywności, który mówi o tym jak często dane spostrzeżenie było w użyciu. Dzięki takiej operacji możliwe jest szybkie rozpoznanie znanych i często spotykanych obiektów.

Abstrakcyjna pamięć semantyczna jest reformowana podczas procesów myślenia autystycznego. Uogólniane i grupowane są wtedy nowe spostrzeżenia indywidualne dzięki czemu powstają nowe spostrzeżenia abstrakcyjne. Dodatkowo tworzone są również wrażenia złożone (w zależności od liczby wystąpień danych spostrzeżeń abstrakcyjnych).

Model pamięci semantycznej można również przedstawić jako pewnego rodzaju stożek (rys. 4.26). Wszystkie spostrzeżenia (abstrakcyjne) znajdują się na powierzchni stożka, podczas gdy jego wnętrze wypełnione jest przez relacje pomiędzy spostrzeżeniami abstrakcyjnymi (inne niż relacja dziedziczenia). Z kolei indywidualna pamięć semantyczna może zostać przedstawiona za pomocą walców, w których promień danego spostrzeżenia

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

indywidualnego odpowiada promieniowi spostrzeżenia abstrakcyjnego, po który dziedziczy. Z kolei położenie obiektu na powierzchni danego walca oznacza poziom istotności czasowej (aktywności) danego spostrzeżenia indywidualnego.



Rysunek 4.26 Wizualizacja przestrzenna pamięci semantycznej: stożek reprezentuje pamięć abstrakcyjną natomiast walec pamięć indywidualną; linią czerwoną – przerywaną zaznaczona jest relacja dziedziczenia spostrzeżeń indywidualnych po spostrzeżeniu abstrakcyjnym; niebieską linią kropkowaną są zaznaczone inne relacje pomiędzy spostrzeżeniami indywidualnymi; wysokość walca reprezentuje poziom aktywności danego spostrzeżenia indywidualnego (na rysunku widać wyraźnie nieregularność pamięci abstrakcyjnej i instancyjnej).

Indywidualna pamięć semantyczna składa się ze spostrzeżeń indywidualnych połączonych różnymi relacjami (między sobą oraz ze spostrzeżeniami abstrakcyjnymi). Każde spostrzeżenie indywidualne dziedziczy wszystkie właściwości spostrzeżenia abstrakcyjnego. W szczególności uzupełnia też nieokreślone wcześniej wrażenia. Spostrzeżenie indywidualne składa się z następujących elementów:

- specyficzny logogen, czyli etykieta spostrzeżenia, która może się składać z kilku elementów oraz uwzględniać etykietę spostrzeżenia abstrakcyjnego, po którym dane spostrzeżenie indywidualne dziedziczy – ale musi być unikatowa

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- wrażenia wyróżniające, mające na celu odróżnienie danego spostrzeżenia indywidualnego od innych dziedziczących po tym samym spostrzeżeniu abstrakcyjnym; należą do nich wrażenia odziedziczone po abstrakcie danego spostrzeżenia, zdefiniowane wcześniej na poziomie abstrakcyjnym oraz zdefiniowane przy tworzeniu spostrzeżenia indywidualnego, a także inne wrażenia dotyczące konkretnego obiektu (np. cechy charakterystyczne danego obiektu)
- wrażenia funkcjonalne, mające wpływ na motywację agenta oraz dodatkowo informujące o innych aspektach obiektu
- poziom istotności czasowej (aktywności), wyrażany wysokością ułożenia na walcu indywidualnej pamięci semantycznej, który zależny jest od częstotliwości wystąpień danego spostrzeżenia indywidualnego; im częściej dane spostrzeżenie jest rozpoznawane, tym wyżej znajdzie się ono w pamięci indywidualnej, oraz tym szybciej będzie ono rozpoznawane w przyszłości; poziom aktywności jest skojarzony z mechanizmem (krzywą) zapominania, dzięki temu nieistotne dla agenta spostrzeżenia indywidualne będą rozpoznawane później (wolniej), bądź nawet zapominane (co umożliwia optymalizację zasobów pamięciowych agenta)
- relacje pomiędzy spostrzeżeniami indywidualnymi.

Indywidualna pamięć semantyczna, tak jak w przypadku pamięci abstrakcyjnej, jest restrukturyzowana podczas procesów myślenia autystycznego. Na podstawie pogrupowanych w pewien sposób (pod kątem wspólnych wrażeń) spostrzeżeń instancyjnych proces myślenia może tworzyć nowe spostrzeżenia abstrakcyjne. Zaś na podstawie zdarzeń zawartych w pamięci epizodycznej tworzone mogą być nowe relacje pomiędzy obiektami.

Na spostrzeżenia instancyjne, zawarte w I-SEM, wpływ ma także zjawisko/proces zapominania. Proces ten przynależy jest do myślenia autystycznego i ma na celu wyróżnienie obiektów częściej używanych przez agenta, tak aby szybciej mógł on dokonać ich identyfikacji. Proces ten obniża wraz z upływem czasu poziom aktywności spostrzeżeń instancyjnych według krzywej Ebbinghausa (1885), oraz podnosi – zgodnie z frekwencyjnością zjawiska. Krzywa Ebbinghausa zobrazowana została na rys. 2.19.

4.2.5.2. Pamięć proceduralna

Pamięć proceduralna jest używana do przechowywania prymitywów akcji. Wśród nich można wyróżnić akcje proste (np. pojedynczy ruch ręką, nogą, chwytanie, wymówienie słowa) i złożone (podniesienie czegoś, chodzenie, mówienie sentencji, itp.). Działania proste zdefiniowane są przez projektanta systemu, podczas gdy działania złożone definiuje agent na podstawie nauki (np. poprzez powtarzanie podpatrzonych wzorców). Każde działanie złożone może być przedstawia jako sekwencja działań prostych. Wśród działań zapisanych w pamięci proceduralnej wyróżnić można działania przeprowadzane tylko przez agenta, przeprowadzane przez innych agentów oraz wspólne.

Definicja 4.10. Akcja prosta:
Pojedynczy ruch o określonej trajektorii bądź inne działanie (np. wypowiedzenie słowa) jednego z aktuatorów, który może posiadać wiele stopni swobody (jak na przykład dłoń). Akcja prosta oznaczana jest symbolem a.

Definicja 4.11. Akcja złożona:
Sekwencja akcji prostych: $\mathcal{A}_{label} = (a_0, ..., a_n)$.

Definicja 4.12. Reakcja:
Akcja złożona podejmowana przez agenta w związku ze zmianami w otoczeniu zewnętrznym bądź wewnętrznym zapisanym w pamięci sceny. Reakcja oznaczana jest jako $\mathcal{R}$.

Definiowanie reakcji agenta nie wyklucza użycia jej przez inne agenty w środowisku. Mogą one podjąć taką akcję przez środki komunikacji bezpośredniej lub po prostu mieć

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

ją wpisaną do własnej pamięci. Z drugiej strony, agent może także (pośrednio) uczyć się reakcji od innych agentów poprzez jej imitowanie (Rizzolatti i Sinigaglia, 2008). Reakcje agenta z kolei mogą zostać wywołane przez różne mechanizmy poznawcze:

- reakcje świadome – wybrane i wywołane przez proces myślenia
- reakcje podświadome – nauczone poprzez częste, świadome wykonywanie reakcji w określonych warunkach, wywoływanej przez mechanizmy uwagi (np. zachowania związane z prowadzeniem pojazdu)
- reakcje nieświadome – wpisane programowo przez projektanta systemu jako reakcje powiązane z pewnymi wrażeniami.

Reakcja zapisywana jest jako sekwencja działań prostych bądź złożonych, z przypisaną do niej etykietą oraz hipotetycznym wpływem na system potrzeb agenta (który może pojawiać się z opóźnieniem). Przy wykonywaniu reakcji wszystkie działania złożone są interpretowane (z definicji) poprzez działania proste, które z kolei wdrażane są na odpowiednich aktuatorach. Z kolei hipotetyczny wpływ na potrzeby ($\Delta\eta_i$) jest określany jako średnia z obserwowanych skutków działania danej reakcji. Innymi słowy obserwowana jest różnica stanów potrzeb w momencie wyboru reakcji oraz w momencie jej zakończenia. Do każdego wpływu na potrzebę jest przypisane opóźnienie czasowe, z jakim działa wpływ. Reakcję można opisać matematycznie jako:

$$\mathcal{R}_{label} \triangleq \{(a_0, ..., a_n); \{(\Delta\eta_0, \Delta t_{\eta_0})..., (\Delta\eta_k, \Delta t_{\eta_k})\}\} \tag{4.27}$$

gdzie $(a_0, ..., a_n)$ oznacza sekwencję akcji prostych, zaś $(\Delta\eta_0, \Delta t_{\eta_0})$ pary składające się z wpływu na potrzebę ($\Delta\eta_0$), oraz jego opóźnienia (Δt_{η_0}).

Należy zaznaczyć, że efekty reakcji nie zawsze pojawiają się w momencie jej zakończenia. Może się zdarzyć tak, że efekty reakcji pojawią się po dosyć długim czasie i zostaną błędnie przypisane do innej reakcji. Dlatego też jednym z mechanizmów myślenia autystycznego jest mechanizm weryfikacji wpływu reakcji na potrzeby. Mechanizm ten sprawdza wpływ danej reakcji we wszystkich wystąpienia i eliminuje najmniej powtarzające się opcje zmian w potrzebach, a następnie sprawdza, która reakcja i z jakim opóźnieniem mogła wywołać wyeliminowane opcje.

W pamięci proceduralnej oprócz klasycznych reakcji znajdują się reakcje nieświadome (powiązane z wrażeniami) i podświadome (powiązane z sekwencją spostrzeżeń lub zdarzeniem). Reakcje te wdrażane są automatycznie, bez udziału świadomości agenta. Za ich uruchomienie odpowiedzialny jest proces uwagi. Szerszy ich opis znajduje się w sekcji 4.3.1.2.

4.2.5.3. Pamięć epizodyczna

Rodzajem pamięci sekwencyjnej jest również pamięć epizodyczna, gdzie podstawową jednostką zapamiętywaną jest zdarzenie złożone z zapamiętanych w danej chwili elementów znajdujących się w pamięci sceny oraz wykonywanych przez nie akcji. Innymi słowy na pojedyncze zdarzenie składają się spostrzeżenia instancyjne (z pamięci semantycznej instancyjnej) oraz akcje wykonywanie przez nie (z pamięci proceduralnej). Pojedyncze zdarzenie może zostać opisane matematycznie jako:

$$\mathcal{Z} \triangleq \{\{\Gamma^i\}; \{\mathcal{A}\}; \varrho^{evt}; t_{evt}\} \tag{4.28}$$

gdzie $\{\Gamma^i\}$ reprezentuje zbiór spostrzeżeń uczestniczących w zdarzeniu, z kolei $\{\mathcal{A}\}$ reprezentuje zbiór akcji wykonywanych przez odpowiednie instancje spostrzeżeń (innych agentów). Dodatkowo zdarzenie zawiera tzw. *time stamp*, czyli czas, w którym miało ono miejsce (t_{evt}). Nie musi to jednak być czas rzeczywisty, a jedynie odniesienie do kolejności zdarzeń, tak aby agent mógł określić kolejność zdarzeń. Do każdego zdarzenia przypisany jest także poziom aktywności (ϱ^{evt}), który określa, ile czasu minęło od ostatniego użycia danego zdarzenia, co obrazuje rys. 4.23.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Definicja 4.13. Zdarzenie:
Kopia zbioru spostrzeżeń zawartych w pamięci sceny wraz z wykonywanymi przez nie akcjami, znakiem czasowym oraz poziomem aktywności. Zdarzenie oznaczane jest jako $\mathcal{Z}$.

Poziom aktywności każdego zdarzenia zmienia się wraz z upływem czasu[7]. Tak jak w przypadku instancji spostrzeżeń, jest to spowodowane związane z koniecznością oszczędności zajmowanego obszaru pamięci (zdarzenia o bardzo niskim poziomie aktywności mogą być usuwane), jak i z możliwością przyspieszenia wyszukiwania ważniejszych zdarzeń. Poziom aktywności jest wyznaczany zgodnie z mechanizmem zapominania z krzywą Ebbinghausa (1885). Po bardzo długim czasie wystarczy tylko możliwość oceny, czy dane zdarzenie miało miejsce przed innym, oraz usuwanie zdarzeń nieaktywnych. Podobne zjawisko ma miejsce u ludzi.

4.3 Aspekty uwagi

Uwaga jest zespołem procesów i mechanizmów mających na celu lepsze i efektywniejsze zarządzanie zasobami głównego systemu. W odniesieniu do mechanizmów ludzkich (sekcja 2.1.2), w uwadze agenta wyróżnia się procesy takie jak:
- selekcja i mechanizmy z nią związane (np. czujność)
- przeszukiwanie pola percepcyjnego (sceny)
- alokacja zasobów poznawczych (w ISD stopień uwagi).

Z drugiej strony, gdy mowa o agencie lub robocie autonomicznym, należy dodać koniecznie procesy powiązane z podstawowymi aspektami robotyki:
- bezpośrednie sterowanie aktuatorami
- dostęp do pamięci (wraz z jej przeszukiwaniem)
- nadzorowanie wykonywanych reakcji
- zarządzanie mechanizmami motywacji (wpływ środowiska na agenta).

Aby powyższe procesy były skuteczne, muszą być one niezależne od procesów związanych z postrzeganiem, pamięcią, czy myśleniem. W technologii IT uwagę najlepiej jest interpretować jako system operacyjny zarządzający zasobami informatycznymi. Innymi słowy uwaga odpowiada za tłumaczenie rozkazów wysokopoziomowych na zrozumiałe dla aktuatorów, zarządzanie systemem pamięci (w tym wyszukiwanie informacji) i nadzorowanie wykonywanych akcji.

4.3.1. Selekcja i mechanizmy z nią związane

Mechanizmem, który ma największe znaczenie dla agenta i za który odpowiada proces uwagi, jest selekcja (zwłaszcza pierwszego rzędu/poziomu – mająca miejsce podczas postrzegania). Filtrowanie informacji ma miejsce na każdym z etapów przetwarzania, co zostało pokazane w sekcji 2.1.2.1. Analogicznie jak w psychologii poznawczej, sygnały odbierane za pomocą sensorów są przepuszczane przez szereg filtrów.

4.3.1.1. Filtracja bodźców

Pierwszy etap filtracji ma miejsce jeszcze przed percepcją bodźców, a konkretnie zanim sygnały sensoryczne staną się bodźcami. Filtracja ta związana jest z szumem (elektrycznym, akustycznymi odbiciami, etc.) występującym podczas pomiaru. Problem zaszumienia danych sensorycznych odnosi się przede wszystkim do akcelerometrów, magnetometrów, oraz kamer (Kowalczuk i Merta, 2014; Liu *et al.*, 2008). W zależności od typu czujników stosuje się różne rodzaje filtracji. Podstawowym filtrem używanym przy odczycie danych (z akcelerometrów i nie tylko) jest filtr Kalmana (Kalman, 1960).

[7]Należy przypomnieć, że czas jest interpretowany dyskretnie, ze względu na implementację systemu na komputerach.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Dalsza filtracja ma na celu selekcję bodźców podanych do przetwarzania. Związana jest ona przede wszystkim z tłem percepcyjnym, które można zdefiniować jako pewien stały poziom sygnałów. Innymi słowy do dalszego przetwarzania przekazywane są tylko nowe bodźce (które po określonym czasie mogą stać się nowym tłem). Analogiczna sytuacja ma miejsce podczas zmiany kierunku skupienia, bądź podczas przemieszczenia agenta. Początkowo przetwarzane są wszystkie dane sensoryczne, które zwykle bardzo szybko stają się tłem.

Definicja 4.14. Tło percepcyjne:
Bodźce odbierane ze środowiska, o niewielkiej amplitudzie, nie wnoszące nowej informacji.

Przykładowo dla obrazu z kamery tłem percepcyjnym będzie tło obrazu. Selekcja na poziomie bodźców przekaże do dalszego przetwarzania tylko zmieniające się fragmenty obrazu. Prostym algorytmem pozwalającym na taką operację jest algorytm usuwania tła (Barnich i Droogenbroeck, 2015). Niestety, algorytm ten, jak i inne mówiące o usuwaniu tła, jest bardzo czuły na zmiany w oświetleniu. Pomimo mało zmiennego położenia obiektów w obrazie następują duże zmiany w ich kolorystyce, przez co do dalszego przetwarzania przekazywana jest duża liczba bodźców. Aby temu zapobiec należy stosować dodatkowo detekcję warunków zewnętrznych.

Oprócz wyróżniania nowych bodźców ze środowiska (poprzez odejmowanie tła percepcyjnego), system uwagi odpowiada też za zasadę bramkowania opisaną w sekcji 4.2.1. Zgodnie z nią priorytet w przetwarzaniu mają bodźce z określonej strefy (obejmującej różne sensory), na której skupiony jest agent.

4.3.1.2. Reakcje podświadome i nieświadome

Zasadniczo powiązane z selekcją są progi alarmowe oraz pewnego rodzaju powtarzające się sekwencje obiektów. Odpowiadają one za szybką reakcję podczas ich wykrycia. W obserwowanym przez agenta środowisku wyróżnić można dwa typy takich informacji. W analogii do przedstawionego powyżej systemu postrzegania będą to: wrażenia i spostrzeżenia. Mechanizm ten odpowiada filtrowi Treisman (1960) w psychologii poznawczej.

Podstawowym progiem, wystarczającym do uruchomienia reakcji alarmowej, jest odczucie możliwie najsilniejszego wrażenia (γ). Wśród wrażeń opartych na domyślnym zbiorze rozmytym (zilustrowanym na rys. 4.12) będzie to po prostu zakwalifikowanie cech do największego ('*bardzo duży*') zbioru rozmytego. Reakcja nieświadoma wdrażana jest, kiedy dana cecha wyrażona wartością funkcji przynależności do zbioru 'bardzo duży' zostanie oceniona powyżej progu τ_{gamma}:

$$if\ \mu_{v.big}(x)\ >\ \tau_{gamma}\ \Rightarrow\ run(\mathcal{R}_x) \tag{4.29}$$

gdzie x jest określonym wrażeniem, natomiast $\mathcal{R}_x$ jest reakcją nieświadomą na dane wrażenie.

Upraszczając, reakcja nieświadoma skojarzona z określonym wrażeniem (np. ucieczka od źródła bólu) jest wywołana w momencie odczucia odpowiedniego poziomu danego wrażenia (ból). Z czasem agent 'hartuje się' na odczuwanie podobnego poziomu wrażenia, dzięki przesuwaniu się skali oceniającej daną cechę (normalizacja wartości ostrych wrażeń). Reakcje nieświadome są implementowane przez projektanta systemu. Istnieje możliwość przypisania ścisłego progu τ_{gamma} do każdej z cech, wtedy po jego przekroczeniu agent może wdrażać odpowiednią reakcję nieświadomą. Reakcja nieświadoma jest z reguły reakcją prostą, występuje prosty ruch aktuatorów lub krótka ich sekwencja.

Definicja 4.15. Reakcja nieświadoma:
Prosta reakcja wdrażana bez świadomości agenta na podstawie przekroczenia progu odczuwania określonego wrażenia.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W dalszym przetwarzaniu z wielu różnych wrażeń tworzone są spostrzeżenia, czyli instancyjne reprezentacje rzeczywistych obiektów. Na tym poziomie następuje kojarzenie (identyfikacja) określonego zbioru – 'zjawiska' (sekwencji obiektów lub zdarzenia), który wywołuje podświadomą reakcję. Jest ono w tym wypadku skojarzone z określoną reakcją – a nie, jak reakcja nieświadoma, zaimplementowane na poziomie projektowym. Wielokrotne (świadome i skuteczne) powtórzenie odpowiedniej reakcji na zjawisko daje możliwość zapisania reakcji w pamięci proceduralnej. W przypadku przekroczenia pewnego progu powtarzalności τ_{Γ}, reakcja zapisywana jest do zbioru reakcji podświadomych i przypisywana do określonego zjawiska. Na poziomie rozpoznania spostrzeżeń wykrywany jest taki wzorzec, a odpowiednia reakcja jest wdrażana przez agenta. Reakcja podświadoma może być dużo bardziej skomplikowana niż reakcja nieświadoma. W związku z większą złożonością i wydłużonym czasem trwania reakcji podświadomej, może ona zostać przerwana świadomą decyzją agenta.

Definicja 4.16. Reakcja podświadoma:
Złożona reakcja nauczona przez wielokrotne powtórzenie jej wyboru w odpowiedzi na określone zjawisko.

Definicja 4.17. Zjawisko:
Sekwencja obiektów (spostrzeżeń) lub zdarzeń.

4.3.2. Przeszukiwanie środowiska agenta

Przeszukiwanie prowadzone przez agenta ma dwojaką rolę. Przede wszystkim, zgodnie z psychologią kognitywną, dotyczy ono znajdowania konkretnego obiektu w środowisku. Innymi słowy agent wyszukuje obiekt lub konkretne cechy obiektów w pamięci sceny. Teorie przedstawione w sekcji 2.1.2.2 traktują głównie o tworzeniu map lokacyjnych (cech). Pamięć sceny agenta stanowi mapę lokującą wszystkie rozpoznane cechy (wrażenia) i grupującą je w obiekty (spostrzeżenia). W związku z czym przeszukiwanie pola percepcyjnego w celu wykrycia odpowiednich cech bądź całych obiektów nie jest niczym innym jak filtrowaniem pamięci sceny.

Drugim celem przeszukiwania jest sterowanie aktuatorami oraz stopniem uwagi, tak aby jak najwięcej dowiedzieć się o rzeczywistym obiekcie. Taka operacja wywoływana jest w przypadku nierozpoznania nowego obiektu (braku wystarczającej informacji). Wówczas agent, aby poszerzyć swoją wiedzę na temat danego obiektu, poszukuje dodatkowych cech. W tym celu (o ile taka będzie decyzja agenta) proces uwagi umożliwia i wdraża działania (reakcje) dotyczące zmiany perspektywy względem obiektu poprzez manipulację obiektem lub – w przypadku dużych rozmiarów – próbę zmiany pozycji względem obiektu.

4.3.3. Stopień uwagi

Jak wspomniano wcześniej, wszystkie obiekty znajdujące się w pamięci sceny posiadają atrybut (parametr) zwany stopniem uwagi, oznaczany jako ϱ^{sgfn}. Suma wszystkich stopni uwagi obiektów znajdujących się w pamięci sceny musi być unormowana (uzupełniać się do jedności). Innymi słowy, zmiana pojedynczego stopnia uwagi pociąga za sobą zmianę wszystkich innych stopni uwagi. Podstawowa jednostka zmiany stopnia uwagi jest odwrotnie proporcjonalna do liczby obiektów znajdujących się w pamięci sceny agenta:

$$\varrho^{sgfn}_{zero} = \frac{1}{Card(SCM)} \tag{4.30}$$

gdzie $Card(SCM)$ oznacza liczebność pamięci sceny (sekcja 4.2.3).

Na stopień uwagi wpływa szereg czynników, które do aktualnego stopnia uwagi dodają ϱ^{sgfn}_{zero}, są to między innymi:

- nowość – pojawiający się nowy obiekt w pamięci sceny

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- ruch – spostrzeżenia z trybem czasowym T
- zmiana dynamiki ruchu – zmiana ruchu nieprzewidziana przez agenta (np. gwałtowne zatrzymanie, ruch w stronę niezgodną z estymowaną trajektorią)
- zmiana dynamiki dźwięku
- sub-emocje (kontekst emocjonalny) – spostrzeżenia wywołujące emocję
- wyróżnianie się cechy – znaczne odróżnianie się od tła percepcyjnego (np. kolor czerwony obiektu, podczas gdy wszystkie inne obiekty są szare)
- wyróżnienie obiektu – znaczne niepodobieństwo wśród spostrzeżeń wyznaczane za pomocą odległości pomiędzy obiektami w pamięci semantycznej.

Po uaktualnieniu stopni uwagi wszystkich obiektów w pamięci sceny uruchamiana jest normalizacja stopieni uwagi do jedności.

W kontekście zmiany stopnia uwagi, a także ze względu na bezpieczeństwo agenta, uwaga posiada dodatkowy mechanizm estymowania trajektorii obiektów z trybem czasowym T. Do każdego spostrzeżenia w pamięci sceny dołączany jest filtr Kalmana mający na celu wyznaczanie przyszłego położenia i prędkości (Kalman, 1960; Peterfreund, 1999; Kowalczuk i Merta, 2016). Filtr ten pozwala na aktualizację zmiennego położenia obiektów w pamięci.

4.3.4. Sterowanie aktuatorami

Proces uwagi zarządza również bezpośrednio sterowaniem silnikami i serwomechanizmów robota. Zajmuje się bowiem tłumaczeniem prostych akcji, z których składa się reakcja, na rozkazy dla silników. Przykładowo, prostą akcją jest ruch ramieniem w przód, podczas gdy w rzeczywistości jest to sterowanie dwoma silnikami (przegub ramienia i łokcia). Przełożenie akcji na bezpośrednie sterowanie jest zadaniem uwagi. Jednak, w zależności od konstrukcji silnika kwestia sterowania może wyglądać inaczej. Z tego względu opis bezpośredniego sterowania zostanie tutaj pominięty.

4.3.5. Dostęp do pamięci

Kolejnym zadaniem, za które odpowiadają procesy uwagi jest zarządzanie dostępem do pamięci długotrwałej (LTM). Pomimo dużej mocy komputerów i coraz większych pojemności pamięci operacyjnej, utrzymywanie informacji długotrwałych możliwe jest tylko na 'nośnikach' zewnętrznych (np. bazy danych, dyski twarde, etc.). Za dostęp do tych informacji odpowiada proces zarządzania pamięcią.

Głównym aspektem pamięciowym jest wiązanie elementów zawartych w pamięci semantycznej i proceduralnej z elementami zwartymi w pamięci sceny. Innymi słowy, każdy element w pamięci sceny jest połączony z jego odpowiednikiem w pamięci długotrwałej, tak aby można było odnieść się do zawartych tam informacji lub dopisać nowe informacje. Dodatkowo ważnym elementem zarządzania pamięcią jest zapis do pamięci epizodycznej. Przypisywanie reakcji odpowiednim obiektom oraz zapisywanie ich może stanowić duże wyzwanie.

4.3.6. Nadzorowanie wykonywanych reakcji

Ostatnim aspektem uwagi agenta jest nadzorowanie reakcji wykonywanych przez agenta. Reakcja agenta może być na przykład przerwana w chwili, gdy na realizowanej trajektorii pojawi się przeszkoda/obiekt. Procesy uwagi mają na celu monitorowanie, czy trajektoria realizowana przez agenta jest wykonywalna lub czy należy ją przerwać. Dodatkowo, agent ucząc się wpływu poszczególnych reakcji, powinien oceniać czas ich wykonywania. Procesy uwagi również w tym wypadku nadzorują, czy cel reakcji agenta został osiągnięty oraz w jakim czasie. Więcej informacji na ten temat pokazuje następna sekcja (4.4).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.4 Mechanizmy motywacyjne agenta ISD

Nadrzędnym ośrodkiem systemu ISD jest zarządzanie motywacją do działania agenta. Choć tym aspektem kieruje u człowieka uwaga mimowolna, motywacja została opisana jako odrębna część. W przypadku autonomicznego agenta proces zmiany wewnętrznych zmiennych stanu również należy do procesów uwagi. Ma on na celu przede wszystkim analizę obiektów znajdujących się w pamięci sceny pod kątem wpływu na potrzeby i emocje agenta.

W systemie ISD można wyróżnić dwa aspekty motywacyjne. Jednym z nich jest aspekt dotyczący celu działania, tj. system potrzeb, który wynika bezpośrednio z poczucia niespełnienia. Na postawie systemu potrzeb generowane są reakcje agenta – oczywiście odpowiednio dobrane do aktualnego ich stanu. Drugim systemem motywacyjnym, działającym równolegle jest system emocjonalny. W odpowiednich stanach zawęża on możliwości wyboru reakcji agenta.

4.4.1. Model potrzeb

Potrzeba agenta to abstrakcyjny stan doświadczania poczucia określonego niezaspokojenia (Kowalczuk i Czubenko, 2011b), w pełnej analogii do opisanego wcześniej systemu motywacji człowieka (sekcja 2.2.4). Im mocniej potrzeba jest niezaspokojona, tym bardziej agent stara się podejmować działania w celu jej zaspokojenia. Abstrakcyjna potrzeba jest modelowana jako wartość rozmyta, przyjmująca jedną z trzech wartości lingwistycznych:

- satysfakcji – kiedy potrzeba jest całkowicie zaspokojona i nie wpływa na bieżące decyzje podejmowane przez agenta
- prealarmu – gdy agent zaczyna *myśleć* o zaspokojeniu danej potrzeby
- alarmu – kiedy potrzeba staje się paląca i tylko ona zaprząta *myśli* agenta (jest przedmiotem przetwarzania ISD).

Definicja 4.18. Potrzeba:
Abstrakcyjny stan doświadczania poczucia określonego niezaspokojenia. Potrzeba jest oznaczana jako η, natomiast zbiór wszystkich potrzeb oznaczany jest jako H.

Zbiory rozmyte reprezentujące odpowiednie wartości lingwistyczne prezentuje rys. 4.27. Każdy ze zbiorów rozmytych jest odpowiednio dokładnie określony za pomocą funkcji przynależności o charakterystyce typu: Z, Π, oraz S (Łęski, 2008):

$$\mu_s(\eta_i) = f_Z(\eta_i) = \begin{cases} 1, & \eta_i \leq v_s \\ 1 - 2(\frac{\eta_i - v_s}{v_p - v_s})^2, & v_s < \eta_i \leq (v_s + v_p)/2 \\ 2(\frac{\eta_i - v_s}{v_p - v_s})^2, & (v_s + v_p)/2 < \eta_i \leq v_p \\ 0, & \eta_i > v_p \end{cases} \tag{4.31}$$

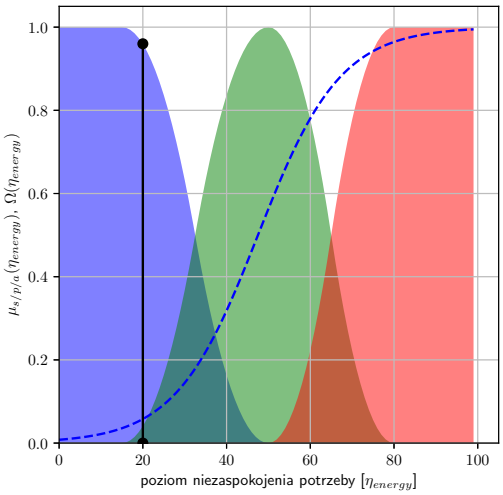
$$\mu_a(\eta_i) = f_S(\eta_i) = \begin{cases} 0, & \eta_i \leq v_p \\ 2(\frac{\eta_i - v_a}{v_a - v_p})^2, & v_p < \eta_i \leq (v_a + v_p)/2 \\ 1 - 2(\frac{\eta_i - v_a}{v_a - v_p})^2, & (v_a + v_p)/2 < \eta_i \leq v_a \\ 1, & \eta_i > v_a \end{cases} \tag{4.32}$$

$$\mu_p(\eta_i) = f_\Pi(\eta_i) = \begin{cases} 1 - f_Z(\eta_i), & \eta_i \leq v_p \\ 1 - f_S(\eta_i), & \eta_i > v_p \end{cases} \tag{4.33}$$

gdzie η_i jest stopniem niezaspokojenia i-tej potrzeby, zaś v_s, v_p, v_a są parametrami opisującymi daną potrzebę. W szczególności parametry v_s, v_a opisują jądro, zaś v_p to nośnik

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

odpowiednich zbiorów rozmytych (satysfakcji i alarmu). μ_s, μ_p, μ_a reprezentują funkcje przynależności (satysfakcji, prealarmu i alarmu) i-tej potrzeby. Funkcje te zobrazowane są na rys. 4.27, gdzie $v_s = 15$, $v_p = 50$, $v_a = 80$. Dla każdej potrzeby, parametry te mogą przyjmować różne wartości. Dodatkowo zmieniają się one wraz ze zmianą nastroju agenta.



Rysunek 4.27 Model rozmyty przykładowej potrzeby agenta w systemie ISD (Kowalczuk i Czubenko, 2011b); symbol η_i reprezentuje stopień niezaspokojenia i-tej potrzeby, podczas gdy μ symbolizuje odpowiednią funkcję przynależności (niebieski – satysfakcja, zielony – prealarm, czerwony – alarm); funkcja ważności potrzeby Ω jest reprezentowana przez niebieską – kreskowaną krzywą; ostra wartość potrzeby oznaczona jest czarną pionową linią.

W ogólności można wyróżnić wiele ludzkich potrzeb. W przypadku agenta potrzeby definiuje projektant systemu. Przykładowo, dla autonomicznego kierowcy, mającego za główne zadanie dojechanie do celu można wyróżnić następujące potrzeby (Czubenko *et al.*, 2015):

- optymalizacji energii/działania silnika
- dotarcia do celu
- bezpieczeństwa pojazdu
- przestrzegania przepisów drogowych
- poczucia własnej prędkości
- pewności w działaniu.

Jak można od razu zauważyć, potrzeby te powinny być w pewien sposób uszeregowane. Nie może nastąpić sytuacja, gdy potrzeb poczucia własnej prędkości zdominuję potrzebę bezpieczeństwa (choć w rzeczywistości to następuje). Potrzeby agenta, tak jak u człowieka, ułożone są w formie piramidy (rys. 2.20, 4.29). Zasadniczym aspektem jest brak poziomu zerowego piramidy, gdzie należałoby według Asimova (1951) umieścić dwa z trzech praw robotyki[8] w formie potrzeb:

- nie wyrządzania krzywdy człowiekowi
- własnego przetrwania.

[8]Dla przypomnienia prawa robotyki Asimowa: 1. Robot nie może skrzywdzić człowieka, ani przez zaniechanie działania dopuścić, aby człowiek doznał krzywdy. 2. Robot musi być posłuszny rozkazom człowieka, chyba że stoją one w sprzeczności z Pierwszym Prawem. 3.Robot musi chronić samego siebie, o ile tylko nie stoi to w sprzeczności z Pierwszym lub Drugim Prawem.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Drugie prawo robotyki może być opcjonalne, w zależności od celu agenta (np. wojskowego, czy pirotechnicznego). Dodane drugie prawo powinno dotyczyć poziomu bezpieczeństwa.

W tym samym miejscu, czyli w klasie bezpieczeństwa, powinny się także znaleźć potrzeby odpowiadające za cele agenta. Ich liczba zależy od projektanta systemu. Przypomnijmy, że ISD może być traktowany jako system w pełni autonomiczny, bądź tylko w określonym zakresie (wtedy wymaga dedykowanych nastaw).

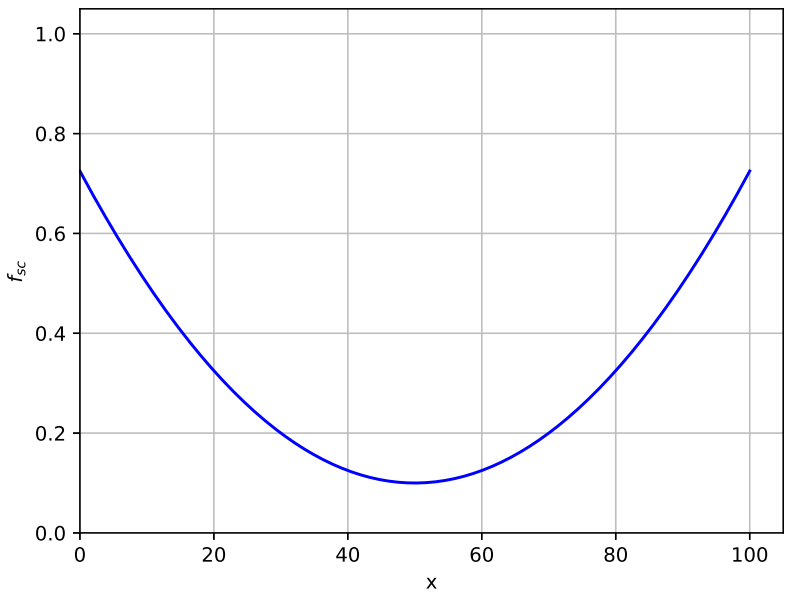
W każdej klasie może znajdować się wiele potrzeb, spośród których należy wyznaczyć najważniejszą, wymagającą natychmiastowej reakcji. Dlatego też wprowadzona została sigmoidalna funkcja ważąca (niebieska kreskowana krzywa na rys. 4.27) w postaci:

$$\Omega\left(\eta_i\right) = \frac{1 - 0.1\triangle(\eta_i)}{1 + exp\left[-f_{sc}\left((v_s + v_a)/2\right)\left(|\eta_i| - (v_s + v_a)/2\right)\right]} \tag{4.34}$$

gdzie $\triangle(\eta_i)$ oznacza poziom piramidy Maslowa, na którym znajduje się i-ta potrzeba. Funkcja f_{sc} (rys. 4.28) jest prostą funkcją skalującą modyfikującą odpowiednio punkt przegięcia funkcji wagi, opisaną następująco:

$$f_{sc}\left(x\right) = 0.1 + 0.00025\left(x - 50\right)^2 \tag{4.35}$$

Przyjęta, dość skomplikowana postać funkcji wagi potrzeb wynika z konieczności adekwatnego skalowania potrzeb pod względem zarówno niezaspokojenia, jak i piramidy Maslowa, przy jednoczesnym zachowaniu charakteru esicy.



Rysunek 4.28 Funkcja skalująca funkcję wagi potrzeby.

Istotną cechą systemu potrzeb jest jego dynamika (zmienność w czasie). Potrzeby zwykle rosną (stają się bardziej niezaspokojone) wraz z upływem czasu. Akcje podejmowane przez agenta mają na celu spełnienie potrzeb najbardziej niezaspokojonych, w tym zabezpieczenie się przed skutkami nieprzewidzianych działań (zjawisk). Każda reakcja kosztuje agenta (np. zmienia poziom jego energii). Reakcje wdrażane przez agenta mogą też negatywnie wpływać na jego niektóre potrzeby. Stąd też system, który decyduje o wyborze reakcji (sekcja 4.5), stara się brać pod uwagę wszystkie hipotetyczne zmiany potrzeb.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rysunek 4.29 Robotycki odpowiednik piramidy Maslowa.

4.4.2. System emocjonalny xEmotion

Przedstawiony poniżej system emocjonalny jest zgodny z teoriami psychologicznymi dotyczącymi emocji. Obejmuje zarówno teorię ocenną emocji, jak i somatyczną. System xEmotion, przedstawiony w (Kowalczuk i Czubenko, 2017c, 2013a), wykorzystuje również podział czasowy emocji, w szczególności uwzględnia zarówno emocje krótkotrwałe, jak i długoczasowe zmiany zaburzeniowe. Wszystkie komponenty zobrazowane są na rys. 4.30, omówionym szczegółowo w sekcji 4.4.2.5.

4.4.2.1. Elementy składowe systemu xEmotion

Głównym kryterium podziału emocji jest czas jej trwania (Oatley *et al.*, 2012). Przyjmując podobne założenia w modelu xEmotion wyróżnia się:

- pre-emocje 'autonomiczne' κ^p, oparte na modelu liniowym emocji i powiązane z konkretnymi bodźcami lub wrażeniami
- sub-emocje powiązane kontekstowo z obiektami $\kappa = (\kappa^c; \kappa^i)$:
  - ekspresyjne ogólne (*common*) – sub-emocje ekspresyjne κ^c, oparte na tęczy (kole) emocji (omówionej w następnej sekcji) oraz powiązane ze spostrzeżonymi obiektami
  - ekspresyjne indywidualne (*individual*) – sub-equalie κ^i, odnoszące się do 'urojonego' koła equalii i powiązane (indywidualne) z wykrytymi obiektami
- emocjonalny stan agenta $\xi = (\xi^c; \xi^i)$:
  - ogólną emocję 'klasyczną' ξ^c, budowaną przy użyciu uniwersalnej tęczy emocji
  - equalę, emocję personalną ξ^i, opartą na indywidualnych (własnych) doświadczeniach wyrażonych na kole equalii
- nastrój Ξ, generowany na podstawie nieliniowego mechanizmu TAWS (*Temporary Amplifier With Saturation*).

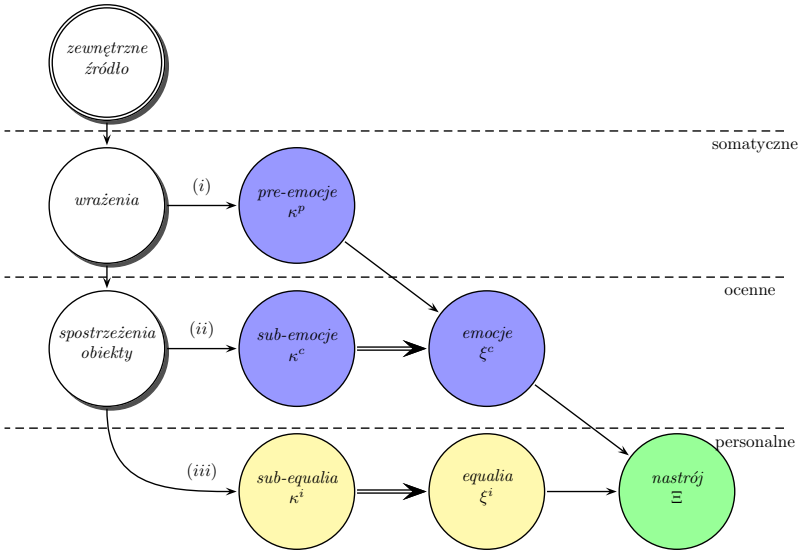
Pre-emocje autonomiczne κ^p odpowiadają autonomicznym zmianom emocjonalnym w podziale Oatleya (2012). Są to emocje krótkotrwałe oparte na uproszczonym modelu emocji (sekcja 4.4.2.3), wyzwalane przez pojedyncze bodźce ze środowiska. Pre-emocje autonomiczne oparte są na teorii somatycznej (opisanej w sekcji 2.3.1.1) Zajonca (1980). Przykładowo: wykrycie nagłego ruchu będącego poza zasięgiem wzroku generuje uproszczoną emocję strachu. Dzięki temu robot dostaje szansę szybkiego podjęcia akcji ucieczki.

Z kolei sub-emocje (ekspresyjne) κ^c odpowiadają (standardowym, uniwersalnym) stanom (ekspresjom) emocjonalnym człowieka. Powiązane są z już poznanymi wcześniej (zapamiętanymi) zjawiskami (obiektami, sytuacjami, czy zdarzeniami). Według teorii ocennej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Lazarusa (1991) sub-emocje odnoszą się bezpośrednio do emocji wcześniej z nimi skojarzonymi. Skojarzenia emocjonalne przypisywane są adekwatnie (warunkowo lub bezwarunkowo) obiektom przy wystąpieniu emocji o wysokim natężeniu przy postrzeganiu tych obiektów. Sub-emocje mogą być zatem łatwo powiązane ze zjawiskami, podczas których wystąpiła określona silna (powyżej pewnego progu) emocja.

Ogólnie, sub-emocje odnoszą się do 'przeżytych' i 'zapamiętanych' wcześniej silnych emocji skojarzonych z określonymi mentalnie sytuacjami. Sub-emocje kategoryzowane są tak samo jak emocja klasyczna – na kole emocji (sekcja 4.4.2.2). Rozpoznanie obiektu skojarzonego poprzednio z sub-emocją powoduje wygenerowanie sygnału sub-emocji ekspresyjnej (konkretnej). Sub-emocja jest podtrzymywana, dopóki obiekt skojarzony z nią podlega uwadze agenta. Bezpośrednio przekłada się to na stopień uwagi takiego obiektu, gdyż tylko 7 obiektów znajdujących się w pamięci sceny z najwyższym stopniem uwagi może generować (lub podtrzymywać) sub-emocję. W analogii, również elementy w pamięci wyobraźni mogą generować sub-emocje; jednak w tym przypadku są to tylko 3 obiekty o najwyższym stopniu uwagi. Liczba obiektów 'emitujących' sub-emocję jest ściśle powiązana z liczbą Millera (sekcja 2.1.3.3). Sub-emocje (zwykle) słabną wraz z *zacieraniem* się zjawiska w pamięci. Tęcza na kole sub-emocji, tak jak sub-emocja, reprezentowana jest poprzez kolor/fazę (ω_{κ^c}) oraz jej intensywność/promień (r_{κ^c}).



Rysunek 4.30 Komponenty emocjonalne systemu ISD i relacje między nimi.

Według źródeł filozoficznych[9] qualia mogą być traktowane jako subiektywne odczucia jakościowe dotyczące danego obiektu Hardin (1987); Jackson (1982). Stąd equalia ξ^i jawią się jako personalne, subiektywne, indywidualne czynniki emocjonalne. W systemie xEmotion, sub-equalia są bezpośrednią analogią sub-emocji – jednakże w wersji subiektywnej i względnej. Zdefiniowane są one poprzez analogiczne parametry jak w przypadku sub-emocji. Sub-equalia są wpisane w koło equalii jako współrzędne (parametry liczbowe), jednakowoż nie są nazwane (etykietowane). Dzięki takiemu zabiegowi możliwe jest względne *odczuwanie* equalii jako emocji osobisto-personalnych. Sub-equalia rozumiane są zatem całkowicie względnie, w odróżnieniu od ściśle zdefiniowanego zbioru emocji wspólnych dla ludzi.

[9]Na przykład: „The sensation of color cannot be accounted for by the physicist's objective picture of light-waves. Could the physiologist account for it, if he had fuller knowledge than he has of the processes in the retina and the nervous processes set up by them in the optical nerve bundles and in the brain? I do not think so." Schrödinger (2001).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Emocja klasyczna ξ^c, odczuwalna, werbalizowalna jest właściwym (obiektywnym, uniwersalnym) stanem emocjonalnym agenta. Opisana jest ona bezpośrednio za pomocą koła i tęczy emocji. Emocja klasyczna powstaje na podstawie odczuwanych aktualnie pre-emocji, sub-emocji, stopnia zaspokojenia potrzeb, poprzednio odczuwanej emocji oraz (czasowego) efektu wygaszania. Zwykle jest ona określona precyzyjnie, ale może też być wyrażana przez maksymalnie cztery stany, tj. w jednej chwili czasu mogą istnieć na raz cztery różne emocje (co jest związane z zastosowanym rozmyciem emocji, a konkretnie z nachodzeniem się na siebie funkcji przynależności nad płaszczyzną koła emocji). Dzięki emocji klasycznej możliwy jest wybór ściśle określonych reakcji, nieaktywnych bez odpowiedniego pobudzenia emocjonalnego. Przykładowo, dopiero w poczuciu strachu odblokowywana jest (oraz preferowana) reakcja ucieczki (często obserwowana u uczestników wypadku).

Equale ξ^i, czyli w niniejszej pracy emocja personalna, jest abstrakcyjną (urojoną) stroną emocji. Podobnie jak emocja klasyczna jest ona wynikiem bieżąco postrzeganych sub-equalii, poprzednio zaznaczonej equalii oraz efektu wygaszania.

Z kolei nastrój Ξ jest długotrwałym stanem emocjonalnym opartym na specyficznej, unikającej miary czasu, 'różniczce' emocji klasycznej. Jest to dodatkowy mechanizm decyzyjny, który wskazuje jak bardzo (pozytywnie, bądź negatywnie) emocje wpływają na agenta. Nastrój umożliwia modyfikację funkcji odpowiadających za stopień spełnienia potrzeb. W przypadku nastroju pozytywnego, potrzeby stają się mniej palące, niż w przypadku nastroju negatywnego. Nastrój oparty jest na funkcji przejścia TAWS – *Temporary Amplifier With Saturation*, przedstawionej na rys. 4.35 (Kowalczuk i Czubenko, 2013b), która opisuje wzrost nastroju (do stopnia nasycenia) przy wzroście emocji klasycznej (dodatniej pochodnej), zaś przy wystąpieniu negatywnej pochodnej emocji – natychmiastowo spada (również z nasyceniem).

4.4.2.2. Koło emocji – model rozmyty

Podstawowym modelem emocji, przyjętym w podsystemie xEmotion, jest rozłożona paraboloida Plutchika (2001) z rys. 2.25 ze zmianami (Kowalczuk i Czubenko, 2013b, 2017c). Zmiany dotyczą zasadniczo trzech aspektów:

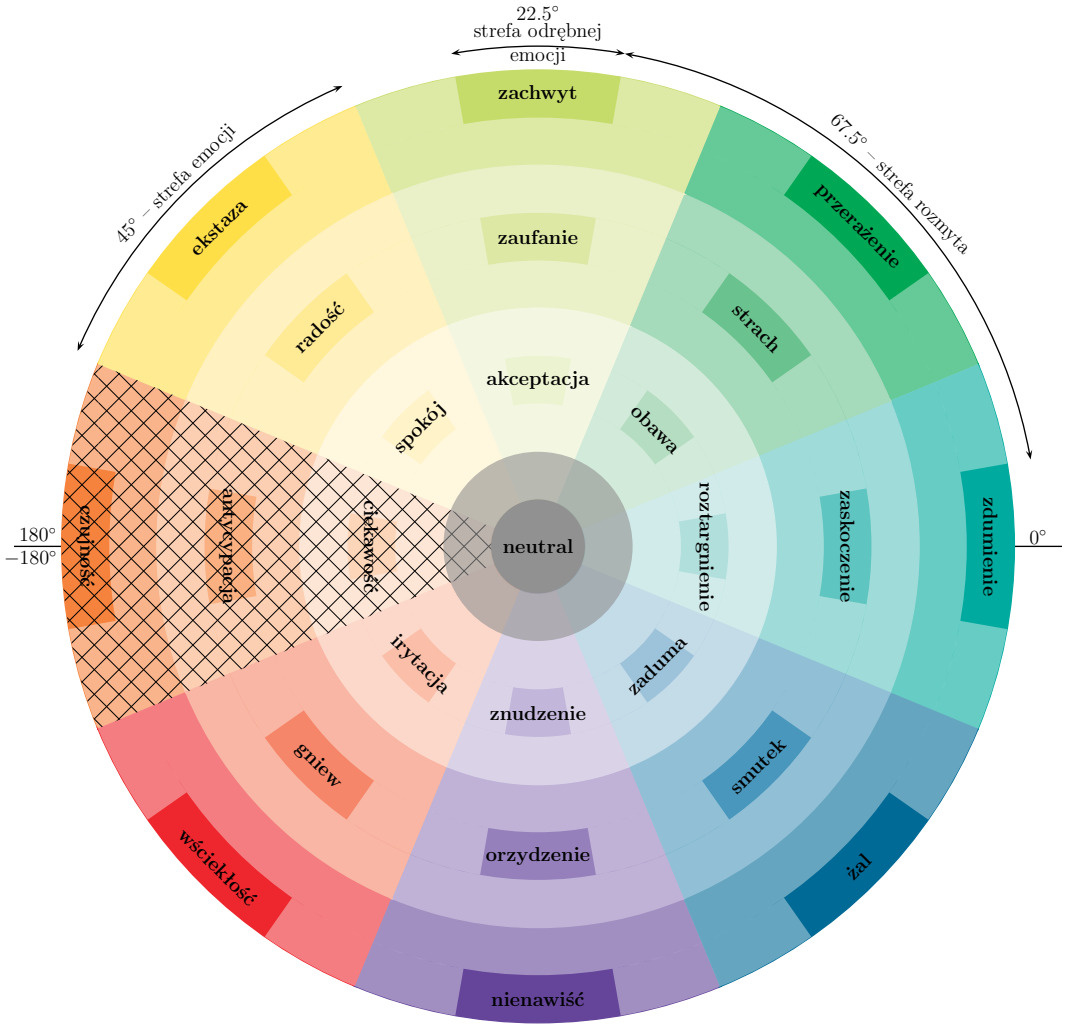
- wprowadzeniu wspólnego i jednoznacznego stanu neutralnego,
- uniemożliwienie bezpośredniego przejścia pomiędzy silnymi, skrajnymi emocjami,
- odwróceniu wartości (wynikające z powyższych dwóch założeń).

Przedstawione zmiany zostały wprowadzone z kilku powodów. Przede wszystkim, w modelu Plutchika nienaturalne jest założenie, że człowiek/agent zawsze powinien znajdować się we wzbudzonym stanie emocjonalnym. W oryginalnej paraboloidzie nie istnieje bowiem pojedynczy stan neutralny. Dlatego też pierwsza modyfikacja polega na wprowadzeniu centralnego stanu neutralnego, do którego emocje zbiegają się (po pewnym czasie).

Aspektem budzącym wątpliwość jest dopuszczenie bezpośredniego przejścia pomiędzy skrajnie wysokimi oraz sprzecznymi emocjami. Przechodząc przez środek paraboloidy można bowiem łatwo zmienić stan emocjonalny nie tylko z ekstazy na wściekłość (co jeszcze może być zrozumiałe w pewnych przypadkach), ale także z podziwu na żałość lub wstręt. Tego rodzaju przejścia uniemożliwiają stabilne działanie systemu. Proponowana zmiana pozwala na płynne (rozmyte) i naturalnie skalowane przejście pomiędzy stanami (przy takim przejściu, kiedy jedna z emocji straci swoją intensywność, druga zaczyna zyskiwać).

Trzecim aspektem i konsekwencją powyższych jest odwrócenie skali emocji. Naturalnym jest wzrost wartości w zależności od odległości od środka układu współrzędnych (stanu spoczynkowego). W oryginalnej paraboloidzie jest odwrotnie, najsłabsze emocje figurują w najbardziej skrajnym położeniu. Proponowana zmiana pozwoli na swobodne wzrastanie emocji, od stanu neutralnego do najbardziej intensywnego, co pokazano na rys. 4.31, który przedstawia model emocji po wprowadzeniu zaproponowanych zmian.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

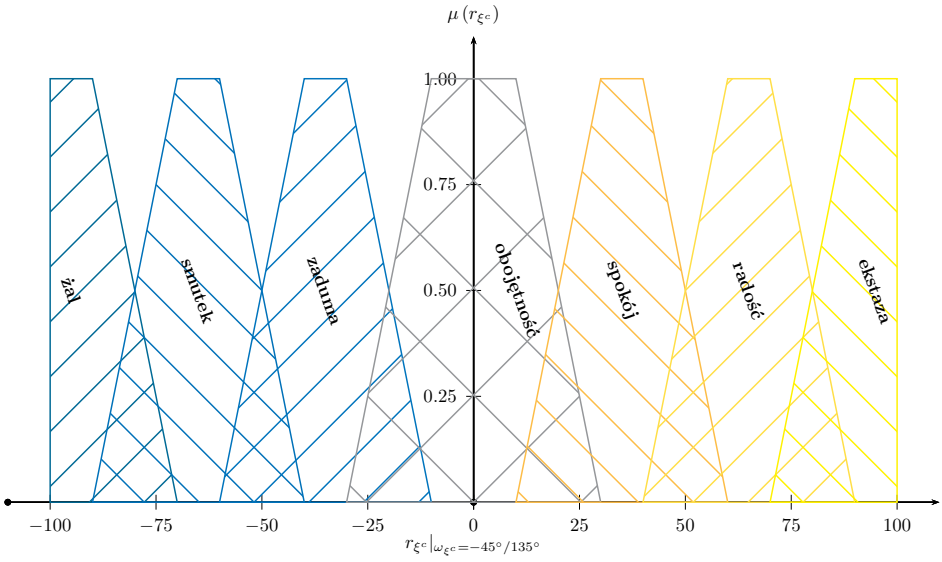


Rysunek 4.31 Koło (części rzeczywistej) emocji systemu xEmotion, gdzie pełnym kolorem oznaczono miejsca przyjmowania maksymalnej wartości funkcji przynależności do danego stanu emocjonalnego.

Każdy stan emocjonalny modelowany jest trapezoidalną, rozmytą funkcją przynależności skonstruowaną w sposób umożliwiający przyjęcie maksymalnie dwóch (sąsiadujących po promieniu lub fazie) wartości lingwistycznych. W miejscach, w których jedna wielkość rozmyta przyjmuje wartość mniejszą od jedności, 'pojawia się' druga wielkość równa dopełnieniu do jedności pierwszej wartości. Skutek taki wynikający z przekroju linii żal-ekstaza, obrazuje rys. 4.32, gdzie na osi odciętych jest ostra wartość intensywności emocji (i jej znaku), podczas gdy na osi rzędnych wyrażona jest wartość rozmytej funkcji przynależności do zboru równoważnych zmiennych lingwistycznych opisujących różne intensywności wybranej barwy (dodatniej i ujemnej).

Mechanizm koła emocji został uzupełniony przez parametr zdrowia psychicznego Υ, który nie pozwala na przejście pomiędzy ekstazą a wściekłością na podstawie pozytywnej stymulacji (w przypadku agenta 'zdrowego psychicznie'). Parametr ten wprowadza nieliniowość do modelu emocjonalnego. Dopuszcza się dynamiczną liniową zmianę kąta emocji w zakresie $(-180^\circ+\Delta^\circ; 180^\circ-\Delta^\circ)$ oraz nieliniową w zakresie $(-180^\circ; -180^\circ+\Delta^\circ)\cup(180^\circ-\Delta^\circ; 180^\circ)$. Parametr Δ° jest wartością wynikającą z podzielenia kąta pełnego przez liczbę emocji z uwzględnieniem pośrednich stanów ($\Delta^\circ = 360^\circ/16 = 22.5^\circ$). Należy zaznaczyć,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.32 Przekrój przez koło emocji na linii żal-ekstaza (przechodzącej przez środek układu współrzędnych).

że kąt emocji należy do zakresu $(-180°, 180°)$, natomiast jej promień posiada wartości z przedziału $< 0, 100 >$.

W wyniku rozmytego modelowania, możliwe jest wyróżnienie trzech stref emocjonalnych (zobrazowanych na rys. 4.31):

- rozmyta (kolor danej emocji nie jest jedyny) strefa – oparta na tzw. nośniku funkcji przynależności
- emocjonalna (kolor danej emocji dominuje) strefa – określana dla funkcji przynależności (μ_i) o wartości ≥ 0.5 jako rezultat maksimum jednej z dwóch funkcji przynależności (α-sekcja, gdzie $\alpha = 0.5$),
- strefa odrębnej emocji (istnieje tylko jeden kolor) – oparta na jądrze funkcji przynależności.

Equale również oparte jest na kole, podobnym do przedstawionego powyżej. Zasadnicza różnica tkwi w brak zdefiniowanych wcześniej nazw, czy grup equalii. Tworzone są one automatycznie, na podstawie grupowania equalii. Dzięki temu mają one charakter ściśle personalny (subiektywny), i różnią się od uniwersalnych emocji zdefiniowanych przez projektanta systemu.

Equale razem z emocją tworzą tak zwaną emocję zespoloną opisaną na zwykłej płaszczyźnie zespolonej jako:

$$\xi = \xi^c + \hat{\imath} \cdot \xi^i \tag{4.36}$$

gdzie $\hat{\imath}$ jest jednostką urojoną (tożsamą z j), ξ^c oznacza emocję klasyczną, zaś ξ^i equalę. Emocję klasyczną można zapisać w postaci $\xi^c = r_{\xi^c} \cdot e^{j\omega_{\xi^c}} = r_{\xi^c} \cdot cos(\omega_{\xi^c}) + j \cdot r_{\xi^c} \cdot sin(\omega_{\xi^c})$, co z kolei można przedstawić jako $\xi^c = \xi^c_{re} + j \cdot \xi^c_{im}$. W analogiczny sposób można przedstawić equalę $\xi^i = \xi^i_{re} + j \cdot \xi^i_{im}$. Podstawiając do wzoru (4.36) otrzymujemy:

$$\xi = \xi^c + i \cdot \xi^i = \xi^c_{re} + j \cdot \xi^c_{im} + \hat{\imath} \cdot (\xi^i_{re} + j \cdot \xi^i_{im}) = \xi^c_{re} + j \cdot \xi^c_{im} + \hat{\imath} \cdot \xi^i_{re} + \hat{\imath} \cdot j \cdot \xi^i_{im}$$

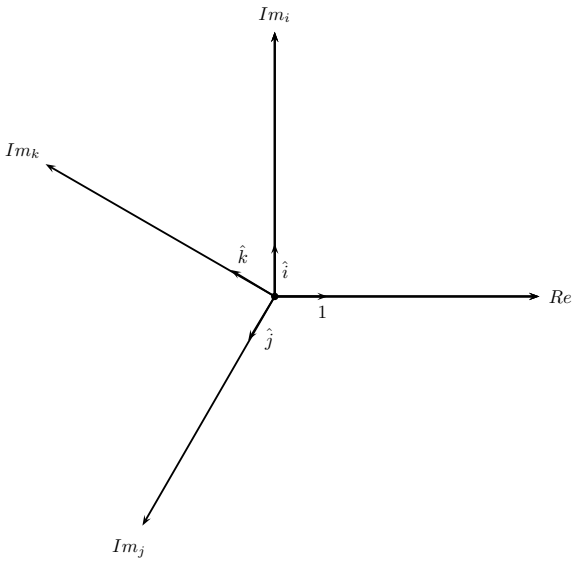
gdzie zarówno $\hat{\imath}$ jak i j oznaczają jednostkę urojoną. Przekształcając dalej na notację kwaternionów, otrzymujemy:

$$\mathbb{H}_\xi = \xi^c_{re} + \hat{\imath} \cdot \xi^i_{re} + \hat{\jmath} \cdot \xi^c_{im} + \hat{k} \cdot \xi^i_{im} \tag{4.37}$$

gdzie $\hat{\jmath} = j$, $\hat{k} = \hat{\imath} \cdot \hat{\jmath}$, natomiast $\hat{\imath}, \hat{\jmath}, \hat{k}$ symbolizują jednostki urojone, a $\mathbb{H}_\xi \in \mathbb{Q}$, gdzie $\mathbb{Q}$ oznacza zbiór kwaternionów, zaś $[\xi^c_{re},\ \xi^i_{re},\ \xi^c_{im},\ \xi^i_{im}]^T \in R^4$. Graficzna reprezentacja

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

kwaternionu przedstawiona została na rys 4.33. Pełną analogię do emocji zespolonej tworzą sub-emocje zespolone opisane jako: $\kappa = \kappa^c + j \cdot \kappa^i$, gdzie κ^c to sub-emocje, zaś κ^i symbolizują sub-equalia.



Rysunek 4.33 Graficzna ilustracja kwaternionów w $\mathbb{Q}$.

4.4.2.3. Emocja liniowa – model uproszczony

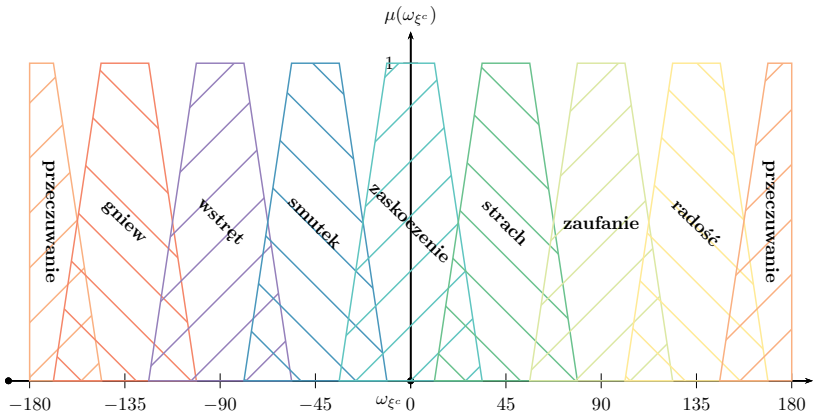
Uproszczony, liniowy model emocji jest przydatny przy wywoływaniu szybkich reakcji. Oparty jest na grupie emocji podstawowych, sformułowanej przez Plutchika (1980). Emocja liniowa jest wywoływana przez proste, podstawowe wrażenia (np. określony smak, ból, określony ruch, etc.). Taki uproszczony model emocji pozwala systemowi decyzyjnemu odblokować (umożliwić wybór) reakcje najbardziej odpowiednie do tej sytuacji. Na przykład (rodzaj uogólnionej emocji → reakcja):

- radość → wyszukiwanie pozytywnych bodźców
- zaufanie → dzielenie się zasobami, współpraca
- zaskoczenie → zatrzymanie aktualnych reakcji
- smutek → poszukiwanie pocieszenia, zadośćuczynienia
- antycypacja → przygotowywanie się
- obrzydzenie → oddalenie się od obiektu
- strach → ucieczka
- gniew → walka.

Takie reakcje ISD posiadają wysoki priorytet podczas podejmowania decyzji. W praktycznym aspekcie szczególna rola przypisana jest akcjom dotyczącym negatywnych emocji. Umożliwiają one agentowi obronę przed obiektami nieznanymi, bądź znanymi, ale powodującymi zagrożenie.

Rozmyte funkcje przynależności również są wykorzystywane w modelu liniowym emocji. Rys. 4.31 prezentuje rzut poziomy, widok z góry; zaś rys. 4.34, opisujący model liniowy, został wyznaczony dla średniej intensywności, tj. dla środkowego promienia. Korzystając częściowo z teorii oceny poznawczej (pomimo tego, że model liniowy emocji oparty jest na teorii somatycznej emocji) wrażenia odbierane przez agenta łatwo mogą być oceniane pod kątem rodzaju emocji i jej intensywności (czyli fazy i natężenia). Dzięki temu dogodnie można modelować dynamikę emocji oraz uwzględniać emocje składowe i wyznaczać emocję wynikową dla różnych barw (faz) środkowego pierścienia.

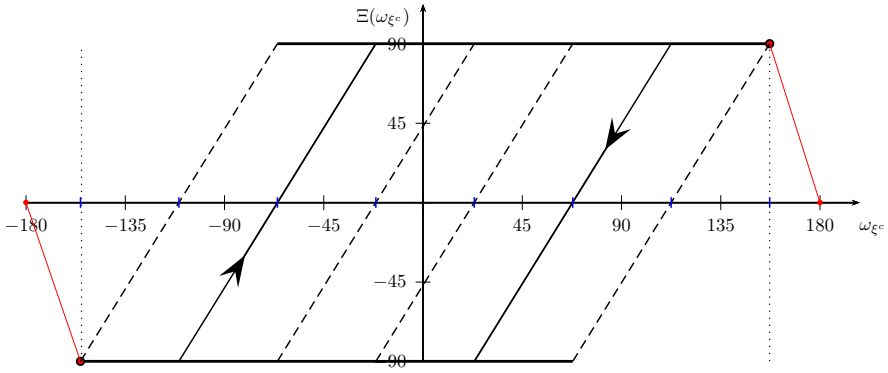
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.34 Liniowy model emocji, oparty o środkowy pierścień koła emocji.

4.4.2.4. Model nastroju – TAWS

Funkcja nastroju, opisana modelem TAWS, ma właściwości nieco podobne do pętli histerezy (ale bez samej histerezy i bez charakterystyki przekaźnikowej). Mianowicie w dowolnym punkcie pracy na charakterystyce nasyceniowej, zmiana znaku zmiennej emocji (ω_{ξ^c}) (pochodna funkcji emocji) powoduje natychmiastową liniową zmianę (spadek lub wzrost) nastroju ale z uwzględnieniem nasycenia. Funkcja nastroju działa zatem jak temporalny (dynamiczny) wzmacniacz operacyjny z nasyceniem (TAWS, *Temporary Amplifier with Saturation*). Nachylenie funkcji w zakresie liniowym zależne jest od natężenia koloru emocji.



Rysunek 4.35 Funkcja przejścia od emocji liniowej do nastroju opisująca mechanizm zmiany nastroju w zależności od klasycznej emocji (Kowalczuk i Czubenko, 2013b).

W zakresie nieliniowej zmiany emocji klasycznej na kole emocji, w przypadku gdy współczynnik zdrowia psychicznego jest określany jako 'normalny' ($\Upsilon = 1$), nie jest możliwe przejście pomiędzy maksymalną wartością kąta (180°), a minimalną (−180°). Obszar nieliniowy emocji kołowej $((-180°; -180° + \Delta°) \cup (180° - \Delta°; 180°))$ również ma wpływ na nastrój. Ponieważ gdy wzrastająca emocja znajduje się w obszarze nieliniowym, nastrój zmienia swoją charakterystykę, tj. nie utrzymuje wartości maksymalnej, ale wraz ze wzrostem modułu kąta, odpowiednio spada.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.4.2.5. Od bodźca do reakcji – model matematyczny

Cały mechanizm emocjonalny składa się z sześciu komponentów (rys. 4.30), które zostały przedstawione wcześniej. Należy teraz zwrócić uwagę na sposób ich powstawania, czyli w jaki sposób bodźce wpływają na poszczególne komponenty emocjonalne.

Klasyczna emocja jest wynikiem działania kontekstów emocjonalnych wrażeń (pre-emocji) i spostrzeżeń (sub-emocji). Na equalę wpływa personalny, subiektywny kontekst emocjonalny obiektów, czyli sub-equalia[10]. Zatem na podstawie obu emocji (subiektywnej i obiektywnej) tworzone są zarówno emocje jak i nastrój agenta.

(κ^p) Pierwszym elementem składowym podsystemu emocjonalnego xEmotion jest pre-emocja (oparta na modelu liniowym emocji). Pojawia się ona już po wykryciu odpowiednich wrażeń (cech obiektów ze środowiska) skojarzonych emocjonalnie. Do wrażeń wywołujących emocje należą na przykład:

- uśmiech → radość
- wolne gesty lub bezruch → zaufanie
- nagłe gesty, niespodziewane ruchy przy dobrym oświetleniu → zaskoczenie
- łzy → smutek
- nastawienie na wykrycie bodźców → antycypacja
- niemiłe zapachy lub smaki → obrzydzenie
- nagły ruch za plecami, niespodziewany ruch po ciemku → strach,
- atak → gniew.

Każde z wrażeń powiązanych z pre-emocją mapowane jest na odpowiednią (l-tą) pre-emocję rozmytą według modelu liniowego emocji (rys. 4.34), a konkretnie barwa (kąt) pre-emocji (κ_l^p) przynależy do jednego punktu ze zbioru $[-180, -135, -90, -45, 0, 45, 90, 135]$, natomiast wartość funkcji przynależności zależna jest od liczby aktualnych wrażeń powiązanych z emocjami. Kształtuje się ono następująco:

$$\mu(\kappa_l^p) = \frac{k+1}{k+n_{pre}} \tag{4.38}$$

gdzie n_{pre} oznacza liczbę aktualnie występujących wrażeń skojarzonych emocjonalnie, zaś k jest współczynnikiem nieczułości, którego domyślną wartością jest $k = 3$. Oznacza to, że dla trzech wrażeń emocjonalnych ich funkcja przynależności osiąga wartość powyżej 0.66.

Wykryte konteksty emocjonalne wrażeń są następnie uśredniane:

$$\kappa_0^c = \frac{\Sigma_{l=1}^{l=n_{pre}} \kappa_l^p}{n_{pre}} \tag{4.39}$$

Wartość κ_0^c jest zatem uśrednioną wartością wszystkich pre-emocji skojarzonych z postrzeganymi wrażeniami i reprezentowanych jako komponent (i) na rys. 4.30. Kolor (wartość lingwistyczna) pre-emocji determinuje preferowane emocjonalne reakcje (np. nieświadome). Intensywność, a właściwie średnia intensywność (κ_0^c) pre-emocji wpływa na emocję klasyczną. Dokładniej, pre-emocja jest przenoszona na kołowy model emocji, na promieniu zależnym od funkcji przynależności $[r = 100 * \frac{k+1}{k+n_{pre}}]$. Po tej operacji lokowania, pre-emocja traktowana jest jako jedna z sub-emocji.

(κ^c) Emocja 'klasyczna' ξ^c jest formowana przede wszystkim na podstawie dostrzeżonych i rozpoznanych obiektów z pamięci sceny oraz wyobraźni (wewnętrznych przemyśleń). Koncepcja systemu xEmotion zakłada, że do obiektów (nawet wyobrażanych) może być

[10]Nie uwzględniamy tu możliwości modelowania pre-equalii.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

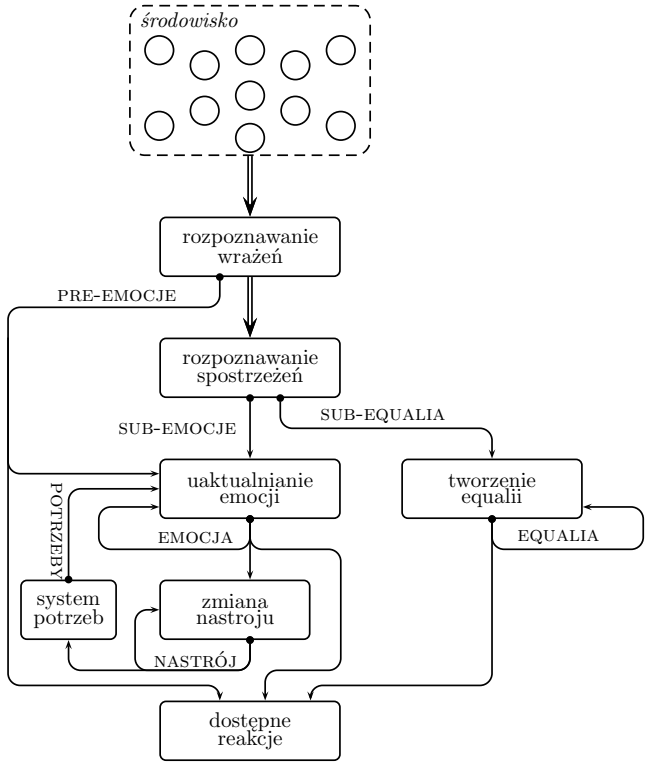
przypisany kontekst emocjonalny, który pojawia się w momencie rozpoznania (lub myślowego przywołania) danego obiektu, przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na dany obiekt. Kontekst ten został nazwany sub-emocją κ^c.

Analogicznie jak w przypadku pre-emocji (i), wyznaczana jest średnia sub-emocja (ii) z wykorzystaniem wynikowej pre-emocji na płaszczyźnie kołowej. Przy czym system xEmotion oblicza centrum 'grawitacyjne' sub-emocji, gdzie za wagę przyjmuje się maksymalną wartość z funkcji przynależności μ_i (co najwyżej z czterech $i = 1..4$, których może dotyczyć każda sub-emocja, na podstawie koła emocji, rys. 4.31). W ten sposób centrum sub-emocji wyznaczane jest za pomocą równania:

$$\varepsilon^c = \frac{1}{n}\Sigma_{l=0}^{l=n}\kappa_l^c \cdot max\left\{\mu_1\left(\kappa_l^c\right), \mu_2\left(\kappa_l^c\right), \mu_3\left(\kappa_l^c\right), \mu_4\left(\kappa_l^c\right)\right\} \tag{4.40}$$

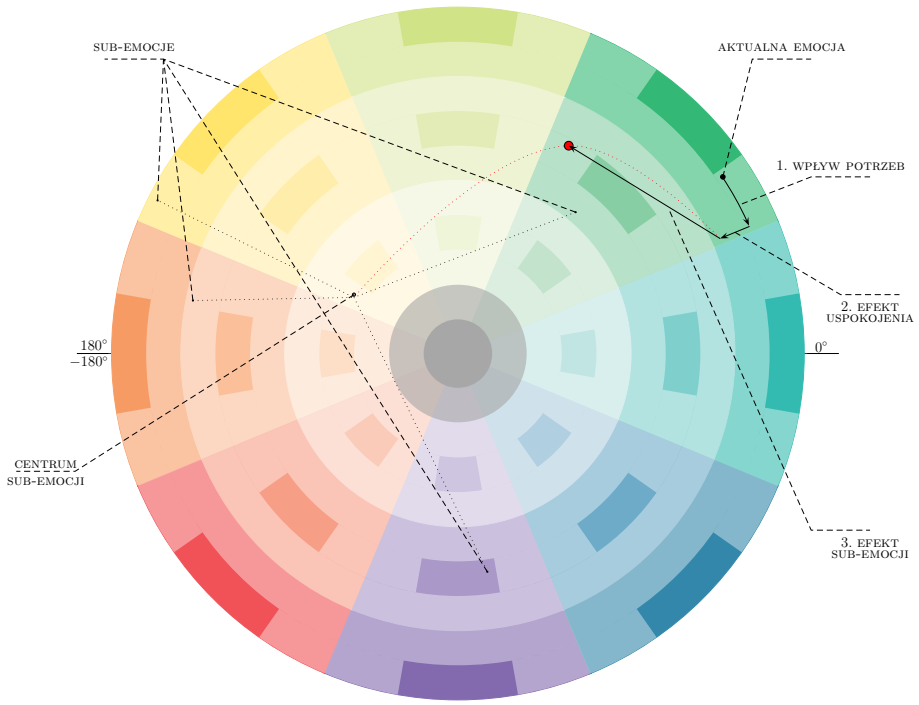
gdzie ε^c jest wyliczanym centrum sub-emocji, z kolei κ_l^c jest punktem l-tej sub-emocji oznaczonym na kole emocji (wektor lub liczba zespolona), podczas gdy μ_i oznacza funkcję przynależności odpowiedniego (i-tego) zbioru rozmytego. Centrum sub-emocji jako punkt na płaszczyźnie można rozłożyć na współrzędne biegunowe $\kappa^c = r_{\kappa^c}e^{j\omega_{\kappa^c}} = (r_{\kappa^c}; \omega_{\kappa^c})$. Dzięki temu łatwo jest prowadzić operacje dotyczące ewolucji kątowej (rotacji) emocji klasycznej.

($\Delta\zeta(H)$) Kolejnym elementem wpływającym na emocję jest funkcja określająca całkowity stopień zaspokojenia systemu potrzeb. Funkcja ta wpływa tylko na ruch kątowy (po okręgu, przy stałym promieniu). Dominacja potrzeb niezaspokojonych powoduje ruch w kierunku emocji negatywnych (ujemnie, prawoskrętnie), zaś zaspokojonych, w kierunku



Rysunek 4.36 Sposób generowania stanów emocji (klasycznej i nastroju).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.37 Ewolucja klasycznej emocji.

przeciwnym (pozytywnym, lewoskrętnym).

$$\Delta\zeta(H) = 2 \cdot \Delta^{\circ} \cdot \begin{cases} \frac{1}{n_s}\Sigma_{l=0}^{l=n_s}\mu_s\left(\eta_l\right) & \text{gdy} \quad n_s \geq n_a \\ -\frac{1}{n_a}\Sigma_{l=0}^{l=n_a}\mu_a\left(\eta_l\right) & \text{gdy} \quad n_s < n_a \end{cases} \tag{4.41}$$

gdzie $\Delta\zeta$ oznacza parametr określający stopień zaspokojenia wszystkich potrzeb H. Z kolei n_s oznacza liczbę aktualnych potrzeb zaspokojonych, a n_a oznacza liczbę aktualnych potrzeb w rozmytym stanie alarmowym. Analogicznie μ_s oznacza funkcję przynależności stanu satysfakcji, natomiast μ_a oznacza funkcję przynależności dotyczącą stanu alarmu.

Ostatnim elementem wpływającym na emocję jest efekt uspokajania (ang. *calm down effect*). Po pewnym, niewielkim czasie emocja klasyczna dąży do stanu neutralnego. Parametrem opisującym efekt uspokajania jest δ, którego domyślną wartością jest $\delta = 0.8$. Należy wspomnieć, że efekt uspokajania 'ściąga' emocję do centrum układu współrzędnych, co oznacza, że oddziałuje tylko na jej promień.

(ξ^c) Ewolucję emocji klasycznej w czasie można opisać matematycznie jako zespół operacji:

$$\xi^c := \mathfrak{T}_{\alpha}\left(\delta \cdot |\xi^c| \cdot e^{j(\omega+\zeta(H))}, \varepsilon^c\right) \tag{4.42}$$

gdzie ε^c oznacza centrum sub-emocji (4.40), zaś $\mathfrak{T}_a\left(X, Y\right)$ oznacza operację semi-translacji punktu X w kierunku Y o współczynnik proporcjonalności $\alpha \in < 0, 1 >$, która może zostać opisana jako:

$$\mathfrak{T}_{\alpha}(r_0 \cdot e^{j\omega_0}, r_1 \cdot e^{j\omega_1}) = (\alpha \cdot r_0 + (1-\alpha) \cdot r_1) \cdot e^{(\alpha \cdot \omega_0 + (1-\alpha) \cdot \omega_1)} \tag{4.43}$$

Powyższe operacje dla lepszego zobrazowania zostały przedstawione na rys. 4.37.

Podsumowując, zmianę emocji klasycznej w układzie biegunowym można opisać jako:

$$\begin{cases} \omega_{\xi^c} = \alpha(\omega_{\xi^c} + \Delta\zeta(H)) + (1-\alpha) \cdot arg(\varepsilon^c) \\ r_{\xi^c} = \alpha \cdot \delta \cdot |\xi^c| + (1-\alpha) \cdot |\varepsilon^c| \end{cases} \tag{4.44}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

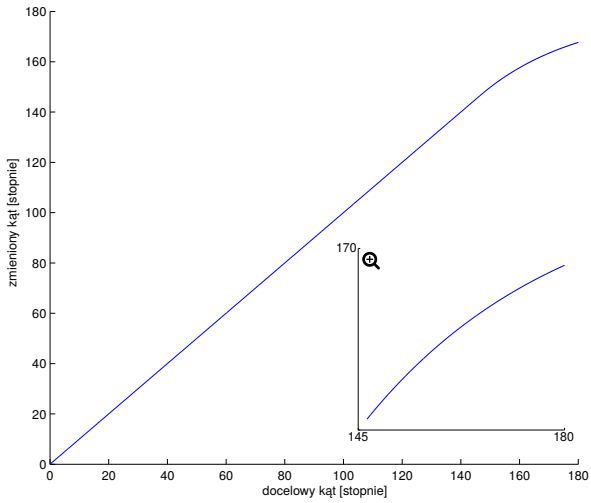
Należy w tym miejscu zaznaczyć, że istnieje pewna nieścisłość w modelu kołowym emocji. Nienaturalne, a wręcz szkodliwe, jest przejście pomiędzy rodziną emocji radości, poprzez antycypację, do gniewu. Z tego powodu wprowadzamy trzeci wymiar do opracowanego modelu emocji prowadzący do 'spirali' emocji. Oznacza to, że zmiana kąta emocji 'klasycznej' nie odbywa się na płaszczyźnie. W zależności od odległości (kąta) od wartości maksymalnej antycypacji ($180°/-180°$) rośnie 'opór' we wzroście modułu kąta. Każdy następny wzrost kąta jest nieliniowo zastępowany mniejszym wzrostem opisanym następująco:

$$\omega_{\xi^c} := \begin{cases} \omega_{\xi^c} & \text{jeżeli} \quad \omega_{\xi^c} \in (-180-\Delta°; 180-\Delta°) \\ 180-\Pi(\omega_{\xi^c}) & \text{jeżeli} \quad \omega_{\xi^c} \geq 180-\Delta° \wedge \Delta\omega_{\xi^c} > 0 \\ \omega_{\xi^c} & \text{jeżeli} \quad \omega_{\xi^c} \geq 180-\Delta° \wedge \Delta\omega_{\xi^c} < 0 \\ -180+\Pi(\omega_{\xi^c}) & \text{jeżeli} \quad \omega_{\xi^c} \leq -180+\Delta° \wedge \Delta\omega_{\xi^c} < 0 \\ \omega_{\xi^c} & \text{jeżeli} \quad \omega_{\xi^c} \leq -180+\Delta° \wedge \Delta\omega_{\xi^c} > 0 \end{cases} \tag{4.45}$$

gdzie $\Pi(\omega_{\xi^c})$ określane jest jako:

$$\Pi(\omega_{\xi^c}) = \Delta° \cdot (2-\Upsilon) \cdot e^{-\frac{\omega_{\xi^c}-180-\Delta°}{\Delta°}} \tag{4.46}$$

z kolei $\Upsilon \in < 0, 1 >$ jest parametrem oznaczającym 'zdrowie psychiczne' agenta. W przypadku technicznej, rzeczywistej realizacji agenta ISD (robota), parametr ten przyjmuje wartość $\Upsilon = 1$, co oznacza że przejście pomiędzy radością a gniewem nie jest możliwe. Rys. 4.38 przedstawia mechanizm takiego nieliniowego przejścia. Można oczywiście rozważać mnogość nieliniowych funkcji implementujących transformację $\Pi(\omega_{\xi^c})$.



Rysunek 4.38 Trzeci 'wymiar' emocji klasycznej, umożliwiający nieliniowe przekształcenie przyrostu kąta; na osi X oznaczony jest pierwotny kąt docelowy (ω_{ξ^c}), natomiast oś Y ukazuje współczynnik skalujący w zależności od pierwotnego kąta docelowego przy założeniu 'zdrowego' psychicznie agenta ($\Upsilon = 1$).

(ξ^i) W podobny sposób, opierając się na dualności systemu emocjonalnego, wyznaczana jest equale ξ^i, personalna, indywidualna emocja skojarzona z obiektami tj. komponent (iii) emocji pokazany na rys. 4.30. Wyznaczane jest ono na podstawie sub-equalii

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

κ^i. Należy jednak podkreślić, że equale nie przyjmuje predefiniowanych wcześniej wartości lingwistycznych. Model equale zakłada, że w ramach pojawiania się nowych doznań personalnych, agent tworzy własne, indywidualne stany emocjonalne na kole equalii.

Początkowe sub-equalia (equalia powiązane z obiektami) tworzone są podczas uporczywego odczuwania czegoś (wystąpienia silnego bodźca, intrygującego obiektu, 'rzucającego się w oczy'). Zjawisko to jest powiązane ze stopniem uwagi agenta (np. zdominowanie uwagi przez taki obiekt). Przy wystąpieniu takiego odczuwania, tworzone jest sub-equale o natężeniu (przeskalowany stopień uwagi) i losowym kolorze, który jest powiązany z danym obiektem. Każde następne sub-equale tworzone jest na zasadzie podobieństwa pomiędzy obiektami (4.21): jeśli obiekt z nowym sub-equale jest niepodobny, 'kolor' nowego sub-equale wyznaczany jest jako przeciwny.

Na przykład, agent znając już kilka obiektów posiadających sub-equalia, będzie zapamiętywał nowe obiekty z sub-equaliami odnoszącymi się do podobieństwa do znanych obiektów. Kiedy liczba obiektów posiadających podobne (klastrujące się) sub-equalia przekroczy pewną wartość graniczną (τ_{κ^i}), algorytmem k-średnich (MacQueen, 1967) wyszukuje się centra zbiorów, dookoła których tworzona jest rozmyta, ścięto-stożkowa funkcja przynależności ($\mu^i(\kappa^i)$). Jądro funkcji musi obejmować pięć punktów najbliższych centrum, natomiast nośnik jest definiowany jako odległość pomiędzy centrum, a punktem najdalej odeń oddalonym (przynależnym jeszcze do danego klastra).

Przy postrzeganiu obiektów centrum sub-equalii jest obliczane w analogiczny sposób do centrum sub-emocji, jako:

$$\varepsilon^i = \frac{1}{n}\Sigma_{l=0}^{l=n}\kappa_l^i \cdot max\left(\mu_1^i\left(\kappa_l^i\right), .., \mu_n^i\left(\kappa_l^i\right)\right) \tag{4.47}$$

gdzie $\mu_{(1..n)}^i$ są funkcjami przynależności equalii przyjmującymi największe wartości, podczas gdy κ_l^i reprezentuje l-ty punkt reprezentujący l-te sub-equale na kole equalii. Na podstawie centrum oraz poprzedniej wartości equalii wyznaczany jest aktualny stan equalii:

$$\xi^i := (\xi^i + \varepsilon^i)/2 \tag{4.48}$$

(Ξ) W kolejnym etapie analizowany jest wpływ emocji klasycznej na nastrój agenta (rys. 4.36). Nastrój bowiem powoduje zmianę jądra funkcji przynależności potrzeb – co w efekcie przekłada się na ich szybsze lub wolniejsze zaspokajanie. Nastrój, opisywany za pomocą funkcji TAWS(rys. 4.35), wzrasta wraz z długotrwałym utrzymaniem emocji pozytywnych, przechodząc górne nasycenie, zaś spada w przypadku dłuższego utrzymywania się emocji negatywnej. W zależności od (zmodyfikowanego wcześniej) kąta emocji klasycznej wyliczany jest nastrój (tab. 4.3).

Funkcja nastroju (Ξ) zależna jest przede wszystkim od zmiany kąta emocji klasycznej. Jej nachylenie na odcinku liniowym wynika z założenia maksymalnej zmiany nastroju (180°) przy maksymalnym skoku w kolorze (180°).

$$f_{lin}(\omega_{\xi^c}, \Xi) = \Xi + 2 * \Delta\omega_{\xi^c} \tag{4.49}$$

gdzie $\Delta\omega_{\xi^c}$ oznacza zmianę kąta emocji klasycznej.

W oparciu o nastrój, przeliczane są parametry opisujące funkcje przynależności (v_s, v_a, v_p) potrzeb (4.31), (4.32), (4.33). Przy nastroju pozytywnym potrzeby stają się mniej dokuczliwe (zaspokojone, wolniej stają się alarmowane, ale też alarmowane trudniej zaspokoić). W przypadku przeciwnym (przy negatywnym nastroju) dynamika zmian w zakresie potrzeb staje się bardziej paląca. Jednocześnie, potrzeby niezaspokojone zmieniają się szybciej, niż potrzeby zaspokojone (rys. 4.39), co jest związane z wartością wagi ($\Omega(\eta_i)$) potrzeby (niezaspokojone mają dużo większą wagę). Operacje te można zaprezentować

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

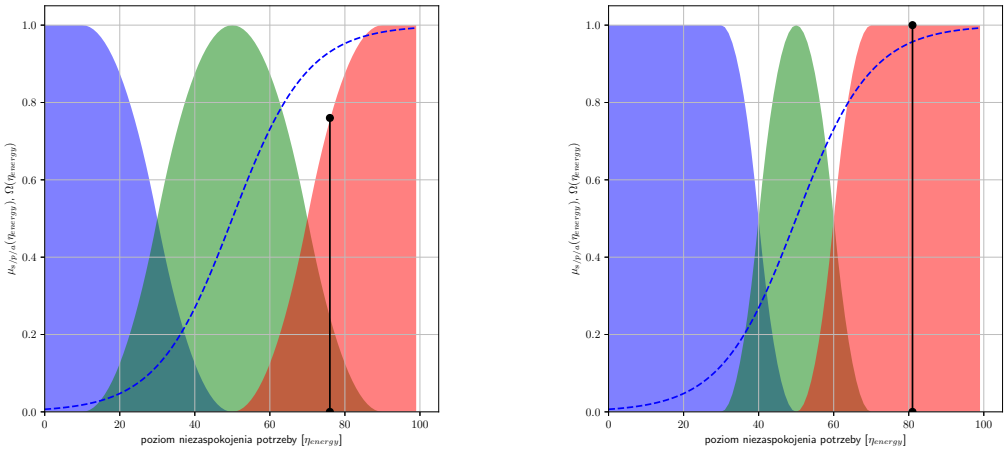
Tablica 4.3 Sposób wyliczania nastroju, gdzie $f_{lin}(\xi^c, \Xi)$ (4.49) opisuje zmianę nastroju w zakresie liniowym, poza utrzymywaniem wartości maksymalnych. Wartości liczbowe w zakresie nieliniowym wyznaczone zostały jako nachylenie funkcji i jej przesunięcie, dla odpowiednich wartości granicznych.

$\Xi(\xi^c)$	Ξ	$\Delta\omega_{\xi^c}$	ω_{ξ^c}
$-\frac{90}{\Delta^\circ}\omega_{\xi^c} + \frac{90 \cdot 180}{\Delta^\circ}$	N/A	N/A	$< 180^\circ - \Delta^\circ$
90	90	> 0	$\leq 180 - \Delta^\circ$
90	90	< 0	$\geq -90 + \Delta^\circ$
$f_{lin}(\xi^c, \Xi)$	(-90,90)	N/A	$(-180^\circ + \Delta^\circ, 180^\circ - \Delta^\circ)$
-90	-90	> 0	$\leq 90 - \Delta^\circ$
-90	-90	< 0	$\geq -180 + \Delta^\circ$
$-\frac{90}{\Delta^\circ}\omega_{\xi^c} - \frac{90 \cdot 180}{\Delta^\circ}$	N/A	N/A	$> -180 + \Delta^\circ$

zależnością:

$$\begin{aligned} v_s(\eta_i) &:= v_s(\eta_i) - \Omega(\eta_i) \cdot \Xi(\xi^c) \\ v_a(\eta_i) &:= v_a(\eta_i) + \Omega(\eta_i) \cdot \Xi(\xi^c) \end{aligned} \tag{4.50}$$

gdzie, $\Omega(\eta_i)$ jest funkcją wagi (4.34) odpowiedniej (i-tej potrzeby), zaś $\Xi(\xi^c)$ symbolizuje aktualną wartość nastroju.



(a) Nastrój pozytywny.

(b) Nastrój negatywny.

Rysunek 4.39 Przykładowa potrzeba przy po długotrwałym wpływie nastroju.

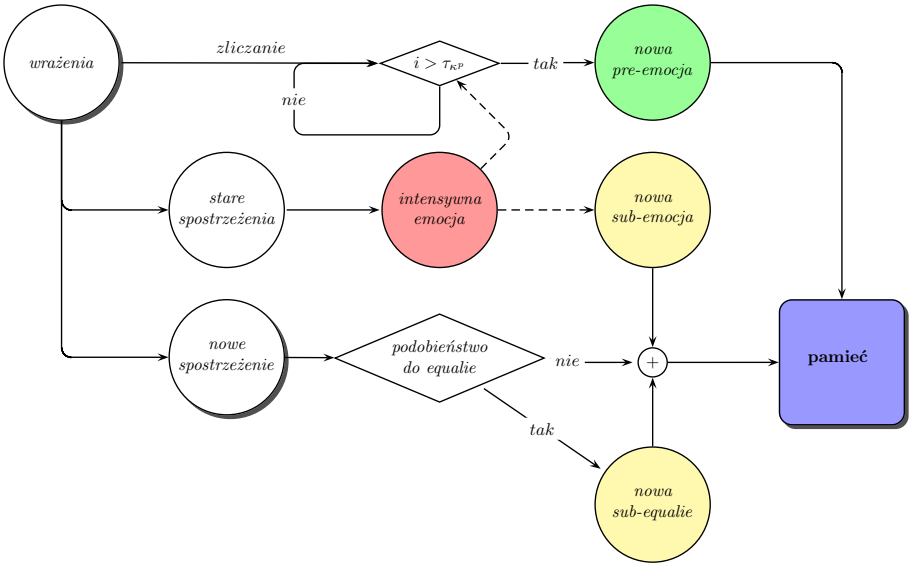
Istotną konsekwencję nastroju stanowi jego wpływ na zapamiętane obiekty (spostrzeżenia). Gdy znak (kąta) emocji agenta jest zgodny ze znakiem nastroju i jednocześnie emocja klasyczna zgadza się sub-emocją spostrzeżenia (w pamięci sceny), intensywność (promień) sub-emocji rośnie. Gdy znaki są przeciwne, a sub-emocja zgadza się z emocją, intensywność maleje. Przykładowo, pozytywna sub-emocja 'radość' może zamienić się w 'ekstazę' pod wpływem bardzo pozytywnego nastroju. W przypadku negatywnego na-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

stroju ‘radość’ może stać się tylko ‘spokojem’. Dzięki temu z czasem agent może osłabiać lub zapominać sub-emocje powiązane z obiektami.

4.4.2.6. Tworzenie nowych składowych emocjonalnych

Rys. 4.40 przedstawia graf opisujący sposób powstawania nowych pre-emocji, sub-emocji oraz sub-equalii. Nowa pre-emocja jest kojarzona z wrażeniem w momencie wystąpienia intensywnej emocji o takim samym kolorze podczas postrzegania tego wrażenia więcej niż τ_{κ^p} razy. Podobnie, sub-emocja związana jest z nowymi spostrzeżeniami, gdy agent znajduje się w stanie wysokiej, nieneutralnej emocji. Z kolei nowe sub-equale dodawane jest do nowego spostrzeżenia tylko w przypadku podobieństwa spostrzeżenia do innych spostrzeżeń posiadających daną equalie.



Rysunek 4.40 Proces tworzenia komponentów emocjonalnych agenta.

4.5 Myślenie w ISD

Myślenie polega na manipulacji wiedzą w celu postawienia problemu i uzyskania odpowiedniego rozwiązania. Tak samo jak w przypadku człowieka, u agenta można wyróżnić dwa typy myślenia: realistyczne i autystyczne. Realistyczne myślenie w ISD nastawione jest na określony cel. W pełnej analogii do ludzkiego procesu podejmowania decyzji agent formułuje problem, poszukuje zbioru adekwatnych rozwiązań oraz wybiera odpowiednie (w danym momencie) rozwiązanie. W myśleniu autystycznym agenta można wyróżnić procesy związane z restrukturyzacją pamięci oraz analizą zdarzeń w celu uzyskania dodatkowych informacji (np. tworzenie nowych akcji). Przestrzenią przeznaczoną do głębszej analizy zachowań zewnętrznych obiektów w ISD jest pamięć wyobraźni, w której możliwe jest rozgrywanie różnego rodzaju scenariuszy oraz wyciąganie wniosków na ich podstawie. Agent może tu symulować rzeczywistą sytuację i predykować (przewidywać symulacyjnie) konsekwencje jego działania, tj. odpowiadać na pytanie czy reakcja, którą agent zamierza wykonać, przyniesie oczekiwany skutek.

4.5.1. Mechanizmy realistyczne

Patrząc głębiej na myślenie realistyczne należy dostrzec szerokie spektrum dokonywania abstrakcyjnych operacji. Wśród nich można wymienić przede wszystkim:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- formułowanie problemów (definiowanie pewnego rodzaju zagadnień, które wymagają abstrakcyjnych operacji umysłowych)
- planowanie (ustalanie pośrednich kroków reakcji, w kolejnych cyklach pracy, mających określony długofalowy cel)
- formułowanie celów (poprzez *uświadomienie* istniejących braków)
- poszukiwanie rozwiązań i wybór (decydowanie) optymalnych akcji
- wdrażanie i monitorowanie rozwiązań (*świadome* wykonywanie akcji)
- wnioskowanie (wyciąganie wniosków na podstawie przesłanek lub przykładów)
- abstrahowanie (uogólnianie wniosków)
- operowanie lingwistyką (nadawanie nazw, operowanie słowami, formułowanie wypowiedzi).

Podział i uproszczony schemat sekwencji mechanizmów myślenia realistycznego przedstawiono na rys. 4.41. Na podstawie danych zawartych w pamięci sceny, za pomocą operacji wnioskowania i abstrahowania formułowane są przez agenta cele krótko i długodystansowe (w przypadku prostej funkcjonalności agenta lub w wyniku jego wewnętrznej decyzji operacja planowania może zostać pominięta). Cele formułowane są na podstawie potrzeb agenta. W przypadku wielu celów używane jest planowanie (związane np. z obecnością obiektów wymaganych do niektórych reakcji, czy wyznaczaniem priorytetów), które wybiera aktualny cel. Następnie agent przeszukuje wszystkie możliwe reakcje (zawarte w pamięci proceduralnej), które mogą prowadzić do osiągnięcia danego celu. W przypadku braku odpowiednich reakcji lub decyzji agenta, poszukuje on reakcji za pomocą operacji wnioskowania, na przykład symulując zachowanie w wyobraźni lub na podstawie zapamiętanego (w pamięci epizodycznej) cudzego zachowania. Na podstawie określonego tak zbioru rozwiązań podejmowana jest decyzja (czyli wybór reakcji), którą agent wdraża. Akcja realizowana przez agenta jest monitorowana, tak aby przy następnej próbie podjęcia takiej decyzji agent znał (z pewny prawdopodobieństwem) możliwe skutki reakcji. Możliwe jest wystąpienie problemów podczas stosowania reakcji. Dlatego powstaje kolejny krótkotrwały cel agenta, którym jest likwidacja danego problemu (który agent powinien sformułować). Formułowanie problemów może się odbyć za pomocą operacji abstrahowania i wnioskowania.

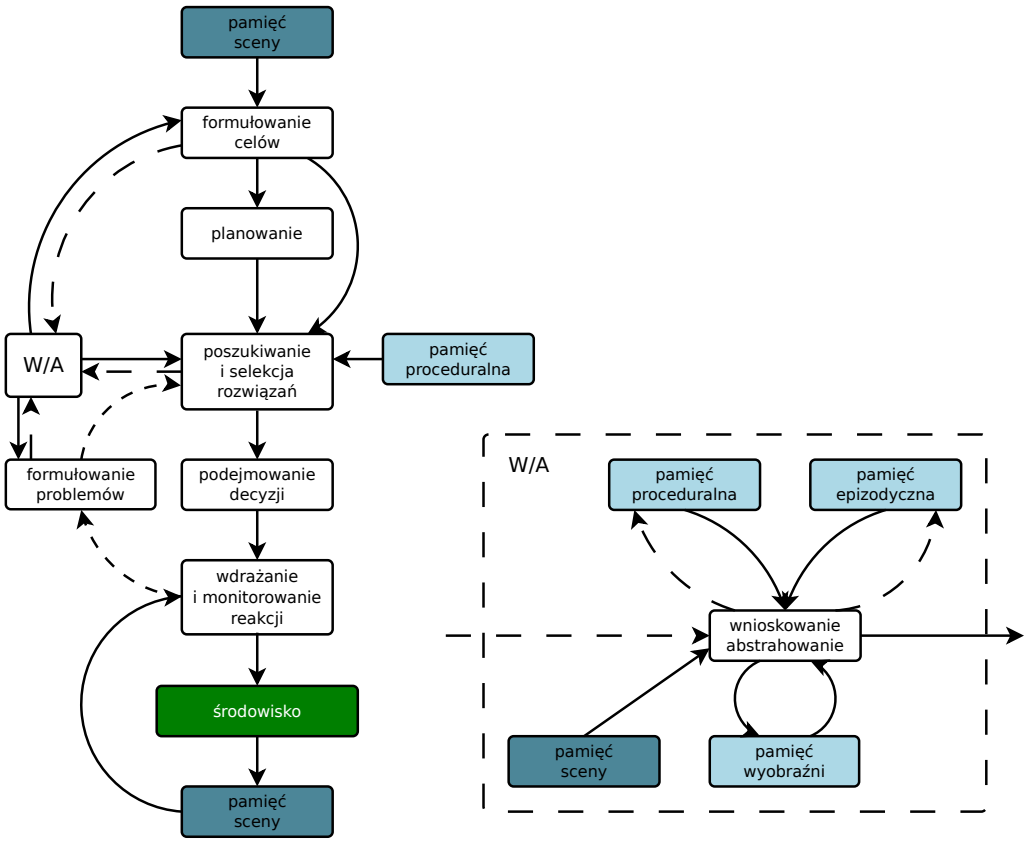
4.5.1.1. Formułowanie celów agenta

Podstawowym zadaniem (nadrzędny cel) agenta jest utrzymanie jego potrzeb w stanie spełnienia. Mechanizm wyboru reakcji agenta na podstawie aktualnego stanu potrzeb (podstawowych) przedstawiony jest w dalszej części pracy. W przypadku, gdy wszystkie potrzeby agenta są zaspokojone, może on tworzyć nowe potrzeby (zwykle generowane przez mechanizmy wnioskowania).

Uproszczony schemat wyznaczania celów przedstawia rys. 4.42. Wszystkie kolejne mechanizmy formułujące cele są uruchamiane w momencie gdy poprzednie (wyżej na rysunku) potrzeby są spełnione. Mechanizmem powiązanym z dodatkowym stawianiem celów dla agenta jest wykonywanie drobnych zadań zleconych przez projektanta, pomimo posiadania potrzeb odpowiadających celom długofalowym agenta. Również w takim wypadku agent tworzy nową potrzebę, zaklasyfikowaną do klasy bezpieczeństwa, traktowaną w taki sam sposób jak wszystkie klasyczne potrzeby.

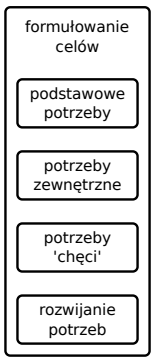
Następnym mechanizmem formułowania celów jest *chęć posiadania*. Agent analizując swoje otoczenie i dane pamięciowe (w szczególności pamięć semantyczną) może – porównując się na przykład do innego agenta – dojść do wniosku, że również chce posiadać określony obiekt. Tworzona jest wówczas odpowiednia potrzeba posiadania, jako jedna z potrzeb poziomu afiliacji (porównanie stanu posiadania oznacza chęć upodobnienia się do grupy). W analogiczny sposób działa podobny mechanizm *chęci potrafienia (umienia)*. Podstawową różnicą tego mechanizmu jest jego przynależność do wyższej klasy potrzeb,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.41 Uproszczony schemat mechanizmów myślenia: linie przerywane oznaczają sygnały kontrolne – zapytania i komendy, natomiast linie stałe symbolizują przepływ informacji; należy zauważyć, że elementarne sygnały kontrolne zostały pominięte; blok W/A przedstawiony po prawej stronie rysunku oznacza operacje wnioskowania i abstrahowania.

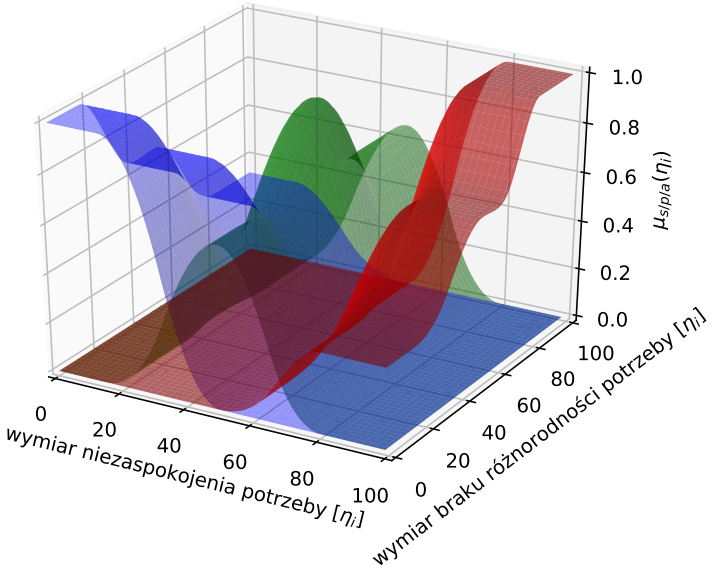
a mianowicie klasy uczenia się (odpowiadającej klasie szacunku Maslowa). Potrzeby takie charakteryzują się podziałem na etapy pośrednie, z których każdy tworzy *de facto* osobną (sub-)potrzebę. Etapy pośrednie, określane przez mechanizmy wnioskowania, mogą być na przykład związane z możliwością wykonania jakiegoś przedmiotu. Zauważmy, że taka 'wysoka' potrzeba stworzona w ramach tego mechanizmu normalnie nie jest uwzględniana przy wyznaczaniu reakcji agenta. Dopiero kiedy wszystkie *zwykłe* potrzeby będą zaspokojone, agent może próbować zaspokajać potrzeby chęci (wysokiego poziomu).



Rysunek 4.42 Wyznaczanie celów agenta.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Opcjonalnym mechanizmem jest projekcja (rozszerzanie) potrzeb (wszystkich lub tylko jednej, ściśle określonej) na kolejne *wymiary*. Można bowiem zauważyć, że w momencie zaspokojenia wszystkich potrzeb u człowieka, jego preferencje dotyczące sposobu zachowania (zaspokajania potrzeb) zaczynają się zmieniać. Przykładowo, zaspokajanie głodu chlebem z serem (przy zaspokojonych innych potrzebach), powoduje wzrost chęci jedzenia czego bardziej wyrafinowanego. Następny poziom (wymiar) zarezerwowany dla tych celów może być powiązany z *finezyjnością*, a kolejnym z *elitarnością*.



Rysunek 4.43 Rozszerzenie koncepcji potrzeby η_i o nowy wymiar (na dwuwymiarową przestrzeń). Kolorem niebieskim oznaczona jest funkcja przynależności do zbioru oznaczanego wartością lingwistyczną satysfakcji, zielonym – prealarmu, czerwonym – alarmu.

W przypadku systemu ISD/agenta, operacją matematyczną odpowiadającą za zjawisko projekcji, jest rozszerzenie rozmytej potrzeby n-wymiarowej na przestrzeń $n+1$-wymiarową. Upraszczając, ze zbiorów rozmytych określonych na płaszczyźnie tworzone są zbiory rozmyte trójwymiarowe, gdzie nowym wymiarem jest np. brak różnorodności. Opierając się na aktualnych parametrach potrzeb, przy użyciu norm Einstaina tworzone są nowe zbiory.

Pojedyncze rozszerzenie (przedstawione na rys. 4.43) w kategorii zbioru rozmytego, można opisać jako:

$$\begin{aligned}
\hat{\mu}_s(\eta_i) = \quad & \left(\mu_s(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_s(\eta_i)\right)\ [\star_S]\ \left(2/3 \cdot \mu_p(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_s(\eta_i)\right) \\
& [\star_S]\ \left(1/3 \cdot \mu_a(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_s(\eta_i)\right) \\
\hat{\mu}_p(\eta_i) = \quad & \left(\mu_p(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_p(\eta_i)\right)\ [\star_S]\ \left(2/3 \cdot \mu_s(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_p(\eta_i)\right) \\
& [\star_S]\ \left(2/3 \cdot \mu_a(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_p(\eta_i)\right) \\
\hat{\mu}_a(\eta_i) = \quad & \left(\mu_a(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_a(\eta_i)\right)\ [\star_S]\ \left(2/3 \cdot \mu_p(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_a(\eta_i)\right) \\
& [\star_S]\ \left(1/3 \cdot \mu_s(\eta_i)^T\ [\star_T]\ \mu_a(\eta_i)\right)
\end{aligned} \tag{4.51}$$

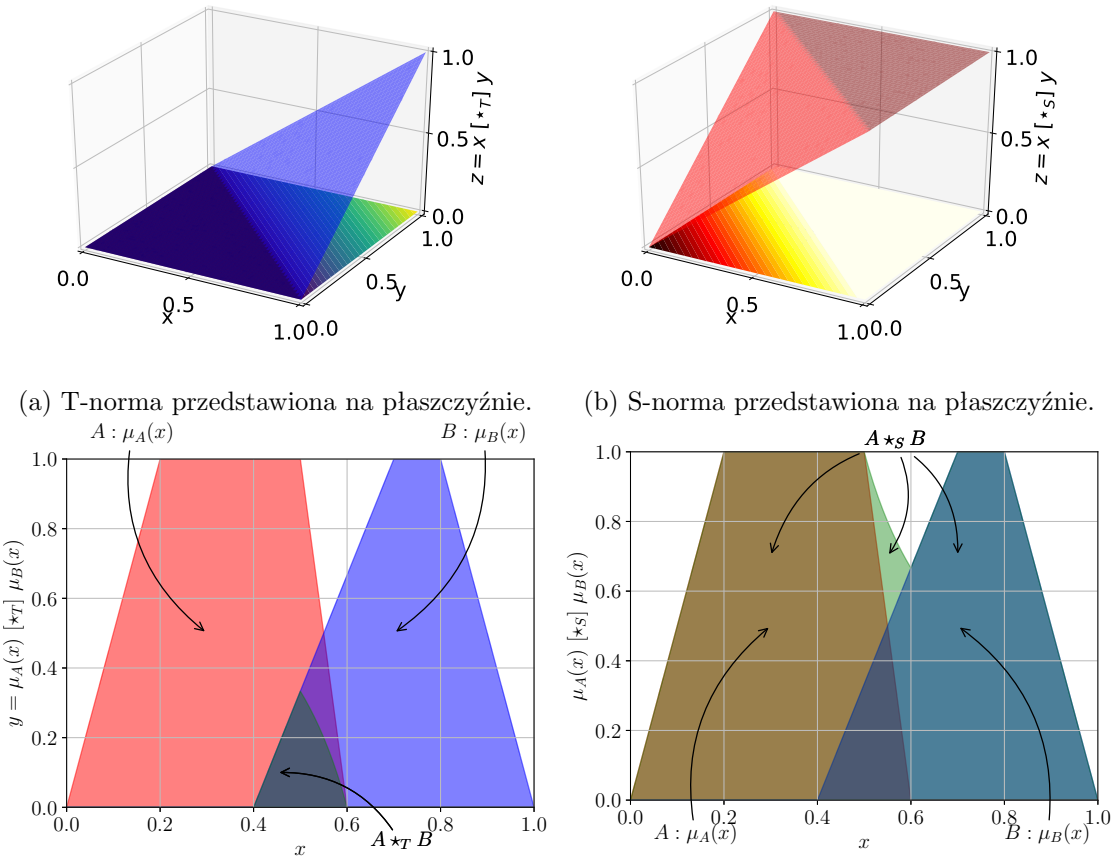
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie $\hat{\mu}_s$ jest zbiorem rozmytym określonym na płaszczyźnie $n+1$-wymiarowej opisującym satysfakcję i-tej potrzeby (η_i), $\hat{\mu}_p$ – dotyczy prealarmu, $\hat{\mu}_a$ – reprezentuje alarm; zaś ^{T} oznacza transpozycję zbioru rozmytego (zapisanego w postaci wektorowej), natomiast $[\star_T]$ i $[\star_S]$ są odpowiednio T-normą i S-normą Einsteina opisaną wzorami:

$$x\ [\star_T]\ y = \frac{xy}{2-(x+y-xy)} \tag{4.52}$$

$$x\ [\star_S]\ y = \frac{x+y}{(1+xy)} \tag{4.53}$$

gdzie x i y to argumenty odpowiedniej normy ($x, y \in < 0, 1 >$). Obie normy przedstawione są na rys. 4.44. Należy zauważyć, że normy te wydają się na rys. 4.44a, 4.44b płaskie, choć w rzeczywistości jest to tylko złudzenie.



(a) T-norma przedstawiona na płaszczyźnie.

(b) S-norma przedstawiona na płaszczyźnie.

(c) T-norma dwóch zbiorów we wspólnej dziedzinie.

(d) S-norma dwóch zbiorów we wspólnej dziedzinie.

Rysunek 4.44 Prezentacja norm $[\star_T]$ i $[\star_S]$ Einsteina.

4.5.1.2. Planowanie

Planowanie polega na ustalaniu sekwencji działań mających prowadzić do osiągnięcia określonego celu. Prosty wybór pojedynczego celu, to wersja minimalna planowania, ukazana na rys. 4.41. W rzeczywistości moduł planujący zarządza także selekcją i poszukiwaniem rozwiązań. Innymi słowy, jego zadanie polega na ułożeniu (sekwencji) reakcji agenta, tak aby był on w stanie osiągnąć określony cel. Moduł planowania, oprócz dostępu do celów agenta i jego reakcji posiada także możliwość wnioskowania. Dobrym przykładem, który

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

opisuje zagadnienie planowania akcji agenta, jest ułożenie wież Hanoi (Hofstadter, 1985). Przykład rozwiązania problemu planowania w robotyce można znaleźć w pracach (Jeon *et al.*, 2008; Belta *et al.*, 2007).

Na podstawie informacji dotyczących stanu agenta (a dokładnie – jego potrzeb definiujących cele), moduł planujący analizuje wyselekcjonowane reakcje spełniające wyznaczone wcześniej potrzeby. Sprawdza dostępność (obecność) obiektów wymaganych przez reakcje, a następnie ustala sekwencję, w jakiej agent powinien wykonać akcje (reakcję). Kiedy niemożliwe jest wypełnienie tego celu agenta (spełnienie palących potrzeb), moduł planowania podejmuje próbę wywnioskowania nowej reakcji osiągającej dany cel. Pomimo zaprojektowania obecności modułu planowania w ISD, nie został on jeszcze szczegółowo zaimplementowany. Można uznać, że zadaniem modułu planującego jest zarówno diagnostyka problemu oraz harmonogramowanie w jaki sposób uniknąć błędu. W obu przypadkach można zastosować szereg metod sztucznej inteligencji (Kowal *et al.*, 2002; Korbicz i Kowal, 2014).

4.5.1.3. Poszukiwanie rozwiązań i podejmowanie decyzji

W odniesieniu do myślenia realistycznego, a konkretnie – do podejmowania decyzji, w ISD zastała zaimplementowana sieć neuronowo-rozmyta (Kowalczuk i Czubenko, 2011b). Mechanizm ten bierze pod uwagę wszystkie dostępne (odfiltrowane) dla agenta reakcje i ocenia hipotetyczną skuteczność każdej z nich. Następnie dokonuje wyboru najlepiej ocenionej reakcji.

Pierwszy etap poszukiwania rozwiązań w ISD dotyczy selekcji reakcji. Teoretycznie, jest to selekcja 3-go stopnia (sekcja 2.1.2.1), jednakże ze względu na bezpośrednie połączenie z systemem decyzyjnym agenta, jest ona omówiona w niniejszej sekcji. Proces selekcji opiera się na trzech filtrach: emocjonalnym, dostępności i wyboru. Głównym zadaniem tych filtrów jest wyselekcjonowanie właściwych reakcji.

Zarówno filtracja dostępnych reakcji, jak i później stosowana sieć neuronowo-rozmyta, mają na celu zmniejszenie złożoności obliczeniowej wyboru reakcji. Aby dać pewne uzasadnienie proponowanego rozwiązania, przeanalizujmy kwestię złożoności. Jak już wspomniano, dziecko w wieku kilku lat posiada około $n = 26$ różnych potrzeb i około $m = 20$ złożonych reakcji (głównie ruchów i dźwięków). W dużym przybliżeniu można tu mówić o porównaniu dwóch podejść do problemu podejmowania decyzji: CDM (ang. *Crisp Data Mining*), ostra ocena z eksploracją danych oraz FNN (ang. *Fuzzy-Neural Network*), rozmyta ocena z siecią neuronową (opisaną w dalszej części). Zakładając 8-bitowe przedstawienie stanu 26 potrzeb, w ostrym podejściu (w celu wyboru jednej reakcji) otrzymuje się liczbę potrzebnych decyzji równą liczbie możliwych wariantów: $2^{8^{26}} = 256^{26} \cong 4.1e62$. Przy 7 potrzebach (jak w uproszczonym eksperymencie robota opisanego w sekcji 5.1) baza danych miałaby tylko 7.2e16 rekordów. Natomiast w przypadku FNN, agent dysponuje $3 \cdot n \cdot m$ danymi (o 3 stanach potrzeb), które są następnie podawane sieci podejmującej decyzję, co prowadzi do 1260 możliwości w przypadku dzieci, a 105 w przypadku prostego robota (Kowalczuk i Czubenko, 2011b). Oczywiście, proponowane rozwiązanie FNN posiada własną złożoność wynikającą ze struktury neuronów 'and', 'or' i 'not'. W związku z tym można oszacować złożoność metody FNN jako $6320 \cdot \sum$ oraz $7900 \cdot \prod$ operacji, zaś dla eksperymentu robota: $1700 \cdot \sum$ oraz $2200 \cdot \prod$ operacji (w przypadku norm Einsteina, które są dosyć złożone numerycznie).

Zatem, biorąc pod uwagę wskazane wyżej możliwości, problem optymalizacji decyzji może zostać uproszczony i wygodnie rozwiązane przez sieć FNN symulującą efekt reakcji, zamiast trzymać ogromny zestaw potrzeb i reakcji *in extenso* w pamięci agenta, jak w przypadku CDM. Dodatkową zaletę tego podejścia można znaleźć w jego adaptacyjności, dostosowywaniu się do zmieniających się warunków decyzyjnych (np. ograniczenie liczby reakcji, czy dodanie nowej potrzeby).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

♠ *Filtr emocjonalny*

Filtr emocjonalny ma na celu selekcjonowanie reakcji, które są dostępne tylko przy wystąpieniu pewnej emocji. Sposób wyznaczania emocji agenta został przedstawiony poprzednio (sekcja 4.4.2), co pozwala na filtrację reakcji adekwatnie do *odczuwanych* emocji. Większość reakcji skojarzona jest z pozytywno-neutralnymi emocjami. Jednakże pewne szczególne reakcje powiązane z emocjami silnie negatywnymi stają się wykonywalne dopiero wówczas, gdy agent osiągnie dany stan emocjonalny. Oprócz reakcji powiązanych silnie negatywnie, istnieją reakcje, które są dostępne wyłącznie podczas emocji silnie pozytywnych. Przykładowo, reakcja *uderzenie* staje się osiągalna w momencie odczucia przez agenta *gniewu*. Jednocześnie reakcje dostępne przy neutralnej emocji zostają zamaskowane (usunięte ze zbioru dostępnych reakcji).

Mechanizm filtru emocjonalnego reakcji doskonale odnosi się do szeroko znanego mechanizmu sterowania SVC (ang. *Scheduling Variable Control*), tj. harmonogramowania wzmocnienia (ang. *Gain Scheduling*) (Kowalczuk i Czubenko, 2017c, 2016). Jest to podejście nieliniowe do sterowania układami za pomocą przełączania pomiędzy różnymi regulatorami w zależności od punktu pracy układu. SVC może opierać się na różnych zasadach, na przykład na linearyzacji rozwinięcia szeregu opisującego kontrolowaną nieliniowość (Leithead, 1999) lub linearyzacji Jacobiego dla rodziny punktów równowagi takiego obiektu (Rugh i Shamma, 2000). Ogólnie, istnieje wiele sposobów stosowania takiego uniwersalnego podejścia do projektowania nieliniowych układach sterujących. Dla celów ilustracyjnych, wymienimy tu kilka opracowanych metodologii:

- klasyczne SVC (Kaminer *et al.*, 1995)
- harmonogramowanie quasi-LPV (Rugh i Shamma, 2000)
- rozmyte harmonogramowanie wzmocnienia (Krzaczek i Kowalczuk, 2012)
- neuronowo-rozmyte harmonogramowanie wzmocnienia (Tan *et al.*, 1997)
- podejście oparte na metodzie Lapunowa LPV (Leithead, 1999).

Strategia SVC to przede wszystkim metoda przełączania między sterownikami i modelami uwzględniającymi zmiany punktu pracy układu sterowania. Strategia ta stanowi skuteczne uproszczenie zadania sterowania dla układów nieliniowych. Co więcej, może być ona stosowana nawet bez analitycznego modelu kontrolowanego obiektu. Niemniej, najważniejszą zaletą SVC jest możliwość natychmiastowego przystosowania sterownika do nowych warunków pracy systemu, co przywodzi na myśl praktyczne perspektywy zastosowania emocji.

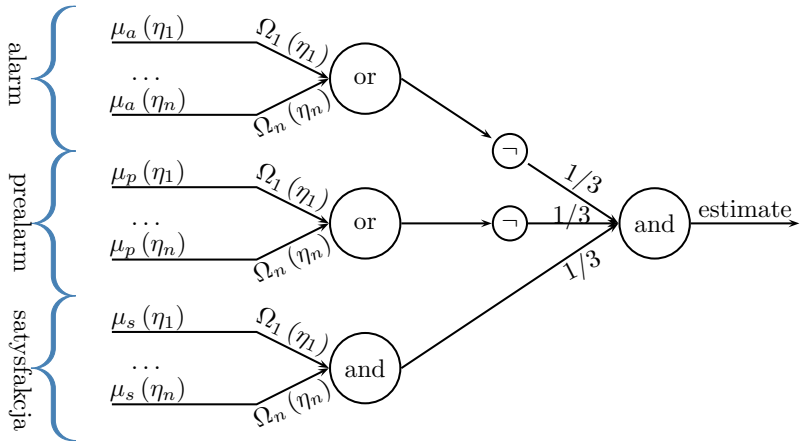
Stosując podejście oparte na emocjach, agent może od razu, bez głębokiego 'myślenia', odpowiedzieć na konkretne (albo i skrajne) sytuacje dotyczące zewnętrznego lub wewnętrznego 'świata'. W szczególności, w przypadku przywołanych silnych emocji, takich jak złość, wstręt, czy strach, szybka reakcja może być kluczowa dla istnienia agenta. Taka zasada działania jest zatem praktycznie identyczna, jak w strategii SVC.

♠ *Filtr dostępności*

Filtr dostępności ma za zadanie eliminację reakcji (wśród zbioru dostępnych akcji) związanych z obiektami, które nie występują w danej chwili w pamięci sceny. Na przykład, agent nie może 'nakarmić słonia', jeśli 'słonia' nie ma w jego bezpośrednim otoczeniu.

Drugim aspektem filtru dostępności jest eliminacja reakcji, które wymagają narzędzia, które nie znajduje się w pobliżu agenta. W takim przypadku reakcja staje się dostępna tylko poprzez mechanizm planowania. Agent może wówczas zaplanować sekwencję reakcji związaną z odpowiednimi przedmiotami. Przykładowo, agent może zmienić otoczenie, czyli udać się do zoo, gdzie słoń będzie dostępny, a następnie go nakarmić.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.45 Rozmyto-neuronowa sieć oceniająca skutek potencjalnego zastosowania reakcji, tj. estymująca dopasowanie reakcji do aktualnego stanu potrzeb agenta.

♠ *Filtr wyboru*

Ostatni z filtrów *de facto* nie jest typowym filtrem – jest raczej furtką, dzięki której agent może eliminować niektóre reakcje. Agent w trakcie innych procesów myślowych (takich jak wnioskowanie, czy wyznaczanie długofalowych celów) może uznać, że niektóre reakcje mogą mieć niepożądany wpływ na aktualnie realizowane długofalowe cele – i na tej podstawie – może 'świadomie' wykluczyć dane reakcje ze zbioru, w którym dokonuje wyboru reakcji.

♠ *Hipotetyczna ocena reakcji*

Decyzja dotycząca podejmowania reakcji dokonywana jest poprzez optymalizację ważonych kryteriów obejmujących maksymalizację stanów satysfakcji oraz minimalizację stanów alarmowych i pre-alarmowych. Opierając się na informacji *a priori* dotyczącej wpływu poszczególnych reakcji na system potrzeb, dla każdej reakcji uruchamiany jest proces 'symulacji' aby ocenić jej wpływ na cały system analizowanych potrzeb. Uzyskany w ten sposób hipotetyczny (nowy) stan potrzeb (poziom niezaspokojenia oceniany przez funkcje przynależności $\mu_{s/a/p}(\eta_i)$ (4.31), (4.32), (4.33) wraz z odpowiednimi wagami $\Omega(\eta_i)$ (4.34)) podawany jest na wejście informacyjne sieci neuronowo-rozmytej (rys. 4.45). Zastosowanie sieci neuronowo-rozmytej jest powszechne w zagadnieniach związanych z wnioskowaniem (Calado *et al.*, 2006; Korbicz *et al.*, 1994).

Analiza równoległa Przykładowo: pierwszy neuron (najniżej położony węzeł) ujmuje rozmyte relacje reprezentujące przynależności wszystkich analizowanych potrzeb do stanu satysfakcji, wyrażone odpowiednimi liczbowymi wagami (dynamicznymi) oceniającymi lingwistyczno-rozmyty poziom spełnienia poszczególnych potrzeb ($\mu_s(\eta_i)$). Następny (wyższy) neuron rozważa stan pre-alarmu potrzeby ($\mu_p(\eta_i)$), zaś ostatni (najwyższy) – stan alarmu ($\mu_a(\eta_i)$). Wagi wszystkich neuronów w ten warstwie określone są za pomocą funkcji wagi ($\Omega_i(\eta_i)$) osobno wyliczanej dla każdej z potrzeb. Dzięki temu potrzeby niezaspokojone są ważniejsze, niż potrzeby spełnione.

Zastosowany neuron typu 'or' jest obliczany za pomocą następującej formuły:

$$y = f_{or}(\mathbf{u}, \mathbf{w}) = \ [\star_S]\ {}_{i=1}^{n}\ (w_i\ [\star_T]\ u_i) \tag{4.54}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie $[\star_T]$ oznacza T-normę, $[\star_S]$ zaś reprezentuje wieloargumentową (w oparciu o właściwość łączności operacji dwuargumentowej) S-normę. Obie normy zostały użyte w postaci funkcji zaproponowanych przez Einsteina (4.52), (4.53). Wejścia neuronu oznaczone są jako u_i i odpowiadają odpowiednim funkcjom przynależności danych potrzeb, tj. $\mu_p(\eta_i)$ i $\mu_a(\eta_i)$, natomiast w_i reprezentuje wagę każdego z wejść i przyjmuje wartość funkcji wagi analizowanej potrzeby ($\Omega_i(\eta_i)$).

Symbol $\neg$ reprezentuje negację w sensie Yagera (rzędu s):

$$N^s(x) = (1 - x^s)^{\frac{1}{s}} \tag{4.55}$$

W proponowanej sieci neuronowej, oceniającej wpływ reakcji przyjęto najprostszy rząd negacji $s = 2$.

Z kolei neuron typu 'and' opisany jest poniższą funkcją:

$$y = f_{and}(\mathbf{u}, \mathbf{w}) = \ [\star_T]\ {}_{i=1}^{n}\,(w_i\ [\star_S]\ u_i) \tag{4.56}$$

gdzie, analogicznie u_i reprezentuje wejścia neuronu, zaś w_i ich wagi. W przypadku neuronu 'and', który dotyczy satysfakcji, wejściem są wartości funkcji przynależności danych potrzeb, tj. $\mu_s(\eta_i)$, zaś wagami, tak ja poprzednio wagi analizowanej potrzeby ($\Omega_i(\eta_i)$). W przypadku ostatniego neuronu (*sumującego*) wejścia stanowią zanegowane wyjścia neuronów 'or', oraz wyjście neuronu 'and'. Wagi tego neuronu ustawione są jako 1/3.

Przedstawiona sieć FNN generuje estymowaną ocenę reakcji ($\hat{if}_{\mathcal{R}_j}$) jako wartość rzeczywistą z przedziału $< 0, 1 >$, co skutkuje prostotą w porządkowaniu reakcji. Najlepsza reakcja jest przeznaczana do wykonania – z oczekiwaniem, że wpłynie ona pozytywnie na system potrzeb agenta i poprawi jego stan.

Analiza szeregowa (sekwencyjna) Pierwsza warstwa sieci neuronowej reprezentuje operację zbierania danych. Zastosowany neuron satysfakcji typu 'and' zakłada, że wszystkie potrzeby powinny być zaspokojone; wyjście tego neuronu jest estymatą globalnego poziomu zaspokojenia (np. niska wartość estymaty ukazuje, że duża liczba potrzeb jest niezaspokojona). Przyjęty typ neuronów ('or') w sieci FNN dla pre-alarmu i alarmu zakłada, że wszystkie potrzeby powinny być jak najdalsze od tych niepożądanych stanów.

Druga warstwa FNN oblicza ko-estymatę wszystkich zmiennych lingwistycznych (zaspokojenia, prealarmu, alarmu). Jej wynik należy interpretować jako 'każda potrzeba powinna zostać zaspokojona oraz żadna nie powinna być w stanie pre-alarmu, ani alarmu'. Wagi w tej warstwie rozłożone są po równo, tj. każde wejście jest ważone współczynnikiem 1/3, tak aby wyjście ostatniego neuronu było znormalizowane.

Podsumowując, przewidywany wynik każdej reakcji jest obliczany poprzez symulowaną ocenę wszystkich efektów jej zastosowania. Kompletna estymacja jest wykonywana przez FNN dla każdej potencjalnej reakcji oraz opiera się na danych reprezentujących (przyrostowy) stan zaspokojenia (n) rozważanych potrzeb. Dane znanych reakcji zapamiętywane są w pamięci długotrwałej (w szczególności ich 'nauczony' wpływ na określone potrzeby). Dzięki temu maszyna wnioskująca jest zdolna do przewidywania 'odpowiedzi środowiska' (rozłożonej na cały zestaw potrzeb) oraz do estymowania skutku każdej reakcji agenta, a w ostateczności do wyboru najlepszej możliwej opcji (optymalizacji decyzji).

4.5.1.4. Wdrażanie reakcji i ich monitorowanie

Jak opisano powyżej, agent (znając estymowany wpływ reakcji na jego potrzeby) jest w stanie wybrać odpowiednią reakcje i wdrożyć ją, czyli wykonać zaplanowane działanie. Za wykonanie wybranej wcześniej reakcji oraz jej nadzór odpowiedzialny jest moduł monitorowania reakcji. Głównym jego zadaniem jest zbieranie informacji korygującej znany hipotetyczny wpływ reakcji na potrzeby agenta, gdyż podczas wykonywania przez agenta

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

reakcji bieżąco monitorowany jest wpływ środowiska na stan agenta. Należy tu oczywiście ocenić czy zmiana stanu potrzeb agenta jest efektem reakcji agenta (zwłaszcza zakończonej), czy też wywołał ją jakiś inny obiekt ze środowiska.

Każda reakcja składa się ze zbioru pierwotnych sekwencji (akcji) podawany na poszczególne człony wykonawcze. Oczywiście moduł wdrażania reakcji najpierw musi sprawdzić jej wykonywalność. Może się na przykład zdarzyć sytuacja, w której coś blokuje trajektorię manipulatorów. O ile tego typu sytuacja nie będzie wykryta wcześniej przez agenta (w trakcie planowania i poszukiwania rozwiązań) pojawi się jako problem, który agent musi rozwiązać (analogicznie dzieje się w trakcie wykonywania składowych akcji). W przypadku gdy jakiś obiekt niespodziewanie znajdzie się w kolizji z trajektorią wykonywaną przez agenta, zatrzymywane jest wykonywanie reakcji i problem jest zgłaszany do modułu formułowania problemów.

Moduł monitorowania reakcji przede wszystkim jednak obserwuje stan systemu potrzeb agenta. Wyznacza linię trendu zmian potrzeb, a następnie reaguje na anomalie. Agent powinien też przewidywać różne sytuacje: przykładowo, jeśli agent wdraża jakieś reakcje (korzysta z energii), jego potrzeba energii (ładowania) musi odpowiednio narastać. Wtedy gwałtowny spadek energii powinien być uznany za anomalię, a w konsekwencji tego, moduł monitorowania powinien zlokalizować (przy użyciu metod wnioskowania) źródło anomalii, sprawdzić czy któraś reakcja wykonywana przez agenta wymagała większej ilości energii (i dlaczego), czy może nowy obiekt (w pamięci sceny) wywołał tą zmianę, czy też któryś z obiektów wpłynął tak na agenta.

Monitorowanie systemu potrzeb, w kontekście wykonywanej reakcji, jest konieczne. Rzadko bowiem się zdarza, że pojedyncza reakcja wpływała na system potrzeb agenta bezpośrednio po jej wykonaniu. Z reguły wpływ reakcji widoczny jest tuż po rozpoczęciu jej wdrażania (już pierwszy kęs wpływa na zmniejszenie poczucia głodu człowieka). Jednakowoż większość reakcji kończy swój wpływ na potrzeby z dużym opóźnieniem (po zakończeniu reakcji). Dlatego użycie takiego modułu jest konieczne w przypadku ISD.

4.5.1.5. Formułowanie problemów

Mający na celu formułowanie problemu moduł zajmuje się wyszukiwaniem informacji dotyczących aktualnie przerwanych reakcji za pomocą metod wnioskowania i uczenia maszynowego. Kiedy moduł monitorowania reakcji wykryje kolizję z jakimś obiektem, należy znaleźć odpowiedź na pytania: co to za obiekt, w jaki sposób zakłóca trajektorię, w jaki sposób go ominąć.

Przykładowo, robot, wybierając reakcję jazdy na wprost, napotyka po pewnym czasie przeszkodę. Reakcja dalszej jazdy jest przerywana, a moduł formułowania problemów, stwierdza (na podstawie danych percepcyjnych), że przeszkoda ta jest obiektem posiadającym tryb czasowy P (nie M). Wówczas podstawową opcją pozwalającą na kontynuację jazdy, jest ominięcie przeszkody. Zatem moduł formułowania problemów definiuje problem do rozwiązania: w jaki sposób ominąć obiekt?

4.5.1.6. Wnioskowanie i abstrahowanie

Moduł odpowiadający za wnioskowanie opiera się na przyjętym sposobie zapisu obiektów w pamięci semantycznej. Pamięć semantyczna ISD posiada elementy odpowiadające elementom logiki opisowej ($\mathcal{DL}$) oraz logiki rozmytej. Umożliwia to prowadzenie wnioskowania opartego na ontologiach oraz zbiorach rozmytych. Warto zauważyć, że wnioskowanie oparte na logice opisowej pasuje do koncepcji spostrzeżeń i relacji między nimi, podczas gdy wnioskowanie rozmyte może być użyte przy koncepcji wrażeń (w dużej części opisanych w sposób rozmyty). Poniższy szkic stanowi propozycję implementacji modułu wnioskującego (nie został on jeszcze zaimplementowany).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

♠ *Wnioskowanie za pomocą logiki opisowej*

Aby użyć metod wnioskowania za pomocą logiki opisowej (Waloszek, 2007), w szczególności dialektu $\mathcal{SHIQ}$, należy zmapować zawartość pamięci semantycznej agenta. Nie chodzi w tym wypadku o bezpośrednie tłumaczenie całej pamięci, a jedynie o rzutowanie odpowiednich relacji i spostrzeżeń na ich odpowiedniki w logice opisowej.

Sugerowany wcześniej podział pamięci semantycznej na abstrakcyjną i instancyjną ma pewne odzwierciedlenie w logice opisowej. Abstrakcyjna pamięć semantyczna reprezentuje opis terminologii świata, czyli tzw. TBox (ang. *Terminological Box*). Zaś instancyjna pamięć semantyczna odpowiada asercjom konceptów i ról, czyli tzw. ABox (ang. *Assertional Box*).

W terminologii świata każda nazwa symboliczna jest unikatowa (zdefiniowana co najwyżej jeden raz). W TBoxie znajdują się koncepty atomowe (z reguły oznaczane A i B), koncepty złożone (oznaczane C i D) oraz relacje atomowe (R i S). Konceptem atomowym jest np. $A = Person$, $B = Female$ zaś złożonym $C = Person \sqcap Female$, gdzie $\sqcap$ oznacza przecięcie konceptów. W logice opisowej $\top$ jest konceptem uniwersalnym (czymś), zaś $\bot$ jest konceptem pustym (niczym). Terminologia opisuje powiązania między konceptami i relacjami. Oprócz koniunkcji $C \sqcap D$ (przecięcia konceptów), alternatywy $C \sqcup D$ (sumy konceptów) i dopełnienia konceptów $\neg C$, wyróżnia się jeszcze kwantyfikację egzystencjalną $\exists R.C$, kwantyfikację ogólną $\forall R.C$, ich ograniczenia oraz koncept wyliczany. Za ich pomocą można opisać aksjomaty terminologiczne: inkluzję $C \sqsubset D$, równoważność $C \equiv D$. Przykładową terminologię można zaprezentować w postaci układu (dwóch w tym wypadku) aksjomatów terminologicznych opisujących TBox (a-spostrzeżenia w ISD):

TBox:

$$Hero \equiv Rich \sqcap Human \sqcap \exists fights.Villain$$
$$Villain \equiv \exists fights.Hero$$

gdzie $Rich$ jest konceptem atomowym, $Human$, $Hero$, $Villain$ konceptami złożonymi, zaś $fights$ relacją.

Zaś druga część logiki opisowej, czyli ABox, reprezentuje zbiór asercji konceptów i ról. W ISD odpowiada ona części instancyjnej pamięci semantycznej. W logice $\mathcal{DL}$ asercja koncepcyjna (oznaczana jako a, b, itp.) przypisana jest zawsze do pewnego konceptu (co odzwierciedla relację dziedziczenia w ISD) $a : C$. Dwie asercje koncepcyjne mogą być w relacji, powstaje wtedy asercja relacyjna $(a, b) : R$. Należy zauważyć, że asercja relacyjna w ISD dotyczy zwykle relacji funkcjonalnych (wtórnych). Przykładowy ABox (instancje w ISD) można zaprezentować odnosząc się do powyższego TBoxa:

ABox:

$$ironman : Hero$$
$$mandarin : Villain$$

Należy zaznaczyć, że w ISD przyjmujemy otwarty model świata – OWA (ang. *Open World Assumption*). Oznacza to, że brak wiedzy związanej z jakimś aspektem nie zaprzecza danemu aspektowi.

Sposób mapowania struktury pamięciowej ISD w elementy logiki opisowej przedstawiono w tab. 4.4 (podstawowe elementy ISD) oraz w tab. 4.5 (operacja na elementach ISD). Koncept prosty w $\mathcal{DL}$ odpowiada bezpośrednio pojedynczemu wrażeniu γ w ISD. Złożenie konceptów prostych tworzy koncept złożony, czyli spostrzeżenie w ISD. Dopóki

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

mówimy o terminologii, będą to spostrzeżenia abstrakcyjne (Γ^a). Następnie, koncepcja abstrakcyjnej pamięci semantycznej w ISD zaczyna się od abstrakcji (bytu, korzenia drzewa, roota), którą w $\mathcal{DL}$ reprezentuje koncept uniwersalny. Z kolei koncept pusty jest czymś co nie istnieje, niebytem oznaczanym jako $\Gamma^{a\perp}$.

Przecięcie konceptów odpowiada operacji uwspólnienia ($\otimes$), czyli zdefiniowania części wspólnej spostrzeżeń (zbioru wspólnych wrażeń), zaś suma konceptów tworzy nowe spostrzeżenie, dziedziczące po dwóch rodzicach (przejęcie wszystkich ich cech). Dopełnienie konceptu odpowiada wykluczeniu częściowemu ($\oslash$) pewnego obiektu. Innymi słowy, szukane są spostrzeżenia różniące się przynajmniej jednym wrażeniem. Oczywiście można dokonać operacji całkowitego wykluczenia, wtedy wyszukiwane są wszystkie obiekty które nie mają żadnej wspólnej cechy (ich jedynym wspólnym rodzicem jest abstrakt). Kwantyfikacja ogólna w odniesieniu do pewnej relacji i konceptu to wszystkie spostrzeżenia znajdujące się w określonej relacji z danym spostrzeżenie. Z kolei kwantyfikacja egzystencjalna to przynajmniej jedno takie spostrzeżenie. Przy użyciu ograniczenia liczebnościowego można zdeklarować liczbę takich spostrzeżeń. Koncept wyliczany jest reprezentowany w ISD jako zbiór pewnych spostrzeżeń. Suma i koniunkcja relacji w ISD, odpowiadające sumie i przecięciu ról, służą tworzeniu nowych relacji funkcjonalnych i oznaczają odpowiednio alternatywę oraz jednoczesne wystąpienie dwóch relacji. Analogicznie dopełnienie roli w $\mathcal{DL}$ odpowiada negacji pewnej relacji w ISD. Asercje konceptów zawarte w ABoxie odpowiadają w ISD spostrzeżeniom instancyjnym (istniejącym w rzeczywistości, postrzeganym przez agenta). Analogicznie, asercja ról odpowiada relacjom pomiędzy dwoma instancjami.

Tablica 4.4 Mapowanie elementarnych elementów ISD do $\mathcal{DL}$.

Element ISD	postać w ISD	Element $\mathcal{DL}$	postać w $\mathcal{DL}$
wrażenie	γ	koncept prosty	A
spostrzeżenie abstrakcyjne	Γ^a	koncept złożony	C
abstrakt (byt)	$\Gamma^{a\top}$	koncept uniwersalny	$\top$
spostrzeżenie nieistniejące (niebyt)	$\Gamma^{a\perp} = \neg\Gamma^{a\top}$	koncept pusty	$\perp$
spostrzeżenie instancyjne	Γ^i	asercja konceptu	$a : C$
relacja ρ_x pomiędzy instancjami	$\Gamma^i_\alpha\ \rho_x\ \Gamma^i_\beta$	asercja roli	$(a, b) : R$
jedno spostrzeżenie będące w relacji ρ_x	$\Gamma_\beta\ \rho_x\ \Gamma_\alpha$	kwantyfikacja egzystencjalna	$\exists R.C$
zbiór spostrzeżeń	$\{\Gamma_1, \Gamma_2, ...\}$	koncept wyliczany	$\{A, B, ...\}$

Przedstawiając pamięć semantyczną agenta w postaci logiki opisowej spotyka się szereg problemów związanych z wnioskowaniem. Należą do nich między innymi problemy (Waloszek, 2007):

- spójności bazy wiedzy (czy każde spostrzeżenie abstrakcyjne posiada swoją instancję)
- spełnialności konceptu (czy jedno spostrzeżenie abstrakcyjne jest równoznaczne z drugim)
- przynależności do konceptu (czy dana instancja przynależy do danego spostrzeżenia abstrakcyjnego)
- przynależności do roli (czy pomiędzy spostrzeżeniami instancyjnymi istnieje dana rola)
- dopasowania do wzorca konceptu (czy spostrzeżenie stworzone z danych wrażeń w pamięci wyobraźni ma swój odpowiednik w pamięci semantycznej)
- abdukcji (jakich wrażeń brakuje, aby dana instancja mogła zostać uznana za dane spostrzeżenie abstrakcyjne)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 4.5 Mapowanie złożonych elementów ISD do $\mathcal{DL}$.

Element ISD	postać w ISD	Element $\mathcal{DL}$	postać w $\mathcal{DL}$
uwspólnienie spostrzeżeń	$\Gamma_\delta \rhd \Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta$	przecięcie konceptów	$C \sqcap D$
spostrzeżenie dziedziczące po parze rodziców	$\Gamma_\delta \lhd (\Gamma_\alpha, \Gamma_\beta)$	suma konceptów	$C \sqcup D$
wszystkie spostrzeżenia wykluczające obiekt α (częściowo różne)	$\Gamma_\beta \oslash \Gamma_\alpha$	dopełnienie konceptu	$\neg C$
wszystkie spostrzeżenia będące w danej relacji ρ_x ze spostrzeżeniem α	$\Gamma_\beta \ \rho_x \ \Gamma_\alpha$	kwantyfikacja ogólna	$\forall R.C$
suma (alternatywa) relacji pomiędzy spostrzeżeniami	$\rho_x \ \vee \ \rho_y$	suma ról	$R \sqcup S$
koniunkcja relacji pomiędzy spostrzeżeniami	$\rho_x \ \wedge \ \rho_y$	przecięcie ról	$R \sqcap S$
negacja relacji ρ_x	$\{\rho_y : \rho_y \neq \rho_x\}$	dopełnienie roli	$\neg R$

- kontrakcji (z jakich wrażeń należy zrezygnować, aby dana instancja mogła zostać uznana za dane spostrzeżenie abstrakcyjne).

Można wyróżnić dwie podstawowe metody wnioskowania za pomocą logiki opisowej (Waloszek, 2007; Baader *et al.*, 2010): algorytm wnioskowania strukturalnego oraz rodzinę algorytmów tableau. Algorytm wnioskowania strukturalnego (ang. *structural subsumption*), przedstawiony przez Levesque i Brachmana (Levesque i Brachman, 1987) mówi o przekształceniu konceptów złożonych do pewnej specyficznej formy, dzięki której możliwe jest porównanie konceptów oraz stwierdzenie ich przynależności. W przypadku modelu pamięci ISD spostrzeżenia indywidualne mogą być *rzutowane* na spostrzeżenia abstrakcyjne, po których dziedziczą. Zatem algorytm wnioskowania strukturalnego ma na celu jedynie znalezienie '*wspólnego mianownika*', dzięki czemu można w prosty sposób porównać spostrzeżenia. Największy problem w tej metodzie może sprawiać upraszczanie relacji pomiędzy spostrzeżeniami.

Drugą rodzinę algorytmów wnioskowania w logice opisowej stanowią algorytmy tableau (Girle, 2000; D'Agostino, 1999; Donini i Massacci, 2000). Algorytm ten (poprzez analizę) stara się stworzyć tzw. *drzewo prawdy*. Opiera on swoje działanie na zasadzie, że $C \sqsubset D$ jest równoważne niespełnialności $C \sqcap \neg D$. Algorytm stara się dowieść tego, zaczynając od aksjomatów (ABox) i przechodząc poprzez dekompozycje składniową z użyciem reguł zdefiniowanych (tableau; tablicy reguł) – kończy zaś swoje działanie, kiedy nie może zastosować więcej reguł lub gdy wystąpiła sprzeczność (która dowodzi fałszu sprawdzanego wyrażenia $C \sqcap \neg D$).

♠ *Wnioskowanie rozmyte*

Reguły wnioskowania rozmytego (w odróżnieniu od systemów wnioskowania rozmytego) w ogólności można sprowadzić do czterech podstawowych schematów znanych z logiki klasycznej (Łęski, 2008): *modus ponendo ponens*, *modus tollendo tollens*, sylogizm warunkowy oraz zasada rozkładu. Głównymi przesłankami, służącymi do wnioskowania, są jednak reguły w postaci implikacji rozmytej. Przykładowo, aby wnioskować o tym, czy dany owoc jest jadalny, należy sprawdzić jego kolor (który w ISD opisany jest za pomocą zmiennych rozmytych). Przykład ten również ukazuje, że na podstawie określonego wrażenia można wnioskować o innym wrażeniu (z reguły wtórnym).

Zanim jednak zaczniemy rozważania dotyczące wnioskowania rozmytego, zostanie przybliżone zagadnienie relacji rozmytej. Dwuwymiarową relację rozmytą R, opisaną funkcją

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

przynależności $\mu_R(x,y)$ pomiędzy przestrzeniami $\mathbb{X}$ i $\mathbb{Y}$ nazywamy rozmyty podzbiór iloczynu kartezjańskiego $\mathbb{X} \times \mathbb{Y}$, który *de facto* stanowi zbiór uporządkowanych par:

$$R = \{(x,y), \mu_R(x,y)|_{x\in\mathbb{X}\ \ y\in\mathbb{Y}, \mu_R(x,y)\in[0,1]}\} \tag{4.57}$$

gdzie $\mu_R(x,y)$ oznacza wartość funkcji przynależności do relacji rozmytej R w punkcie (x,y). Przykładem relacji może być rozmyta relacja podobieństwa pomiędzy zbiorami: $\mathbb{X} = \{$ morela, pomarańcza, nektarynka$\}$, oraz $\mathbb{Y} = \{$jabłko, gruszka, śliwka, wiśnia$\}$. Relacja może zostać zdefiniowana jako:

$$R(x,y) = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.6 & 0.9 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 \\ 0.2 & 0.9 & 0.2 \\ 0.01 & 0.1 & 0.09 \end{bmatrix}$$

gdzie dla $x =$'morela' i $y =$'jabłko' podobieństwo wynosi 0.8.

Na tak zdefiniowanych relacjach rozmytych można przeprowadzić operację złożenia. Istnieją dwu typy złożeń relacji rozmytych: supremum-T-norma (która może reprezentować operację mnożenia pomiędzy relacjami rozmytymi) i infimum-S-norma (odpowiednik dodawania relacji). Załóżmy więc, że R_1 i R_2 oznaczają relacje rozmyte zdefiniowane na przestrzeniach $\mathbb{X} \times \mathbb{Y}$ i $\mathbb{Y} \times \mathbb{Z}$. Złożenie supremum-T-norma ma postać (Czogala i Leski, 2000):

$$R_1 \circ R_2 = \left\{ \left[(x,z), sup_{y\in\mathbb{Y}} \left[\mu_{R_1}(x,y)\ \ [\star_T]\ \mu_{R_2}(y,z)\right] \right] |_{x\in\mathbb{X}, y\in\mathbb{Y}, z\in\mathbb{Z}} \right\} \tag{4.58}$$

co prowadzi do opisu funkcji przynależności powstałej relacji jako:

$$\mu_{R_1\circ R_2}(x,z) = sup_{y\in\mathbb{Y}} \left[\mu_{R_1}(x,y)\ [\star_T]\ \mu_{R_2}(y,z)\right]$$

gdzie symbol $\circ$ oznacza złożenie sup-T, zaś μ_{R_1} i μ_{R_2} oznaczają funkcje przynależności odpowiednich relacji rozmytych. Z kolei złożenie infimum-S-norma (inf-S) można zapisać jako (Łęski, 2008):

$$R_1 \bullet R_2 = \left\{ \left[(x,z), inf_{y\in\mathbb{Y}} \left[\mu_{R_1}(x,y)\ \ [\star_S]\ \mu_{R_2}(y,z)\right] \right] |_{x\in\mathbb{X}, y\in\mathbb{Y}, z\in\mathbb{Z}} \right\} \tag{4.59}$$

Powyższą formułę można zapisać jako:

$$\mu_{R_1\bullet R_2}(x,z) = inf_{y\in\mathbb{Y}} \left[\mu_{R_1}(x,y)\ [\star_S]\ \mu_{R_2}(y,z)\right]$$

gdzie symbol $\bullet$ oznacza złożenie inf-S, zaś $[\star_S]$ reprezentuje normę S (Einsteina). Można także użyć innych norm, np. Łukasiewicza, jak to zostanie ukazane w dalszej części (w przypadku wnioskowania modus ponendo ponens).

Aby lepiej przedstawić składanie relacji, przedstawimy przykład. Zapisując relacje R_1 i R_2 w postaci macierzowej:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.7 \\ 0.1 & 0.3 & 1 \end{bmatrix},\ R_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 1 \\ 0.8 & 0.6 \end{bmatrix}$$

można policzyć ich złożenie $R_1 \circ R_2$, w sposób analogiczny do mnożenia macierzy metodą Cauchy'ego, gdzie zamiast operacji mnożenia, użyta jest norma T (w tym przykładzie w postaci Einsteina), a zamiast operacji dodawania użyte jest supremum:

$$R_1 \circ R_2 = \begin{bmatrix} sup\{0.04, 0.15, 0.53\} & sup\{0.02, 0.5, 0.37\} \\ sup\{0.02, 0.08, 0.8\} & sup\{0.01, 0.3, 0.6\} \end{bmatrix}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

zatem:

$$R_{12} = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.5 \\ 0.8 & 0.6 \end{bmatrix}$$

W szczególnym przypadku R_1 i R_2 mogą być wektorami o rozmiarach (odpowiednio $n \times 1$ i $1 \times n$ lub odwrotnie), wtedy wynikiem złożenia jest pojedyncza liczba lub macierz kwadratowa ($x \times x$). W przypadku gdy jedna z relacji jest wektorem, wynikiem złożenia również jest wektor.

Szczególnym przypadkiem relacji rozmytej jest rozmyta implikacja ($A \Rightarrow B$), zdefiniowana w niniejszej pracy w postaci zaproponowanej przez Łukasiewicza (Rutkowski i Cpalka, 2003; Rutkowska *et al.*, 1997):

$$I(x, y) = min(1 - x + y, 1) \tag{4.60}$$

gdzie x i y są argumentami implikacji. W przypadku modelowania rozmytego, argumenty te mogą przyjmować wartości funkcji przynależności danych zbiorów. Implikacja rozmyta Łukasiewicza nad płaszczyzną (x, y) zaprezentowana jest na rys. 4.46c, zaś swobodna interpretacja (implikacji), dla dwóch przykładowych zbiorów rozmytych $A : \mu_A(x)$ i $B : \mu_B(x)$ (rys. 4.46a), opisanych w dziedzinie rzeczywistej, zobrazowana jest na rys. 4.46b. Na rysunku tym można zaobserwować (przy zgodności dziedzin), że implikacja jest zdeterminowana przez zbiór B oraz negację zbioru A. Z kolei relacja implikacji rozmytej pomiędzy dwoma zbiorami rozmytymi zobrazowana jest na rys. 4.46d.

Aby implikacja Łukasiewicza mogła zostać użyta w regułach wnioskowania, należy także zdefiniować normy T ($[*_T]$) i S ($[*_S]$) w postaci zaproponowanej przez Łukasiewicza:

$$x\ [*_T]\ y = max\,(x + y - 1, 0) \tag{4.61}$$

$$x\ [*_S]\ y = min\,(x + y, 1) \tag{4.62}$$

gdzie x i y to argumenty odpowiedniej normy ($x, y \in < 0, 1 >$). Obie normy przedstawione są na rys. 4.47. Oczywiście we wnioskowaniu rozmytym można zastosować dowolne implikacje (np. Fodora, Zadeha, czy Goguena), jednakże aby spełniały one własności implikacji (Fodor, 1991, 1995) należy ich użyć z odpowiednimi normami (np. min_0/max_1, Zadeha, probabilistyczne). W przypadku użytych wcześniej norm Einsteina należałoby zdefiniować relację implikacji rozmytej z definicji logiki Boole'a (Mizumoto i Zimmermann, 1982):

$$\forall_{x,y \in <0,1>} I_S(x, y) = N^2(x)\ [\star_S]\ y \tag{4.63}$$

gdzie $N^2(x)$, reprezentuje negację rzędu 2 (4.55), zaś $[\star_S]$ jest normą Einsteina (4.53). W niniejszej pracy zostały użyte jednak normy i implikacja Łukasiewicza ze względu na ich mniejszą złożoność obliczeniową (w przypadku wnioskowania).

Reguła uogólnionego modus ponendo ponens (MPP) zakłada (Łęski, 2008), że na podstawie wiedzy dotyczącej jednego elementu oraz odpowiedniej implikacji można wnioskować o drugim elemencie (reguła odrywania). Regułę tę można przedstawić symbolicznie:

$$\big[X\ jest\ A' \ \wedge (X\ jest\ A \Rightarrow Y\ jest\ B)\big] \Rightarrow Y\ jest\ B' \tag{4.64}$$

gdzie A i B zbiorami rozmytymi odpowiadającymi pewnym wartościom lingwistycznym, zaś A' jest zbiorem rozmytym, który może być podobny do A i spełniać taką zależność że $Supp(A') \subset Supp(A)$, gdzie $Supp$ oznacza nośnik zbioru. Zbiór A' jest formalnie definiowany jako zbiór rozmyty odpowiadający pewnej wartości lingwistycznej w danej dziedzinie. Może się on również całkowicie nie pokrywać ze zbiorem A, muszą mieć one natomiast wspólną dziedzinę. Zbiór B', pokrywający się z dziedziną zbioru B, wyznaczany może być

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

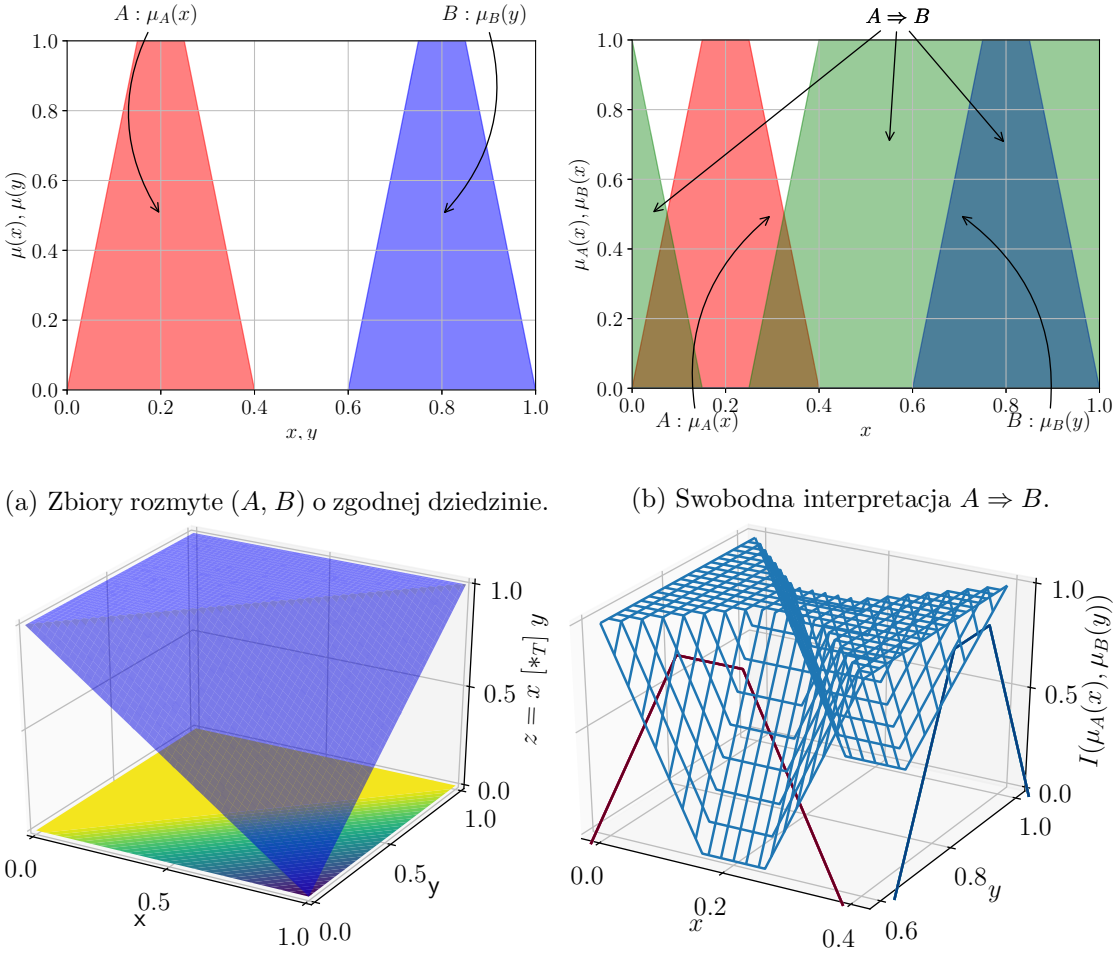
z zależności: $B' = A' \circ (A \Rightarrow B) = A' \circ R^I_{AB}$, gdzie symbol $\circ$ reprezentuje złożenie rozmyte – supremum-T-normy (4.58) (które może być traktowane jako $\wedge$ w przypadku relacji rozmytych), z kolei R^I_{AB} oznacza implikacyjny związek wzajemny pomiędzy A i B. Oznacza to, że regułę modus ponendo ponens (4.64) można przedstawić w postaci złożenia relacji:

$$\forall_{y \in \mathbb{Y}} \; \mu_{B'}(y) = sup_{x \in \mathbb{X}} \left[\mu_{A'}(x) \; [\star_T] \; \mu_{R^I_{AB}}(x, y) \right] \tag{4.65}$$

gdzie $\mathbb{X}$ i $\mathbb{Y}$ są dziedzinami odpowiednich zbiorów rozmytych, zaś $\mu_{R^I_{AB}}(x, y)$ odpowiada relacji rozmytej implikacji $I(x, y) = R^I_{AB}$.

Reguła modus ponendo ponens dla przykładowych trapezoidalnych zbiorów rozmytych (rys. 4.46a) jest zaprezentowana na rys. 4.48. Na rys. 4.48a zostały przedstawione zbiory rozmyte (przy wspólnej dziedzinie) A i B, takie same jak na rys. 4.46a (czarna linia), oraz odpowiadające im $A' = A$, $B' = B$.

Gdy $A' \subseteq A$ (rys. 4.48b), B' zachowuje się podobnie. Jeśli A' nie jest w pełni przynależne do A (rys. 4.48c), B' zachowa się także podobnie. W przypadku gdy $A' \nsubseteq A$ można powiedzieć, że $A' \subset \bar{A}$ (A należy do dopełnienia zbioru A), to z negacji przesłanki wynika całkowita ignorancja $B' = \mathbb{Y}$ – z 'fałszu' wynika 'prawda' (rys. 4.48d). Jest to jeden z aksjomatów, które powinna spełniać reguła MPP (Dubois i Prade, 1991). Kolejnym z nich



(a) Zbiory rozmyte (A, B) o zgodnej dziedzinie.

(b) Swobodna interpretacja $A \Rightarrow B$.

(c) Rozmyta implikacja w 2D i 3D.

(d) Rozmyta relacja implikacji $A \Rightarrow B$.

Rysunek 4.46 Prezentacja rozmytej implikacji Łukasiewicza.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

jest aksjomat: jeśli $A' = A$, z powyższej formuły powinniśmy otrzymać $B' = B$, tak jak na rys. 4.48a.

Reguła uogólnionego modus tollendo tollens (MTT) wnioskuje w przeciwną stronę niż ponendo ponens (wnioskowanie zaprzeczające przez zaprzeczenie). Można ją opisać za pomocą (Łęski, 2008):

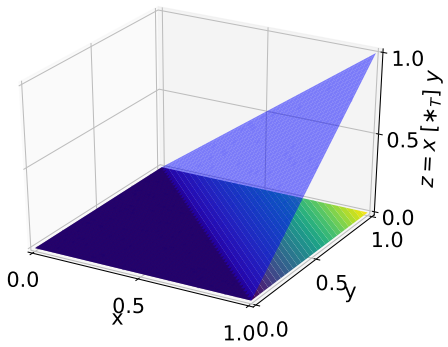
$$\left[Y \ jest \ B' \ \wedge (X \ jest \ A \Rightarrow Y \ jest \ B)\right] \Rightarrow X \ jest \ A' \tag{4.66}$$

Zbiór A' wyznaczany jest na podstawie $A' = R \circ B' = (A \Rightarrow B) \circ B'$, co można zapisać w postaci:

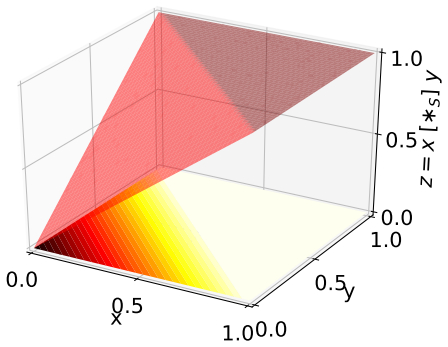
$$\forall_{x \in \mathbb{X}} \ \mu_{A'}(x) = sup_{y \in \mathbb{Y}} \left[\mu_R(x, y) \ [\star_T] \ \mu_{B'}(y)\right] \tag{4.67}$$

gdzie $\mu_{R^I_{AB}}(x, y)$ jest funkcją przynależności do $I(x, y)$.

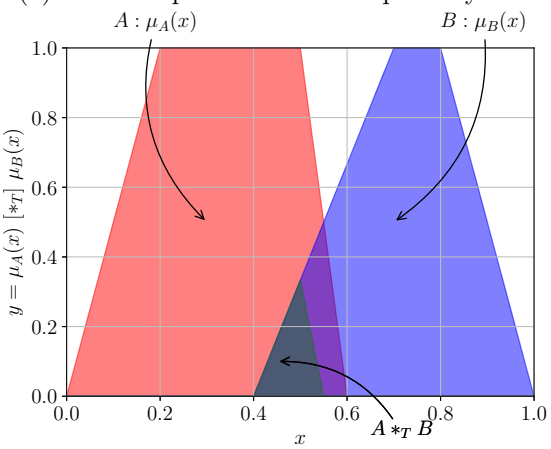
Oczywiście zbiór B' intuicyjnie (w odniesieniu do klasycznych metod wnioskowania) różni się od zbioru B. Tak jak w poprzednim przypadku, oznacza on zbiór odpowiadający dowolnej wartości lingwistycznej w danej dziedzinie. Przykładowo, weźmy pod uwagę zbiór rozmyty z rys. 4.12, regułę: *Jeśli wielkość jabłka jest 'duża' to smak jabłka jest 'duży'*, czyli A = 'duży', B = 'duży'), oraz przesłankę *smak jabłka jest 'średni'* oznaczającą B' = 'średni'. Zauważmy, że jest to pewne zaprzeczenie następnika (pozwalające na wnioskowanie i określanie nowych zbiorów rozmytych). Na podstawie przesłanki i reguły można



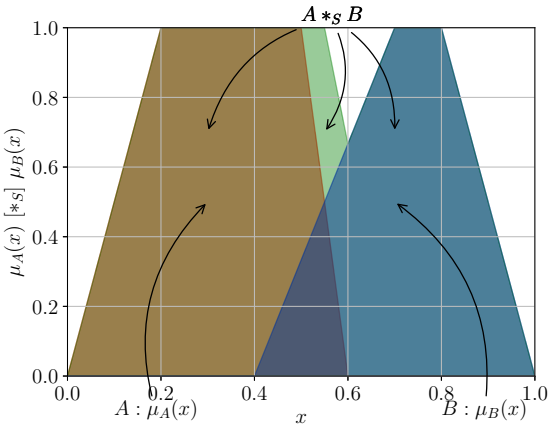
(a) T-norma przedstawiona na płaszczyźnie.



(b) S-norma przedstawiona na płaszczyźnie.



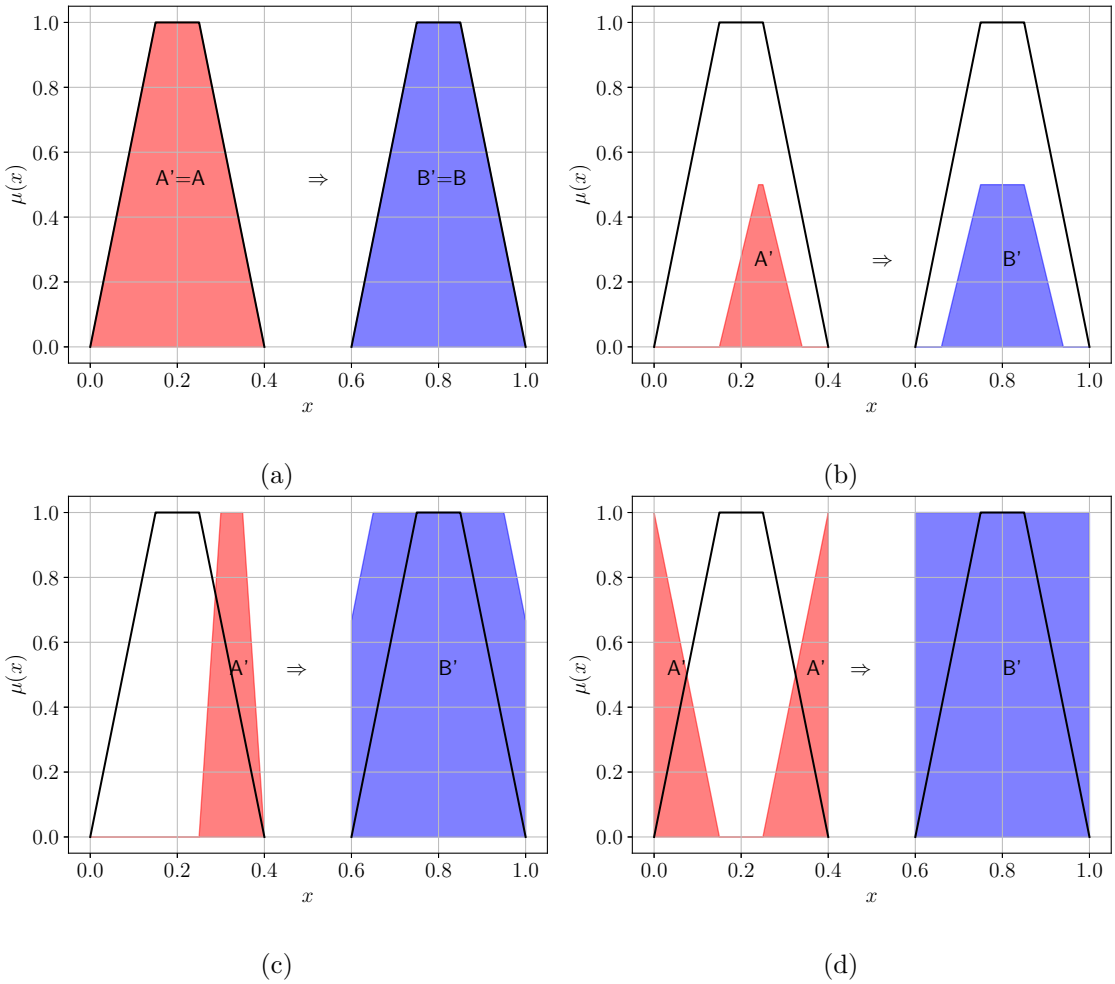
(c) T-norma dwóch zbiorów we wspólnej dziedzinie.



(d) S-norma dwóch zbiorów we wspólnej dziedzinie.

Rysunek 4.47 Prezentacja norm $[*_T]$ i $[*_S]$ Łukasiewicza.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 4.48 Zbiór B' (niebieski) wyznaczony według MPP na podstawie implikacji rozmytej Łukasiewicza i zbioru A' (czerwony); zbiory A i B oznaczone są ciągłą czarną linią.

wnioskować, że wielkość jabłka A' najpewniej przyjmie wartość podobną do 'średni', jednak będzie to nowy zbiór rozmyty określony w tej samej dziedzinie.

Reguła uogólnionego sylogizmu warunkowego odnosi się do bardziej skomplikowanego przypadku. Regułę takiego sylogizmu warunkowego można przedstawić jako:

$$\big[(X\ jest\ A\ \Rightarrow Y\ jest\ B) \wedge (Y\ jest\ B' \Rightarrow Z\ jest\ C)\big] \Rightarrow (X\ jest\ A \Rightarrow Z\ jest\ C') \quad (4.68)$$

co można też zapisać w postaci:

$$R^I_{AB} \circ R^I_{B'C} \Rightarrow R^I_{AC'}$$

Relacja rozmyta $R^I_{AC'}$ wyznaczana jest na podstawie zależności $R^I_{AC'} = (A \Rightarrow B) \circ (B' \Rightarrow C)$, co można zapisać w postaci:

$$\forall_{(x,z)\in\mathbb{X}\times\mathbb{Z}}\ \mu_{R^I_{AC'}}(x,z) = sup_{y\in\mathbb{Y}}\left[\mu_{R^I_{AB}}(x,y)\ [\star_T]\ \mu_{R^I_{B'C}}(y,z)\right] \quad (4.69)$$

Uogólniona zasada rozkładu – metoda wnioskowania rozmytego wykorzystywana w niniejszej pracy podana jest w postaci:

$$\big[(X\ jest\ A'\ \vee\ Y\ jest\ B) \wedge (X\ jest\ A \Rightarrow Z\ jest\ C)\big] \Rightarrow (Z\ jest\ C'\ \vee\ Y\ jest\ B) \quad (4.70)$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

co można zapisać jako:

$$(A' \vee B) \circ R^I_{AC} \Rightarrow (C' \vee B)$$

Wynikowa relacja rozmyta R wyznaczana jest na podstawie zależności $R = R_{A'B} \circ R^I_{AC} = (A' \vee B) \circ (A \Rightarrow C)$, co można zapisać w postaci:

$$\forall_{(z,y)\in\mathbb{Z}\times\mathbb{Y}}\ \mu_R(z,y) = sup_{x\in\mathbb{X}}\left[\mu_{R_{A'B}}(x,y)\ [\star_T]\ \mu_{R^I_{AC}}(x,z)\right] \tag{4.71}$$

gdzie $R_{A'B}$ reprezentuje relację $A' \vee B$. Warto zaznaczyć, że zarówno w przypadku uogólnionej zasady rozkładu, jaki i uogólnionego sylogizmu warunkowego, wynikiem wnioskowania jest relacja rozmyta.

W powyższych wzorach $[*_T]$ symbolizuje T-normę (4.61), *sup* jest operacją supremum, zaś relacja $\circ$ jest złożeniem suprememum-T-norma (4.58). Wszystkie powyższe metody w ISD stosuje się do wnioskowania dotyczącego wrażeń przynależnych do określonych spostrzeżeń, które agent analizuje. Reguły dotyczące takiego wnioskowania mogą być ekstrahowane (tak jak w przypadku logiki opisowej) z danych w pamięci semantycznej agenta, gdzie np. jabłko o kolorze zielonym posiada wrażenie 'niedojrzałe', podczas gdy jabłko o kolorze czerwonym posiada wrażenie 'dojrzałe'.

4.5.1.7. Operacje lingwistyczne

W wersji *dorosłej* agenta operacje lingwistyczne polegają głównie na nauce nowego słownictwa. Rzadko zdarza się tworzenie nowych słów. Agent ISD stara się naśladować działanie psychologii człowieka, więc tworzenie, a w szczególności nazywanie nowych obiektów jest niezbędne. Podobnie do dziecka uczącego się mówić, agent może nazywać obiekty swoimi własnymi określeniami, co jednak (w aktualnym stanie prac) nie ma jeszcze zastosowania.

Aby zaimplementować w systemie ISD możliwość komunikacji werbalnej należałoby (oprócz implementacji systemu podobnego do chaterbotta) zdefiniować wszystkie etykiety w pamięci agenta – ujednoznacznić notację obiektów. Można oczywiście *uczyć* agenta, w sposób analogiczny do tresowania zwierząt lub nauczania dzieci, jednak może to być długotrwały i pracochłonny proces. Jednocześnie należy zaprojektować i zaimplementować system reakcji chatterbota z jednej strony oraz system rozpoznający język naturalny, jak również odpowiednie powiązanie obiektów (w pamięci) z mową. Rozwiązanie takiego zagadnienia wymaga jednak dalszych badań.

4.5.2. Mechanizmy autystyczne

Mechanizmy autystyczne w ISD odpowiadają za restrukturyzację pamięci semantycznej agenta (zarówno abstrakcyjnej, jak i instancyjnej). W ramach tego procesu można wyróżnić następujące akcje:

- tworzenie nowych wrażeń (opartych na znanych, często występujących w pamięci sceny spostrzeżeniach)
- tworzenie nowych spostrzeżeń abstrakcyjnych (sygnał CNA w ścieżce informacji ISD na rys. 4.19), opartych oddolnie na uogólnionym zbiorze pewnych instancji spostrzeżeń, natomiast odgórnie – na bardziej ogólnym (od tego który jest tworzony) spostrzeżeniu abstrakcyjnym (Chen *et al.*, 2014)
- zapamiętywanie nowych spostrzeżeń instancyjnych i wpisanie ich w odpowiednie miejsce w strukturze pamięci
- łączeniu spostrzeżeń abstrakcyjnych w przypadku bardzo dużego podobieństwa rozmytego (Bai i Liu, 2011)
- tworzenie nowych relacji pomiędzy spostrzeżeniami (Kriukova *et al.*, 2013)
- tworzeniu nowego prototypu relacji wtórnych.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Większość z przedstawionych powyżej mechanizmów opiera się na zasadzie progowania, czyli mechanizm jest uruchamiany, kiedy liczba wystąpień przekroczy odpowiedni próg. Dzieje się tak w przypadku tworzenia wrażeń i spostrzeżeń abstrakcyjnych oraz zapamiętywania spostrzeżeń instancyjnych. Jednak zarówno tych przypadkach, jak i w pozostałych, należy rozpatrzyć problem umieszczenia w pamięci spostrzeżeń oraz relacji. Innymi słowy należy przeprowadzić analizę strukturalną i statystyczną określonych części pamięci semantycznej (Steyvers i Tenenbaum, 2005; Hoser *et al.*, 2006).

Sposoby analizy podobieństwa pomiędzy spostrzeżeniami oraz relacjami stanowią końcową część omawianego projektu Inteligentnego Systemu Decyzyjnego. Tu przedstawiono jedynie ogólny zarys tego systemu. Implementacja mechanizmów autystycznych planowana jest dopiero po rozwiązaniu ważniejszych problemów ISD.

4.6 Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono spójną koncepcję autonomicznego systemu opartego na modelu psychologii człowieka. Opisane zostały zagadnienia dotyczące ścieżki przetwarzania informacji, modelu pamięciowego, mechanizmów motywacyjnych oraz szkicu systemu podejmowania decyzji i wnioskowania w ISD.

Teorie psychologiczne opisane w rozdziale 2 zostały zaimplementowane w zaprezentowanym modelu. Są one źródłem wiedzy dotyczącej ścieżki przetwarzania informacji u człowieka, co z kolei umożliwia użycie takiego modelu w systemach autonomicznych. Dzięki wiedzy uzyskanej z psychologii można dobrze opisać świat z punku widzenia robota. Istotnym wyjątkiem spoza psychologii są modele, sposoby i procedury przetwarzania obrazu, które z punktu widzenia człowieka są dużo mniej intuicyjne (patrz algorytmy SIFT oraz SURF z sekcji 4.1.1). Zaprojektowany model autonomicznego systemu decyzyjnego oparty na psychologii poznawczej pozwala na autonomiczną pracę agenta w częściowo nieznanym lub zaimplementowanym wcześniej przez projektanta środowisku, co będzie przedstawione w rozdziale 5, gdzie poprzez budowę systemu ISD zostanie dowiedziona pierwsza subteza niniejszej pracy doktorskiej.

Przedstawione w sekcji 4.4 systemy motywacyjne agenta ISD oparto na wiedzy zaczerpniętej z psychologii humanistycznej, behawioralnej, ewolucyjnej oraz teorii motywacji. Dzięki użyciu tych komponentów można stwierdzić, że część motywacyjna systemu ISD stanowi kwintesencję mechanizmów motywacyjnych człowieka. Przedstawiony system motywacyjny może stanowić i stanowi (co będzie zademonstrowane w następnym rozdziale) pierwowzór systemu autonomicznego dedykowanego dla robota mobilnego.

Powyższy rozdział jest autorskim wynikiem pracy doktorskiej. System ISD powstał w oparciu o przedstawione w rozdziale 2 teorie psychologiczne. W szczególności oryginalnym wkładem są:

- system przetwarzania i gromadzenia danych w postaci wrażeń i spostrzeżeń (model matematyczny)
- mechanizmy uwagi związane z systemem pamięciowym
- rozmyty model potrzeb oraz system decyzyjny oparty o nie
- system emocjonalny oparty na modelu Plutchika – xEmotion.

Z powyżej przedstawionych aspektów, tylko model matematyczny reprezentacji wiedzy, oraz moduły bezpośrednio z nim związane (np. wnioskowanie) nie zostały w pełni zaimplementowane.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5

Studium badań symulacyjnych

W niniejszym rozdziale skupiono się na udowodnieniu poprawności działania przedstawionego wcześniej modelu. Rozważono, zaprojektowano i zaimplementowano trzy różne symulacje mające na celu wykazanie efektywności działania systemów motywacyjnych ISD. Kompletna koncepcja systemu ISD obejmuje bardzo szeroki zakres funkcjonalności, których implementacji potrzebny jest rozbudowany zespół projektantów i programistów. Stąd też przeprowadzone cząstkowe badania symulacyjne zostały wykonane przy uproszczonych założeniach oraz w ograniczonych środowiskach.

Pierwsza, podstawowa symulacja została zaimplementowana na robocie mobilnym typu qFix wyposażonym w trzy sensory odległości w zakresie 10-80 cm. Pomimo bardzo ubogiej platformy robotyckiej udało się przeprowadzić testy wstępnie wykazujące efektywność systemu ISD.

Następna symulacja o nazwie xDriver, która jest dużo bardziej zaawansowana, została zaimplementowana czysto wirtualnie. Symulacja ta miała na celu weryfikację systemu ISD pełniącego funkcję 'inteligentnego' i autonomicznego kierowcy. W celu przetestowania działania agenta wyposażonego w ISD zaprojektowano prosty scenariusz. Agent miał za zadanie dostosowywać swoją prędkość i położenie (z ewentualną zmianą pasa jezdni) do aktualnie postrzeganych znaków drogowych na podstawie swoich potrzeb i interpretacji pamięciowej znaków. Następnie zmodyfikowano ten system o możliwość wykorzystania (pod)systemu emocjonalnego xEmotion. Agent 'widząc' człowieka na drodze powinien zareagować emocjonalnie (szybko) i wykonać hamowanie awaryjne.

Ostatnia eksperyment symulacyjny dotyczy mechanizmów postrzegania oraz zmian emocji i nastroju agenta w zależności od postrzeganych elementów. Badanie to bezpośrednio ukazuje sposób działania systemu emocjonalnego xEmotion. W niniejszym rozdziale wspomniano też o innych projektach stowarzyszonych z ISD.

5.0.1. Inne projekty skojarzone z ISD

Oprócz przedstawionych poniżej symulacji warto tu wspomnieć o dwóch pracach odnoszących się do przedstawionej w niniejszej dysertacji koncepcji. Pierwsza z nich traktuje o systemie nawigacji po serwisie internetowym sterowanej głosem (Kowalczuk i Klimczak, 2013), w której zostały zaimplementowane elementy emocjonalne ISD (tzw. mózg). Dzięki temu agent nawigujący po stronie staje się bardziej 'ludzki', czyli rzeczywisty (Klimczak, 2011). W podobnym kierunku, z nieco bardziej rozbudowaną 'inteligencją', rozwinięto projekt o nazwie *Linguabot* (Chybiński, 2012), który opiera się na pełnej koncepcji ISD, w szczególności używa emocji i potrzeb jako stanów motywacyjnych. Awatar interpretuje tekst rozmówcy pod kątem nastroju, a następnie dostosowuje się do niego. Awatar został wyposażony w trzy potrzeby: rozmowy, opowiadania żartów i narzekania. W zależności od ich stanu reaguje w różny sposób. Kontynuacją obu prac jest projekt pt. *Gadacz Kwa-*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

dratowy (Studzińska, 2016), który skupia się głównie na przeniesieniu awatara na robota humanoidalnego NAO, nie zaś na implementacji ISD.

Patrząc z perspektywy środowiska symulacyjnego, warto też wspomnieć o projekcie *CaveWorld*, który ma na celu umożliwienie symulacji dowolnych reakcji agentów oraz pełnego modelu procesów poznawczych. Projekt ten został wykonany w elementarnej postaci. Obejmuje on modelowanie środowiska (mapa 2.5D – rzut izometryczny oraz podstawowe obiekty) oraz dopływ bodźców do agenta, np. w zależności od jego pozycji na mapie dopływ bodźców zapachowych może być różny (Prejs, 2012). Projekt ten jest aktualnie dalej rozwijany w ramach projektu studenckiego.

Odnosząc się tylko do fragmentarycznej implementacji systemu emocjonalnego, należy również wspomnieć o projektach rozpoznających emocje użytkownika (Prusakowski i Miłosek, 2013; Chudziak, 2015; Kowalczuk i Chudziak, 2017). Pierwszy projekt również jest oparty na elementach systemu motywacyjnego – xEmotion. A dokładniej, emocje, które system rozpoznaje należą do głównych emocji (środkowy pierścień) systemu xEmotion. Planowane jest rozszerzenie systemu rozpoznającego emocje o pełną wersję xEmotion monitorującą zmiany emocjonalne u człowieka. Drugi z tych projektów uzupełnia system ISD, ponieważ skupia się na modelowaniu i rozpoznawaniu emocji u ludzkiego operatora.

Wszystkie przedstawione projekty dowodzą celowości takich implementacji, jak również wspierają główną tezę o stosowalności systemu ISD w sterowaniu autonomicznym robotem lub agentem. Sterowanie takie może się odbywać w różnych środowiskach, również z uwzględnieniem interakcji z człowiekiem. Dodatkowo system ISD (w praktyce wystarczają tylko jego niektóre składowe) może skutecznie modelować stany motywacyjne człowieka, takie jak potrzeby czy emocje, przez co interakcja między agentem a człowiek może być bardziej intuicyjna i skuteczna.

5.1 qFix

Pierwszą, zasadniczą próbą udowodnienia działania systemu, była częściowa symulacja systemu potrzeb (Kowalczuk i Czubenko, 2011b). Symulacja została przeprowadzona na robocie qFix (rys. 5.1). Poczyniono założenie, że w systemie ISD rolę motywacyjną spełniają pewne potrzeby umieszczone w odpowiednich klasach (na podstawie piramidy Maslowa):

- En: energii (fizjologiczna)
- Re: odpoczynku (fizjologiczna)
- Se: bezpieczeństwa (bezpieczeństwa)
- Ta: wypełniania zadań (bezpieczeństwa)
- So: uspołecznienia (afiliacji)
- Cu: ciekawości (szacunku)
- De: rozwoju (samo-aktualizacji).

Rysunek 5.1 Robot qFix firmy KTB mechatronics; prawa autorskie: KTB mechatronics GmbH, Creative Commons Attribution 2.0.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wszystkie potrzeby mają zdefiniowane parametry, którymi precyzyjnie można opisać ich funkcje przynależności. Ponadto zakłada się, że system ISD posiada pięć wstępnie zaprojektowanych reakcji:

- przeszukiwanie
- ładowanie
- odpoczywanie
- pracowanie
- uciekanie.

Moduł FNN został zrealizowany w języku Python z użyciem odpowiednich bibliotek. Wyniki testów z użyciem ISD wykonanych za pomocą modułu FNN są opisane i omówione poniżej. Wpływ poszczególnych reakcji na stan (stopień niespełnienia) potrzeb agenta został założony jako stały i znany (tab. 5.1).

Tablica 5.1 Rozpatrywane reakcje i ich symulowany efekt na system potrzeb agenta.

reakcja	potrzeba	En	Re	Se	Ta	So	Cu	De
przeszukiwanie		+20	+20	+15	–	–	-30	-25
ładowanie		-40	-10	+25	+5	-5	+10	–
odpoczywanie		-10	-30	+5	–	–	–	-5
pracowanie		+30	–	–	-30	–	–	–
uciekanie		–	+20	-30	–	+10	–	–

Eksperymenty obliczeniowe oparte na opisanej w sekcji 4.5.1.3 sieci FNN przeprowadzono w celu poszukiwania najlepszych reakcji w trzech przykładowych scenariuszach, zwanych eksperymentami E1, E2 i E3, różniącymi się liczbą niezaspokojonych potrzeb. Tab. 5.2 przedstawia rezultaty wynikające z hipotetycznego zastosowania reakcji. Innymi słowy, tab. 5.2 przedstawia zmianę stanu potrzeb w zależności od wybranej reakcji.

Jak można zauważyć, w scenariuszu E1 jest tylko jedna potrzeba w stanie alarmowym. W związku z tym agent wyszukuje reakcji, która najbardziej optymalnie wpływa na tę potrzebę. Uzyskane wartości szacunkowej estymowanej oceny reakcji podane są w tab. 5.3. Oczywiście, w przypadku E1, gdy agent czuje się niepewnie (alarmowana potrzeba bezpieczeństwa), najbardziej adekwatną jest reakcja ucieczki.

Drugi scenariusz (E2) pokazuje, co się dzieje, gdy istnieją dwie niespełnione potrzeby (energii i wypełniania zadań). W tab. 5.2 można zaobserwować, że system ISD premiuje reakcję zapewniającą przetrwanie agenta (niższą w piramidzie Maslowa). System 'woli' uzyskiwać energię (ładowanie) zamiast wykonywać przydzielone zadania, gdyż stara się nie dopuścić do sytuacji w której jakakolwiek potrzeba znajdzie się w stanie wysokiego alarmu. Gdyby system wybrał reakcję pracowania, potrzeba energii osiągnęłaby najwyższą możliwą wartość niezaspokojenia. Bezpośrednio wybór reakcji ładowania jest spowodowany funkcją wagi danej potrzeby (4.34).

Z kolei w ostatnim scenariuszu istnieją cztery potrzeby w stanie alarmu. W takich sytuacjach mechanizm ISD (FNN) jest szczególnie pomocny. Oszacowane dopasowanie reakcji zależy oczywiście od parametrów potrzeb (np. wpływ nastroju na zmianę parametrów opisujących jądra i nośniki zmiennych rozmytych).

Przedstawiona symulacja dowodzi, że zaprojektowana sieć neuronowo-rozmyta (FNN) umożliwia agentowi wybór jednej reakcji, odpowiedniej do aktualnego stanu potrzeb. Zastosowana funkcja *skalarna* (reprezentowana za pomocą FNN) umożliwia bieżąco (online) rozwiązanie problemu multi-optymalizacji (każda potrzeba reprezentuje inne kryterium optymalizacyjne).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 5.2 Przykładowa estymacja stanu agenta przy zastosowaniu różnych reakcji. LS oznacza zmienną lingwistyczną (ang. *Linguistic State*) (s – satysfakcja, p – pre-alarm, a – alarm), zaś FD (ang. *degree of unfulfilment*) ostra wartość stopnia niezaspokojenia potrzeby

ID	stan agenta			przeszukiwanie		ładowanie		odpoczywanie		pracowanie		uciekanie	
	Potrzeba	LS	FD	LS	FD	LS	FD	LS	FD	LS	FD	LS	FD
E1	En	s	0.00	s	20.00	s	0.00	s	0.00	s	30.00	s	0.00
	Re	s	0.00	s	20.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	20.00
	Se	a	75.70	a	90.70	a	100.00	a	80.70	a	75.70	p	45.70
	Ta	s	0.00	s	0.00	s	5.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
	So	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	10.00
	Cu	s	0.00	s	0.00	s	10.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
	De	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
E2	En	a	76.55	a	96.55	p	36.55	a	66.55	a	100.00	a	76.55
	Re	s	0.00	s	20.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	20.00
	Se	s	0.00	s	15.00	s	25.00	s	5.00	s	0.00	s	0.00
	Ta	a	83.40	a	83.40	a	88.40	a	83.40	p	53.40	a	83.40
	So	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	10.00
	Cu	s	0.00	s	0.00	s	10.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
	De	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
E3	En	a	72.35	a	92.35	s	32.35	p	62.35	a	100.00	a	72.35
	Re	a	81.07	a	100.00	a	71.07	p	51.07	a	81.07	a	100.00
	Se	a	75.32	a	90.32	a	100.00	a	80.32	a	75.32	p	45.32
	Ta	a	81.11	a	81.11	a	86.11	a	81.11	p	51.11	a	81.11
	So	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	10.00
	Cu	s	0.00	s	0.00	s	10.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00
	De	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00	s	0.00

Tablica 5.3 Reakcje i ich estymowane dopasowanie do stanu potrzeb agenta – efekt FNN (ang. *impact factor*) z rys. 4.45.

Reakcja	$\hat{if}_{E1}$	$\hat{if}_{E2}$	$\hat{if}_{E3}$
przeszukiwanie	0.7772660	0.7185137	0.6726831
ładowanie	0.7082409	0.7616724	0.7018085
odpoczywanie	0.6872197	0.7721490	0.7382883
pracowanie	0.7936632	0.7733037	0.7050993
uciekanie	0.9225123	0.7229875	0.7071131

5.1.1. Implementacja modułu decyzyjnego na robocie mobilnym

Jak już wspomniano wcześniej, główna idea symulacji koncentruje się na pojęciu potrzeb, czyli fragmentu motywacyjnego odpowiedzialnego za podejmowanie adekwatnej reakcji. Uproszczona wersja ISD (głównie ze względów technicznych - typ mikro-kontrolera) została wdrożona na platformie mobilnej qFix, która posiada cztery czujniki odległości, cztery diody oraz dwa silniki elektryczne. Reaktywność robota jest dość ograniczona. Może on

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

tylko poruszać się w dwóch wymiarach (z różną prędkością), postrzegać obiekty lub ich brak w najbliższym otoczeniu, a także zmienić stany czterech diod.

Zostały założone cztery potrzeby robota:

- energii (posiadania naładowanych akumulatorów)
- odpoczynku (pragnienia bezruchu)
- bezpieczeństwa (szukania schronienia)
- ciekawości (odkrywania nowych powierzchni).

Można łatwo zaobserwować, że przedstawione powyżej potrzeby są w pewien sposób przeciwstawne. Potrzeby energii i odpoczynku zaklasyfikowane są do klasy fizjologicznej, z kolei potrzeby bezpieczeństwa i ciekawość znajdują się w klasie bezpieczeństwa piramidy Maslowa.

Założono, że każda jedna reakcja wpływa dodatnio na odpowiednie potrzeby. Tak więc, dla robota mobilnego istnieją następujące reakcje: 1. 'ładowania' – przy czym ładowanie akumulatora jest przedstawiane za pomocą migającej diody, ze względu na brak odpowiednich sensorów, 2. 'ucieczki' – która sprawia, że robot udaje się do najbliższego rogu, 3. 'spania' – pozostawania w stanie spoczynku; oraz 4. 'odkrywania' – kiedy robot dąży do wykraczania poza znane pozycje oznaczone na mapie. Wszystkie wykonywane ruchy oznaczają zużycie energii (czyli dwie z czterech reakcji), co powoduje zmianę stanu zaspokojenia odpowiednich potrzeb. Pilność potrzeb wzrasta w czasie, tzn. wraz z upływem czasu wzrasta stopień niezaspokojenia wszystkich potrzeb.

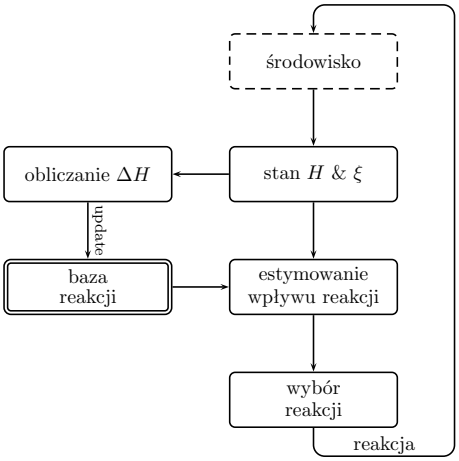
W celu ułatwienia obserwacji, potrzeby robota zostały przedstawione przez diody zamontowane na platformie. Ogólnie rzecz biorąc, robot funkcjonował jako 'dziecko'. Pragnął zaspokoić swoje cztery podstawowe potrzeby za pomocą odpowiednich reakcji: uciekając do narożnika, ładując akumulatory, odpoczywając, tzn. całkowicie kierował się własnymi potrzebami (celami). Obserwacje zachowania robota wykazały jego poprawne działanie, zgodne z założeniami teoretycznymi. Gdy diody, symbolizujące stopień niezaspokojenia potrzeb się migały (stan pre-alarmu), robot wykazywał lekką tendencję do kontynuowania aktualnych reakcji. Jednak w przypadku, gdy którakolwiek dioda się zapalała, robot natychmiast zmieniał reakcję, na mogącą zaspokoić jego potrzeby.

5.2 xDriver

Kolejną oraz ważniejszą próbą udowodnienia tezy głównej niniejszej pracy, czyli skuteczności ISD, jest symulacja o nazwie xDriver (Czubenko *et al.*, 2015). W tej symulacji system ISD ma za zadanie kierować symulowanym pojazdem. ISD jako autonomiczny kierowca posiada możliwość sterowania prędkością (za pomocą sterownika PI), podporządkowania się do przepisom ruchu drogowego oraz zmianę pasa ruchu. Istotną cechą tego systemu jest autonomiczność zachowań ISD funkcjonującego jako inteligentny kierowca, który nie kieruje się zewnętrznie narzucanymi podpowiedziami. XDriver na postawie aktualnej sytuacji (rozpoznanych spostrzeżeń w pamięci sceny) najpierw aktualizuje swoje potrzeby i dopiero na ich podstawie wybiera odpowiednią reakcję.

Schemat blokowy algorytmu wyboru reakcji, opartego na modelu ISD, przedstawiono na rys. 5.2. Blok środowiska jest odpowiedzialny za wszystkie obiekty znajdujące się w pobliżu drogi (otoczenie zewnętrzne) oraz interpretację przepisów ruchu drogowego (środowisko wewnętrzne). Zmiany w aktualnie postrzeganym środowisku xDrivera wpływają na stany wewnętrzne agenta (H i ξ, jego system potrzeb i emocji). Postrzegane przez agenta obiekty posiadają w jego pamięci kontekst emocjonalny lub motywacyjny, przez co są w stanie wpływać na jego całkowity system motywacyjny. Niektóre obiekty posiadają przypisaną (wcześniej przez agenta lub przez projektanta systemu) ostrą wartość zmiany konkretnej potrzeby (np. pieszy spostrzeżony na pasach dodaje 20 do aktualnego poziomu niezaspokojenia potrzeby bezpieczeństwa pojazdu). Inne obiekty (np. znaki drogowe, czy inne auta) mają wpływ dynamiczny, w odniesieniu do aktualnych parametrów

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 5.2 Algorytm wyboru kolejnej reakcji w ISD.

stanu xDrivera. Przykładowo, jeśli bieżąca prędkość xDrivera wynosi około 100 km/h, a system spostrzega znak zakazu przekraczania prędkości 50 km/h, wpływ przepisów ruchu jest obliczany jako $(100 - 50)/\sigma$, gdzie $\sigma = 10$; zatem całkowita zmiana potrzeby wyniesie 5. Szczegółowy opis mechanizmu potrzeb przedstawiono w poprzednim rozdziale oraz w cytowanych wcześniej pracach.

W symulacji systemu xDriver wybór reakcji przeprowadza się w kontekście emocjonalnym i percepcyjnym, jak to zostało opisane w poprzednim rozdziale. Ponadto, każda reakcja ma swój (zdefiniowany wcześniej) hipotetyczny wpływ na system motywacyjny. Wpływ reakcji oceniany jest na podstawie historii i skuteczności jej stosowania. Po aktualizacji stanu układu ISD (rys. 5.2), xDriver oblicza szacunkowy wpływ potencjalnych reakcji na potrzeby i ich współczynnik wpływu (ang. *impact factor*), czyli wartość oceny uzyskanej za pomocą FNN (sekcja. 4.5.1.3). Skuteczność wpływu reakcji ($\hat{if}_{\mathcal{R}_i}$), czyli funkcję sieci neuronowo-rozmytej można przybliżyć za pomocą równania:

$$\hat{if}_{\mathcal{R}_i} = ((\forall \eta \, are \, S) \texttt{ AND NOT } (\exists \eta \, is \, P)) \texttt{ AND NOT}(\exists \eta \, is \, A) \tag{5.1}$$

gdzie standardowo η oznacza potrzebę, z kolei $\{S,\ P,\ A\}$ oznaczają stany odpowiednio {satysfakcji, prealarmu i alarmu}. Oznacza to, że reakcja, po której wszystkie potrzeby zostaną zaspokojone, zostanie oceniona na $\hat{if}_{\mathcal{R}} = 1$. Równanie (5.1) zilustrowano na rys. 4.45.

Po obliczeniu ocen wszystkich reakcji, ISD wybiera reakcję, która ma najwyższą wartość $\hat{if}_{\mathcal{R}}$. W następnym cyklu parametry reakcji, czyli jej wpływ na stan agenta (H i ξ), są odpowiednio aktualizowane. Agent oblicza różnicę między bieżącym i poprzednim stanem potrzeb (pod warunkiem, że została wdrożona nowa reakcja, co oznacza, że poprzednia reakcja agenta się zakończyła). Oczywiście taka kalkulacja uwzględnia wpływ środowiska, czyli aktualne warunki drogowe (znaki drogowe i inne przepisy ruchu drogowego), które wpływają na system potrzeb agenta. Znając powyższe reguły agent jest w stanie poznać bezpośredni wpływ reakcji. W przypadku gdy wpływ środowiska jest nieznany, wystarczy zastosować uśrednienie zapamiętywanych różnic między bieżącym i poprzednim stanem potrzeb, przypisanych do jednej reakcji.

5.2.1. Model drogi i jej otoczenia

Model drogi składa się z abstrakcyjnych obiektów, które są reprezentowane za pomocą spostrzeżeń ISD (Kowalczuk i Czubenko, 2010b). Każdy obiekt ma swoje własne cechy (wrażenia), kontekst emocjonalny i kontekst motywacyjny (wpływ na potrzeby). Zestaw takich obiektów może wystarczająco dokładnie opisać drogę i jej otoczenie. W przypadku

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

bardziej skomplikowanych modeli (np. skrzyżowania, czy siatki ulic) użycie rozbudowanej struktury drzewiastej może być konieczne (przy siatce ulic, skrzyżowania mogą być reprezentowane jako węzły).

Model reprezentujący drogę został opisany w języku XML na potrzeby symulacji. Przykład pojedynczego pasa ruchu można przedstawić następująco:

```
<object name="left␣lane" type="lane" x0="0" y0="0" x1="2000" y1="6">
    <impression>one-way</impression>
    <impression>backward</impression>
    <impression>road</impression>
</object>
```

gdzie pas ruchu zaczyna się w punkcie (x_0, y_0), natomiast kończy w (x_1, y_1). Cechy pasa traktowane są jako wrażenia, nie ma żadnych bezpośrednich reguł, w jaki sposób agent powinien modyfikować swoje zachowanie względem nich. Oznacza to, że agent może nawet poruszać się pasem wiodącym w przeciwnym kierunku, pomimo wrażeń takich jak 'one-way' i 'backward'. Należy zaznaczy, że w powyższym przykładzie wrażenia opisujące pas ruchu są wrażeniami złożonymi, opartymi na znanych wcześniej spostrzeżeniach abstrakcyjnych. Natomiast dla potrzeb symulacji zostało pominięte pierwotne wrażenie kształtu, które jest tu opisane tylko za pomocą współrzędnych.

W analizowanym eksperymencie symulacyjnym systemu xDriver można wyróżnić trzy typy obiektów: obiekty powiązane z drogą (pasy jezdni i wszystkie znaki drogowe), wirtualne obiekty statyczne (np. drzewa) i dynamiczne (np. piesi, rowerzyści, inne auta, zwierzęta). Wśród obiektów drogowych natomiast można dalej wyróżniać:

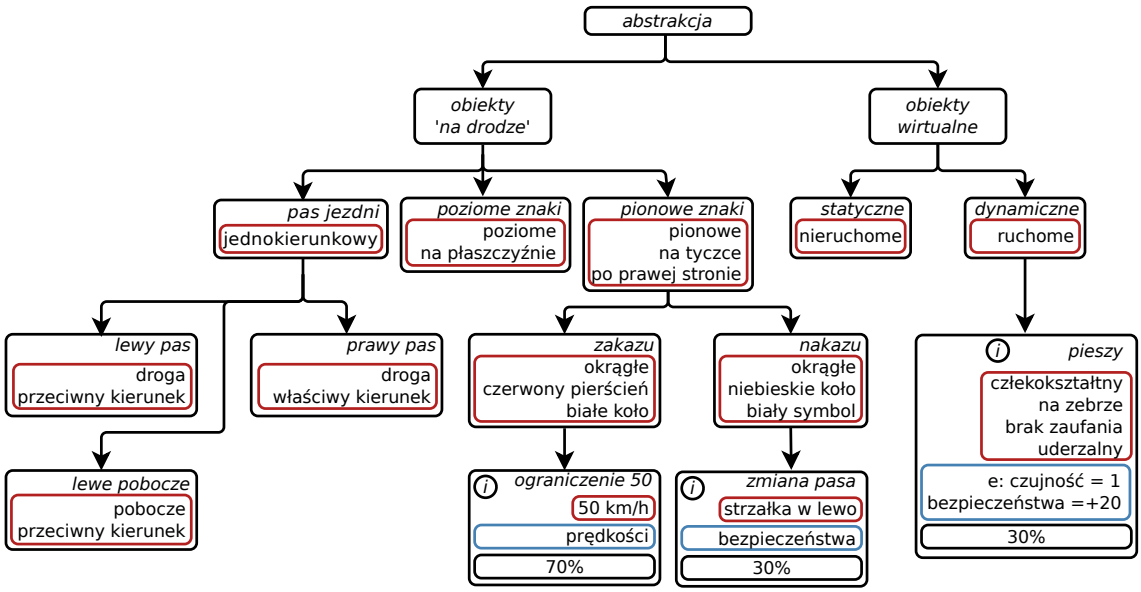
- drogę, a w szczególności pasy ruchu
- poziome znaki drogowe
- pionowe znaki drogowe.

Tylko wirtualne obiekty statyczne lub obiekty dynamiczne mogą wpływać bezpośrednio na system motywacyjny agenta (H, ξ). Mogą one posiadać specyficzną cechę zwaną kontekstem emocjonalnym lub motywacyjnym. Dodatkowo, posiadają one w opisie semantycznym różnego rodzaju wrażenia abstrakcyjne (funkcjonalne, informacyjne), takie jak np. 'wypadkowy' (tj. może spowodować wypadek drogowy), czy 'uderzeniowy' (można w niego uderzyć i się rozbić). Wrażenia tego rodzaju mają na celu doinformowanie agenta o możliwych skutkach interakcji z tymi obiektami.

Symulacja xDriver została zaprojektowana w środowisku wirtualnym, w którym badano tylko wirtualną drogę i obiekty znajdujące się w jej pobliżu. Pomimo to symulacja oparta jest o poprawnie działającą pamięć semantyczną. Zastosowana koncepcja pamięci pozwoliła agentowi *zrozumieć* przepisy ruchu, tak aby mógł on podejmować swoje własne decyzje i *prowadzić* wirtualne auto zgodnie z przepisami.

W ogólności, pamięć semantyczna xDrivera, tak jak zostało to opisane w rozdziale 4, składa się z abstrakcyjnych i instancyjnych spostrzeżeń (sekcja 4.1.3). Rys. 5.3 pokazuje próbkę tak skomponowanej pamięci. Każda ramka reprezentuje jedno spostrzeżenie abstrakcyjne lub instancyjne (wówczas w ramce znajduje się 'i' w lewym górnym rogu). Logogeny (etykiety) spostrzeżeń ukazane są kursywą. Wrażenia pierwotne, złożone oraz wtórne informacyjne, dotyczące danych obiektów, obramowane są czerwoną ramką, z kolei niebieska ramka reprezentuje funkcjonalne wrażenia motywacyjne, które bezpośrednio (wartość obok potrzeby) lub pośrednio (w kontekście np. różnicy prędkości) wpływają na agenta. Do wrażeń motywacyjnych należą także konteksty emocjonalne (sub-emocje) oznaczane literą 'e' na początku. Wartość tego kontekstu jest wyrażana liczbą rzeczywistą z zakresu $< 0,1 >$ (wartość funkcji przynależności do danego zbioru rozmytego), co pozwala na zastosowanie mechanizmów uwagi. Wartości wrażeń motywacyjnych mogą się zmieniać w trakcie *życia* agenta. Trzecia ramka w opisie spostrzeżeń pokazuje poziom aktywności spostrzeżenia w pamięci semantycznej.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 5.3 Część pamięci semantycznej agenta xDriver; strzałka oznacza operację dziedziczenia, w czerwonej ramce znajdują się wrażenia opisujące obiekt, w niebieskiej wrażenia motywacyjne, zaś w czarnej poziom aktywności spostrzeżeń instancyjnych (symbol 'i').

Oczywiste jest, że zestaw spostrzeżeń xDrivera jest dużo bardziej rozwinięty niż na rys. 5.3. Na rysunku, ponadto, nie zaznaczono dziedziczonych wrażeń (np. 'lewe pobocze' dziedziczy po spostrzeżeniu 'pas jezdni' wrażenie 'jednokierunkowy'). Opierając się na rozszerzonej wersji pamięci semantycznej łatwo można opisać prostą drogę, po której xDriver jest w stanie się poruszać.

5.2.2. Model samochodu

Jako interfejs dla reakcji agenta została stworzona aplikacja symulacyjna implementująca model samochodu, który powinien umożliwiać odpowiednie wejścia dla reakcji agenta. Jednocześnie model powinien dobrze odwzorować zakres dynamiki silnika samochodu. Model taki został opisany przez Shakouriego (2010). Ponieważ implementacja całego modelu silnika nie jest potrzebna, w celu symulacji systemu xDriver zastosowano pewne modyfikacje.

Przede wszystkim wprowadzono założenie płaskiej nawierzchni (z pominięciem nierówności powierzchni oraz możliwej różnorodności nachylenia/zbocza). Dzięki temu siłę tarcia można opisać jako:

$$F_{fric} = fmg \tag{5.2}$$

gdzie $f = 0.012$ jest współczynnikiem tarcia nawierzchni asfaltowej, natomiast $m = 2030$ kg jest masą samochodu. Z kolei stałą przyspieszenia ziemskiego przybliżono jako $g = 9.81$ m/s^2.

Kolejne założenie dotyczy siły aerodynamicznej, a mianowicie zakładamy brak zewnętrznych ruchów powietrza. Wiatr w symulacji osiąga wartość 0 Bft, dzięki czemu siła aerodynamiczna może być przybliżona wzorem:

$$F_{air} = \frac{1}{2}\rho_{air} A C_d V^2 \tag{5.3}$$

gdzie parametry $\rho_{air} = 1.226$ kg/m^3, $A = 0.8$, $C_d = 0.32$ opisują efekt karoserii samochodu, natomiast V jest aktualną jego prędkością. Siła silnika została uproszczona do postaci:

$$F_{eng} = m\dot{V} \tag{5.4}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

gdzie:

$$\dot{V} = 13.3 \cdot thr - 0.3 \cdot V \tag{5.5}$$

gdzie thr jest współczynnikiem określającym otwarcie przepustnicy w centymetrach, V reprezentuje prędkość, zaś F_{eng} jest siłą silnika pojazdu. Siła hamująca modelowana jest za pomocą równania (Shakouri *et al.*, 2010):

$$\dot{F}_b = K_c u - F_b/\Delta_t, \tag{5.6}$$

gdzie Δ_t parametrem wprowadzającym opóźnienie, K_c reprezentuje przyrost ciśnienia, zaś u symuluje nacisk na pedał hamulca. Dodatkowo przełożenie między układem kierowniczym a kołami samochodu zostało określone jako 1:16.

Przy tak zdefiniowanych założeniach można wyróżnić w modelu kilka wejść (dla ustalenia odpowiednich aktuatorów agenta): przepustnicę (w %), hamulec (w %) oraz położenie kierownicy. W ten sposób można wykonywać reakcje takie jak zwiększanie lub zmniejszanie prędkości do danej wartości, hamowanie do zadanej wartości i zmiana pasa ruchu. Do sterowania położeniem przepustnicy, w celu zwiększenia wydajności systemu, został zastosowany sterownik PI (ang. *Proportional-Integral*). System xDriver może pracować również bez regulatora PI, ale osiąganie odpowiedniej prędkości byłoby utrudnione (ze względu na bezwładność silnika). Reakcje mogą być przerwane przez znaki drogowe, w momencie kiedy nowy obiekt pojawi się w obszarze widoku (pamięci sceny) xDrivera.

5.2.3. Symulacja systemu potrzeb

Aby udowodnić, że system ISD może prowadzić wirtualny samochód (w kontekście sterowania położeniem i prędkością), w środowisku symulacyjnym został przeprowadzony szereg symulacji. Implementacja została przeprowadzona w języku Python z użyciem wielu bibliotek (takich jak SciKit, Numpy, Scipy, matplotlib czy Qt). Symulacja zakładała tylko pojedynczą drogę z różnymi znakami ograniczeń rozstawionymi na różnych jej odcinkach, pojedynczą zebrą oraz pojedynczą zmianą pasa ruchu. Głównym celem agenta jest przejazd taką drogą na długości około 6000 m. Procedura symulacji została zaprezentowana w Algorytmie 1. Potrzeby xDrivera zaprezentowane w sekcji 4.4.1 przywołujemy poniżej:

- optymalizacji energii/działania silnika
- dotarcia do celu
- bezpieczeństwa pojazdu
- przestrzegania przepisów drogowych
- poczucia własnej prędkości
- pewności w działaniu.

Jak to zostało wspomniane powyżej, zaprojektowano względnie prosty scenariusz, który ma zrealizować agent. Jednocześnie ograniczono się do przetestowania osobno systemu potrzeb, a dopiero następnie (w sekcji 5.2.4) systemu emocjonalnego. Przez pierwszą część symulacji agent miał do odegrania rolę prostego systemu kontroli jazdy (ang. *Cruise Control*), reagującego bieżąco na zmiany ograniczeń prędkości. Podczas gdy w drugiej części symulacji xDriver wznosi się ponad poziom CC. Cały scenariusz został przedstawiony w tab. 5.4a.

W prezentowanym scenariuszu (tab. 5.4a) nie zaszła potrzeba użycia wszystkich klas dotyczących potrzeb. Widoczność xDrivera została ograniczona do 350 m co oznacza, że wszystkie jego decyzje zależą od aktualnego stanu samochodu oraz obiektów znajdujących się w tej odległości. Wpływ środowiska na system potrzeb agenta został oparty na różnicy pomiędzy prędkością dozwoloną a własną z dodatkowym szumem. Dodatkowo środowisko wpływa na system potrzeb za pomocą systemu regułowego opisanego w tab. 5.5. Pomimo prostej możliwości estymowania wpływu środowiska na potrzeby przez agenta, xDriver sprawnie prowadzi auto. Podjęte przez niego decyzje przedstawia tab. 5.4b.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

```
begin
    inicjalizacja;
    while cel nie został osiągnięty do
        oblicz aktualny stan samochodu (pozycja, prędkość, etc.);
        zaktualizuj pamięć sceny (zmienne środowisko);
        zinterpretuj minięte znaki drogowe;
        zinterpretuj dostrzeżone znaki drogowe;
        wyznacz aktualne reguły ruchu drogowego;
        if reguły się zmieniły then
            przerwanie := TRUE
        end
        if przerwanie then
            symuluj reakcje;
            wybierz reakcję;
            przerwanie := FALSE
        else
            zaktualizuj potrzeby i emocje;
            wykonaj aktualną reakcję;
        end
    end
end
```

Algorytm 1: Procedura przeprowadzenia symulacji xDriver.

Decyzje (tab. 5.4b) nie są podejmowane w sposób deterministyczny; przy wielokrotnym uruchomieniu tego samego scenariusza decyzje agenta lekko się zmieniają. Jest to spowodowane zarówno aspektem rozmytym potrzeb jak i quasi-losowym wpływem środowiska na agenta. Pełne zachowanie systemu przedstawia rys. 5.4, na którym znajduje się wykres prędkości w zależności od położenia agenta oraz rys. 5.5, na którym przedstawiona jest ewolucja czasowa potrzeb agenta.

Reakcje zwiększania i zmniejszania prędkości nie zostały zdefiniowane ściśle (pomimo użycia sterownika PI), kończą się one po drugiej oscylacji, przez co prowadzą do lekkiego przeregulowania prędkości agenta. Po zakończeniu takiej reakcji agent może się starać zwiększyć/zmniejszyć prędkość, zamiast utrzymywać aktualną (odpowiednio do aktualnych potrzeb i pomimo ograniczeń prędkości). Zjawisko nie byłoby korzystne, jeśli xDriver miałby pracować jako zawodowy kierowca. Jednakże z punktu widzenia zamierzonego dostarczenia dowodów na tezy niniejszej pracy, agent zachowuje się poprawnie, choć raczej jako bardzo niedoświadczony kierowca. Aby poprawić sprawność jego działania wystarczyłoby zmienić nastawy sterownika, tak aby reagował on bez przeregulowania. Alternatywą takiego podejścia jest umożliwienie agentowi zmianę nastaw PI jako reakcji systemowej. Można również pozmieniać reakcje dostępne dla xDrivera na ustawianie określonej wartości prędkości, bez możliwości przyspieszania i spowalniania.

Ponadto, aby xDriver mógł działać jako *prawdziwy*, autonomiczny, komputerowy kierowca należy zaimplementować wszystkie aspekty uwagi (sekcja 4.3). Przykładowo, modyfikując stopień uwagi dotyczący postrzeganych obiektów, agent mógłby sterować tzw. wiązką poznawczą (sekcja 2.1.2), czyli skupiać się na drodze przy dalszej perspektywie, albo głębiej/szerzej postrzegać najbliższe otoczenie, przy krótszym zakresie widzenia drogi.

Właściwe rezultaty symulacji są zobrazowane na rys. 5.4 oraz 5.5. Pierwszą reakcją agenta było zwiększenie prędkości do 90 km/h. Reakcja ta została przerwana przez zmiany w środowisku w odległości ok. 660 m przez dostrzeżenie znaku ograniczenia prędkości (wywołujące zmianę w pamięci sceny). Zauważony znak ograniczenia prędkości obliguje agenta do zmniejszenia jego własnej prędkości do 50 km/h. Reakcją agenta na ten znak

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 5.4 Symulacja xDriver

(a) Scenariusz symulacji.

Odległość	Element scenariusza
100 m	ograniczenie prędkości do 90 km/h
1000 m	ograniczenie prędkości do 50 km/h
1200 m	znak pionowy przejście dla pieszych
1400 m	przejście dla pieszych
1600 m	anulowanie ograniczenia (50 km/h)
2800 m	ograniczenie prędkości do 30 km/h
3200 m	nakaz zmiany pasa, na lewy
3400 m	uwaga, zwężenie jezdni
3800 m	koniec zwężenia jezdni
4600 m	nakaz zmiany pasa, na prawy
4800 m	anulowanie ograniczenia (30 km/h)

(b) Decyzje systemu.

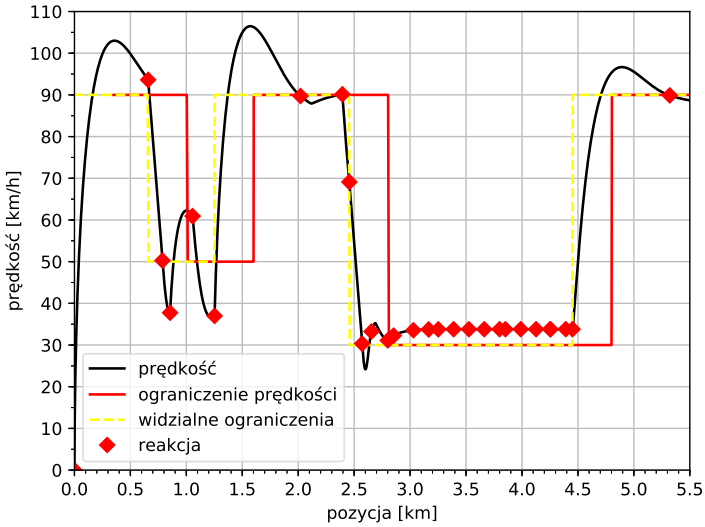
Odległość	Podjęta decyzja
0 m	zwiększenie prędkości do 90 km/h
660 m	hamowanie do wartości 50 km/h
790 m	utrzymanie aktualnej prędkości
850 m	zwiększenie prędkości do 50 km/h
1060 m	zmniejszenie prędkości do 50 km/h
1250 m	zwiększenie prędkości do 90 km/h
2020 m	utrzymanie aktualnej prędkości
2390 m	zmniejszenie prędkości do 80 km/h
2460 m	hamowanie do wartości 30 km/h
$\sim$ 2800 m	utrzymanie aktualnej prędkości
2850 m	zmiana pasa
$\sim$ 4130 m	utrzymanie aktualnej prędkości
4250 m	zmiana pasa
$\sim$ 4320 m	utrzymanie aktualnej prędkości
4450 m	zwiększenie prędkości do 90 km/h
5320 m	utrzymanie aktualnej prędkości
5680 m	zmniejszenie prędkości do 80 km/h

Tablica 5.5 Lista reguł wpływu środowiska na system potrzeb agenta; funkcja skalująca (scale) ma za zadanie przeskalowanie wpływu do odpowiedniego zakresu wartości (pierwszy parametr funkcji); Δ_{goal} symbolizuje odległość agenta od celu, V_{max} – wartość ograniczenia prędkości, V – prędkość agenta, $rand(0, 10)$ – wartość losową z przedziału $< 0, 10 >$, zaś max jest funkcją maximum dwóch argumentów.

warunek	potrzeba	wpływ na potrzebę
utrzymanie aktualnej prędkości	optymalizacji energii	-2
hamowanie	optymalizacji energii	0.14
koszt reakcji	optymalizacji energii	0.07
odległość do celu	osiągnięcia celu	$-(\Delta_{goal}/6 - (100 - \eta_{osiagniecia\ celu}))$
prędkość powyżej ograniczenia	przestrzegania przepisów	$max(20, V - V_{org})/10$
prędkość powyżej ograniczenia	poczucia prędkości	$-max(20, V - V_{org})/10$
prędkość w zakresie ograniczeń	przestrzegania przepisów	$-rand(0, 10)$
prędkość w zakresie ograniczeń	poczucia prędkości	$max(20, V_{org} - V)/10$
prędkość < 70 km/h	poczucia prędkości	$max(40, V_max - V)/10$
prędkość < 70 km/h	przestrzegania przepisów	$-max(20, V_{org} - V)/10$
właściwy pas ruchu	bezpieczeństwa pojazdu	-0.5
niewłaściwy pas ruchu	bezpieczeństwa pojazdu	5

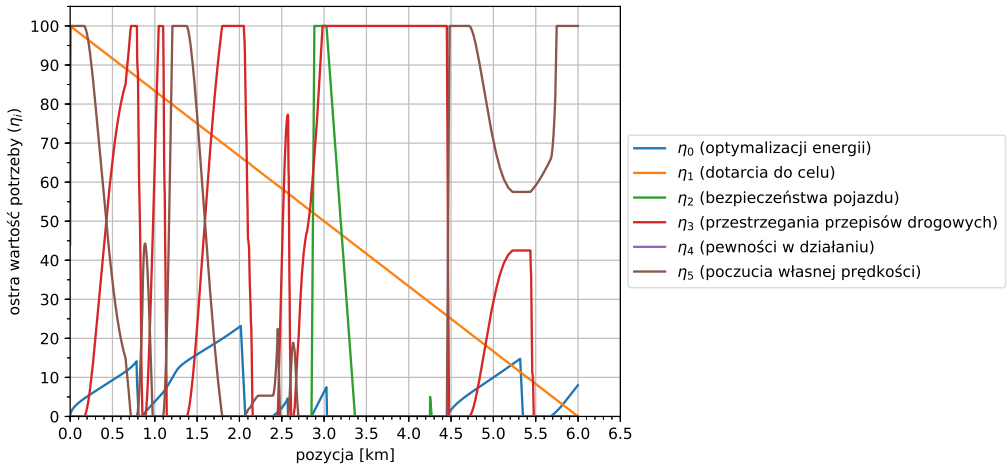
jest przyhamowanie do dozwolonej prędkości. Kolejnym krokiem jest przerwanie reakcji za względu na dostrzeżony znak 'zebra'. Agent utrzymuje aktualny stopień hamowania. Reakcja 'utrzymania aktualnej prędkości' kończy się dosyć szybko, a w kolejnych krokach

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 5.4 Prędkość pojazdu sterowanego przez xDrivera (czarna, ciągła linia): punkty wyboru reakcji (czerwone diamenty), maksymalna dozwolona prędkość (czerwona ciągła linia), dozwolona prędkość przesunięta o widoczność (żółta kreskowana linia); Oś OX przedstawia odległość od startu w kilometrach.

xDriver stara się osiągnąć poziom ok. 50 km/h, lekko oscylując (reakcje zwiększenia lub zmniejszenia prędkości do 50 km/h). Powodem takiego zachowania jest inercja pojazdu oraz niedokładne sterowanie (bezpośredni sterownik PI) prędkością agenta.



Rysunek 5.5 Ostre wartości potrzeb xDrivera jako funkcja odległości: potrzeba optymalizacji energii przyjmuje kształt piłokształtny (niebieska linia), pomarańczowa linia (prosta) reprezentuje potrzebę osiągnięcia celu, drobne zielone szczyty (ok 3200 m i 4500 m) to potrzeba bezpieczeństwa pojazdu (aktywuje się głównie przy zmianie pasa), natomiast czerwona linia (trapezoidy) symbolizuje potrzebę przestrzegania przepisów drogowych; potrzeba pewności w działaniu jest niezmienna (poziom 0), zaś potrzeba poczucia własnej prędkości oznaczona jest kolorem brązowym (głównie trapezy).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Kontynuując swoją podróż xDriver spostrzegł kolejny znak drogowy (koniec ograniczenia prędkości), co spowodowało jego błyskawiczną reakcję przyspieszenia do 90 km/h, pomimo obowiązującego (jeszcze) zakazu. Zachowanie agenta, który zarówno oscyluje wokół określonej prędkości, jak i lekko łamie zakazy, można interpretować jako brak doświadczenia kierowcy. Następne reakcje, przeprowadzone przez xDrivera, utrzymują prędkość (80-90 km/h), aż do spostrzeżenia znaku drastycznego ograniczenia prędkości i zmiany pasa ruchu. Agent zwalnia, a następnie stara się utrzymać prędkość w okolicy 30 km/h (reakcje utrzymywania prędkości). Po czym ze względu na zakończenie remontu prawego pasa (wnioskowanego na podstawie spostrzeżonych znaków), agent zmienia pas na właściwy i przyspiesza do właściwego poziomu prędkości.

Warto jeszcze raz podkreślić, że oscylacje obserwowane w kilku miejscach na krzywej prędkości (rys. 5.4), wynikające z decyzji xDrivera, wskazują na typowe zachowanie niedoświadczonego kierowcy. Aby skorygować tego rodzaju błędy należałoby zaimplementować w przyszłości moduły planowania i rozwiązywania problemów, a zwłaszcza opcję nauki opartej na własnych błędach, za którą odpowiada wnioskowanie i abstrahowanie (sekcja 4.5.1.6). Przedstawiona symulacja dowodzi, że system działa poprawnie jako całościowa koncepcja. Dalsze prace nad problemem unikania przeszkód czy kwestią optymalizacji krzywej prędkości będą przeprowadzone w przyszłości.

Interpretacja rys. 5.5 jest następująca. W punkcie początkowym xDriver posiadał dwie potrzeby (poczucia własnej prędkości i dotarcia do celu) w stanie alarmu (wysoce niezaspokojone) oraz jedną potrzebę (optymalizacji energii) wzrastającą ze stanu zaspokojenia. Pozostałe potrzeby agenta były w stanie zaspokojenia i nie zmieniały się w początkowej fazie symulacji. Stopień niespełnienia potrzeby dotarcia do celu spadał do momentu przejechania określonego w symulacji odcinka 6 km. Potrzeba optymalizacji energii maleje (staje się bardziej zaspokojona), gdy prędkość xDrivera nie ulega zmianom (reakcja utrzymania prędkości). Z kolei gdy prędkość agenta przekroczy ograniczenie, potrzeba przestrzegania przepisów zaczyna wzrastać, natomiast potrzeba poczucia (satysfakcji z) prędkości maleje. Dzieje się tak w momencie osiągnięcia prędkości wyższej niż 90 km/h. Następnie, w trakcie zmniejszania prędkości, jak widać, potrzeby te zachowują się na odwrót.

Znak ograniczenia prędkości do 90 km/h (spostrzeżony na wstępie) oraz prędkość xDrivera (nadana przez pierwszą reakcję) zmieniły jedną z potrzeb bezpieczeństwa – potrzebę przestrzegania przepisów ruchu drogowego (zaczęła rosnąć wręcz do stanu alarmu i w takim stanie pozostała dopóki agent nie zwolnił ok. 800 metra do prędkości poniżej 30 km/h). Następnie zachowanie agenta zmieniło się w momencie ograniczenia prędkości do 50 km/h. Z kolei, podczas jazdy z niewielką prędkością, uaktywniła się (stała się niezaspokojona) potrzeba poczucia własnej prędkości. Podobna sytuacja powtórzyła się przy następnej sekwencji znaków (ograniczenie do 90 km/h, a następnie do 30 km/h). Dodatkowo, przedwczesna (przy zauważeniu znaku) reakcja zmiany pasa ruchu zmieniła stan potrzeby bezpieczeństwa pojazdu, który wzrósł do poziomu alarmu, a następnie zmalał do satysfakcji. Na odcinku ze zmienionym pasem ruchu agent uznał potrzebę przestrzegania przepisów ruchu drogowego wraz z potrzebą bezpieczeństwa pojazdu za zdecydowanie ważniejsze – i nie zwiększał prędkości zbyt mocno ponad dozwoloną.

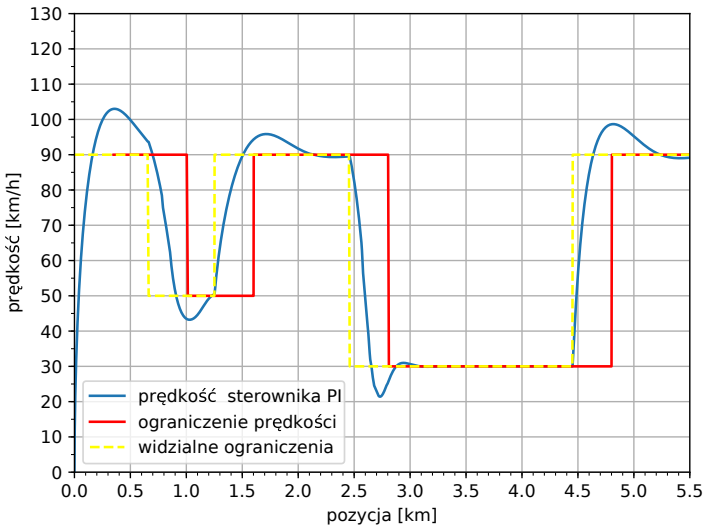
Rys. 5.4 pokazuje, że xDriver zachowuje się porównywalnie do człowieka. Prowadzi pojazd zgodnie z przepisami ruchu, choć z pewnym delikatnym ich nagięciem (w sposób lekko rozmyty). Do pewnego stopnia agent działa na zasadzie podobnej do systemów kontroli jazdy (CC). Aby bardziej dostosować system do celów systemu CC należałoby wyposażyć go w inny zestaw reakcji i potrzeb (na przykład umożliwiających agentowi podążanie za innymi samochodami).

Dla porównania została przeprowadzona jeszcze inna symulacja przy tych samych założeniach scenariusza. Jako sterownik został zastosowany adaptacyjny regulator o klasycznej strukturze PI, który miał te same ustawienia konfiguracyjne jak regulator używany przez

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

xDrivera (w przypadku reakcji zwiększenia/zmniejszania prędkości). Analogicznie jak w przypadku xDrivera, sterownik reagował z wyprzedzeniem na znaki drogowe, które adaptacyjnie ustawiały prędkość zadaną obiektu sterowania. Parametry regulatora PI zostały ustawiona ręcznie ($k_p = 0.4$, $k_i = 0.4$, w oparciu o pewnego rodzaju dopasowanie odpowiedzi skokowej). Prawdopodobnie możliwe jest dalsze zmniejszenie przeregulowania sterownika PI. Wyniki przedstawiono na rys. 5.6.

Krzywa prędkości dla samochodu sterowanego za pomocą kontrolera PI jest zdecydowanie bardziej gładka – nie ma żadnych drastycznych prędkości. Z drugiej strony, xDriver szybciej reaguje na nowe znaki drogowe. Dodatkowo, w odniesieniu do sterownika PI, xDriver może używać zdecydowanie innych reakcji, niż tylko sterowania prędkością. W symulacji xDriver zachowywał się jak niedoświadczony kierowca, nie osiągnął lepszych wyników niż klasyczny regulator, jednakże może on zostać przeszkolony jak większość ludzi, aby udoskonalić swoje zachowanie. Zaletą systemu xDriver jest w tym przypadku możliwość zmiany pasa ruchu, sterownik PI tej możliwości nie posiada. Dodatkowo należy też pamiętać, że xDriver może korzystać ze sterownika PI w sposób dużo bardziej skuteczny, niż przedstawiony.



Rysunek 5.6 Prędkość samochodu (niebieska, ciągła linia) sterowanego przez kontroler PI, ograniczenie prędkości (czerwona schodkowa linia) oraz jego przesunięcie spowodowane widocznością znaków (żółta kreskowana linia) jako funkcja odległości.

5.2.4. Symulacja emocji w xDriverze

W oparciu o scenariusz przedstawiony w poprzedniej sekcji powstała inna modyfikacja, mająca na celu dowiedzenie poprawności działania drugiego systemu motywacji agenta – xEmotion (Kowalczuk i Czubenko, 2017b). W porównaniu z poprzednim scenariuszem następuje jedna zmiana: pieszy przechodzi przez jezdnię na 4.95 kilometrze. Decyzje podejmowane przez agenta oraz jego emocja klasyczna (opisana w sekcji 4.4.2) zostały przedstawione w tab. 5.6 oraz na rysunkach 5.7, 5.8.

Tak jak w poprzednim wypadku, zmiana aktualnych ograniczeń (spostrzeżenie nowych znaków drogowych) przerywa aktualnie wykonywaną reakcję. W analogiczny sposób

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

zmiana stanu emocji klasycznej agenta również przerywa reakcję i odblokowuje reakcje skojarzone z odpowiednią emocją. Po czym xDriver podejmuje decyzję.

Tablica 5.6 Reakcje i emocje agenta.

Odległość [km]	reakcja agenta	klasyczna emocja agenta
4.45	zwiększenie prędkości do 90 km/h	neutralna
4.61	hamowanie awaryjne	roztargnienie
4.61	hamowanie awaryjne	obawa
4.62	hamowanie awaryjne	strach
4.86	utrzymanie aktualnej prędkości 0	obawa
4.86	utrzymanie aktualnej prędkości	roztargnienie
4.86	zwiększenie prędkości do 90 km/h	neutralna

Należy przypomnieć, że na rys. 5.7 przerywana żółta linia oznacza ograniczenia prędkości z wyprzedzeniem o 350 m. Analogicznie w przypadku spostrzeżenia przez agenta pieszego, dystans między samochodem a pieszym wynosi także 350 m. Relację między pozycją pieszego pozycją a agenta na drodze można opisać następująco: agent spostrzega pieszego, hamuje awaryjnie, po czym – gdy całkowicie się się zatrzyma – pieszy kończy przekraczanie jezdni.

Część emocjonalna symulacji zaczyna się około 4.4 kilometra, gdy agent spostrzega człowieka. Pieszy znajdujący się na drodze wywołuje u agenta sub-emocję 'terror'. Sub-emocja ta trwa dopóki agent zbliża się do pieszego. Przypomnijmy, że w systemie ISD sub-emocje są podtrzymywane, dopóki na obiektach z nimi związanymi skupiona jest uwaga (sekcja 4.3.3). Sub-emocja *odczuwana* przez agenta wywołuje u niego kolejno emocje roztargnienia, obawy i strachu, co ukazuje rys. 5.8. Należy zaznaczyć, że nie osiągnięcie emocji 'terror' przez agenta jest spowodowane mechanizmem ewolucji emocji klasycznej (sekcji 4.4.2), a zwłaszcza parametrem translacji ($\alpha = 0.7$) oraz efektem uspokajania ($\delta = 0.9$). Mechanizm translacji polarnej opisany w (Kowalczuk i Czubenko, 2016, 2017b) powoduje zmianę emocji klasycznej po łuku (rys. 5.8), gdzie pod wpływem pojedynczej sub-emocji, emocja klasyczna osiąga swoją wartość, a następnie wraca po tej samej trajektorii do punktu neutralnego (z powodu braku jakichkolwiek nowych sub-emocji).

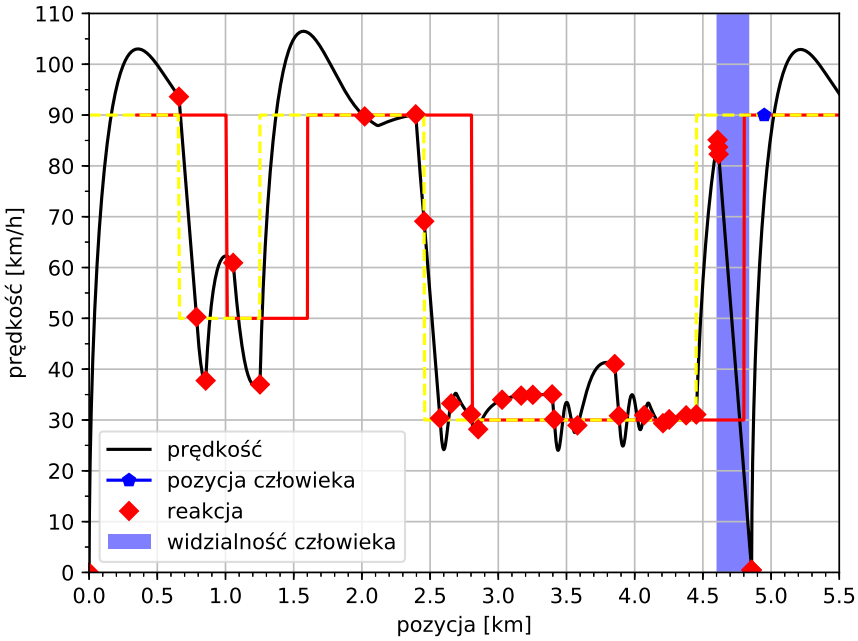
Zmiana emocji klasycznej (szczególnie jej etykiety) natychmiast przerywa aktualnie wykonywaną reakcję i powoduje zmiany w zestawie dostępnych do wyboru reakcji agenta. Jest to bez wątpienia efekt użycia emocji do przełączania *punktu pracy* agenta opisywany jako sterowanie ze zmienną programującą. Opcja reakcji 'hamowania awaryjnego' związana jest z emocjami takimi jak 'terror', 'strach', 'roztargnienie' i 'obawa'. Każda inna reakcja działa tylko wtedy, gdy stan emocjonalny agenta jest 'neutralny'. Jest jeden wyjątek, reakcja 'utrzymywania aktualnej prędkości' jest neutralna, co oznacza, że agent może ją wybrać w każdym przypadku. Należy zauważyć, że stany emocjonalne agenta są rozmyte, więc agent może mieć jednocześnie maksymalnie cztery rozmyte emocje. Na przykład, w odległości 4.61 km, xDriver znajduje się w dwóch różnych stanach emocjonalnych ('neutralność' i 'rozproszenie'). W takim przypadku agent może wybrać dowolną powiązaną z tymi emocjami reakcję (wybiera 'zwiększenie prędkości do 90 km/h').

Następnie agent hamuje awaryjnie. Reakcja ta jest dwukrotnie przerywana i ponownie wybierana (efekt zmian etykiety emocji). Po reakcji 'hamowania awaryjnego', kiedy prędkość agenta wynosi 0, pieszy przechodzi na drugą stronę szosy, w związku z czym nie ma już obiektu skojarzonego z sub-emocjami agenta. Mimo to, agent wybiera reakcję 'utrzymania aktualnej prędkości' (0), dopóki jego emocja nie osiąga stanu neutralnego. Po uspokojeniu się, agent wybiera opcję dalszej jazdy i podejmuje standardową reakcję 'zwiększenia prędkości'. Należy wspomnieć, że zapowiedziany wcześniej brak powtarzalności symulacji

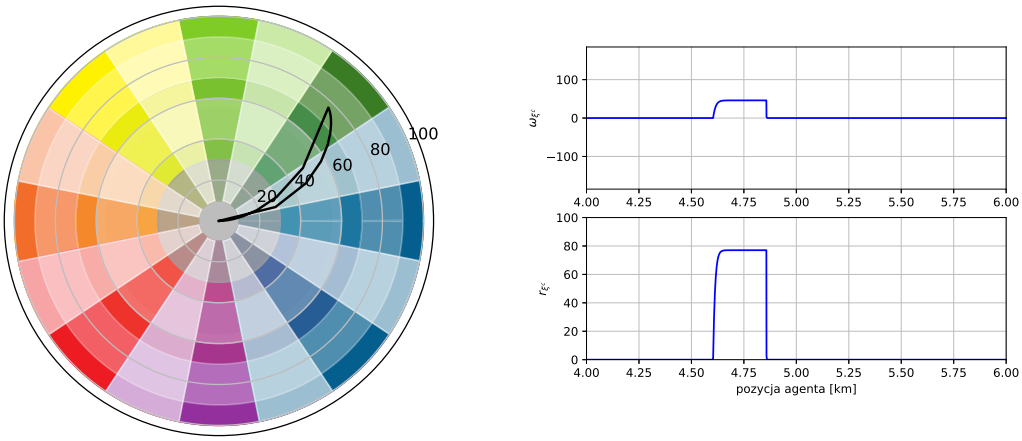
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

pojawia się na rys. 5.7. Podczas ograniczenia do 30 km/h agent wykonuje szereg różnych (nie oddziałujących silnie) reakcji, co jest efektem rozmytości oraz niewielkiego wpływu systemu emocjonalnego.

W przypadku braku emocji, system xDriver nie zatrzymałby się, aby przepuścić pieszego, gdyż w założeniach projektowych pieszy, nawet na drodze nie wpływa na potrzeby agenta. Można wyciągnąć wniosek, że projektant musi należycie przygotować wpływ obiektów na potrzeby agenta oraz same potrzeby. Ponadto, prezentowana symulacja nie pokazuje mechanizmów wnioskujących. Istnieje spora szansa, że agent określiłby pieszego, jako obiekt wpływający na potrzebę bezpieczeństwa, a co za tym idzie zatrzymałby się.



Rysunek 5.7 Prędkość xDrivera podczas symulacji; czarna, ciągła linia oznacza prędkość agenta, czerwona kreskowana reprezentuje ograniczenia prędkości przesunięte o widoczność agenta o 350 m; punkty wyboru reakcji oznaczone są czerwonym diamentem, a widoczność pieszego oznaczona jest jasnoniebieskim pasem, gdzie pozycja pieszego oznaczona jest jako niebieski pięciokąt.

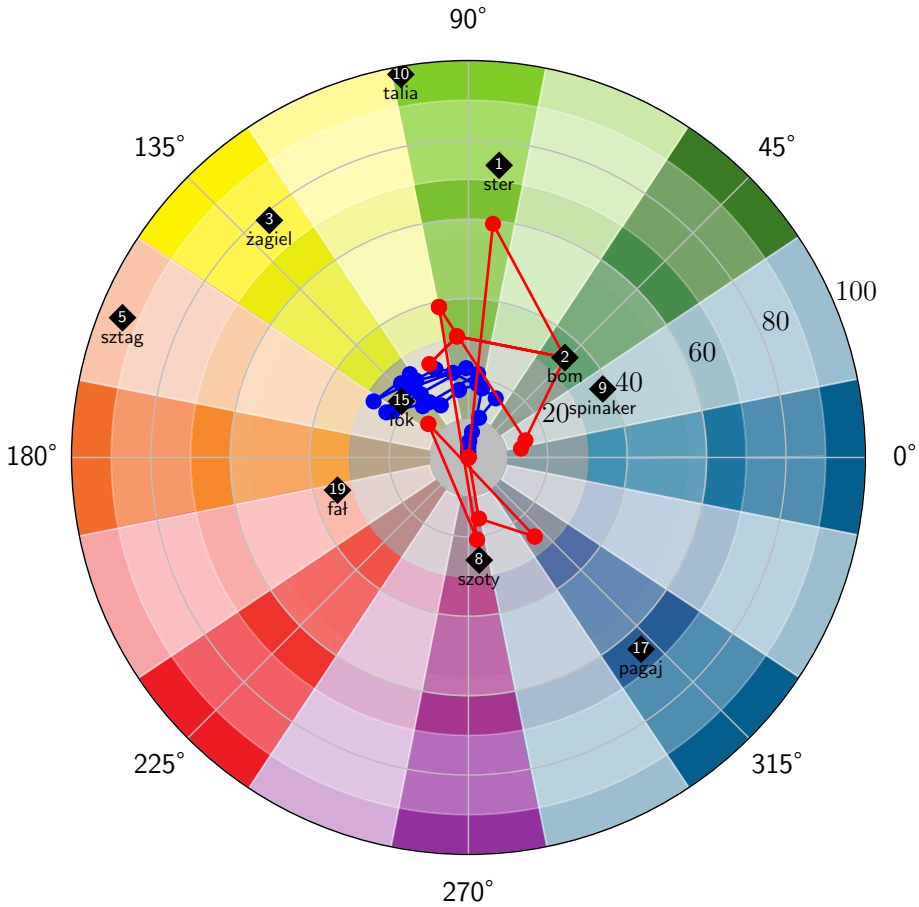


Rysunek 5.8 Ewolucja emocji xDrivera.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5.3 xEmotion – symulacja

Symulacja systemu xEmotion została opracowana przede wszystkim dla przeprowadzenia badań obliczeniowych oraz udowodnienia racjonalności systemu emocjonalnego (Kowalczuk i Czubenko, 2017c). Czas symulacji został ograniczony do dwudziestu kroków. Podczas symulacji agent postrzegał różne przedmioty powiązane z emocjami (mające swój własny kontekst emocjonalny, wyrażany przez sub-emocję). W eksperymencie tym pre-emocje (związane z wrażeniami) zostały całkowicie pominięte. Ponadto przyjęto, że potrzeby agenta są w pełni zaspokojone, co oznacza, że sub-system motywacyjny ma pozytywny wpływ na system emocjonalny, zgodnie z (4.41) – w szczególności przyrost (wpływ potrzeb) $\zeta(H) = 2 \cdot \Delta°$. Parametr translacji, tak jak w przypadku xDrivera został ustawiony na $\alpha = 0.7$, co oznacza, że emocja agenta zmienia się bardzo szybko oraz silnie adaptuje się do zmian otoczenia.



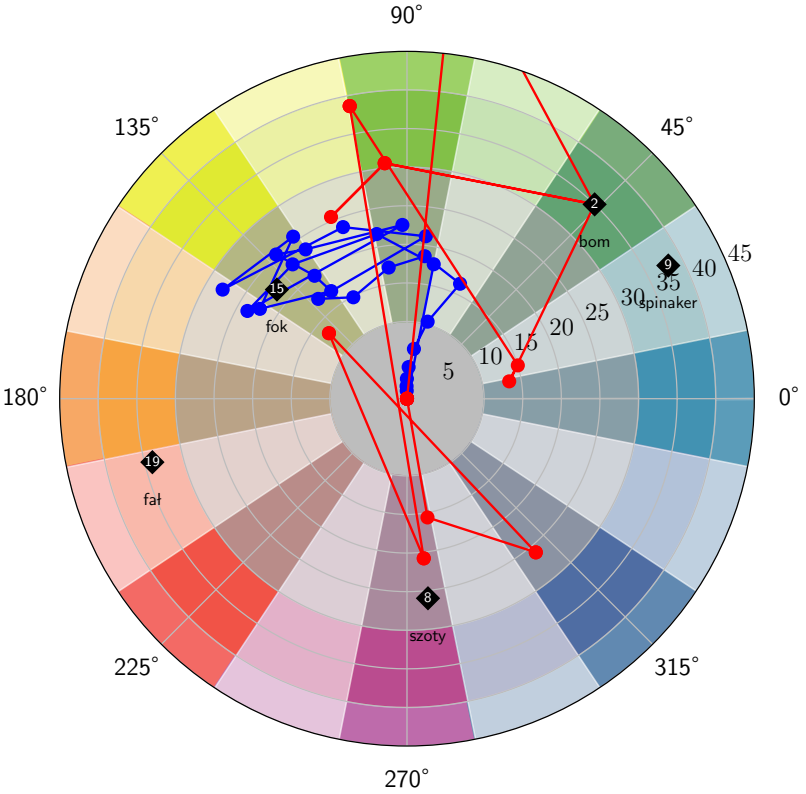
Rysunek 5.9 Ewolucja sub-emocji (czarne diamenty), ich centrum (czerwona linia) oraz klasycznej emocji agenta (niebieska linia) w czasie (numerowane cykle).

Należy ponownie podkreślić, że pomimo wielu teorii psychologicznych opisujących krótkie stany emocjonalne (sekcja 2.3), sub-emocje agenta trwają dopóki skierowana jest uwaga na obiekty z nimi powiązane (sekcja 4.3). Normalnie, w przypadku człowieka, czas ekspozycji obiektu ma niewielkie znaczenie. W omawianej symulacji, dla uproszczenia, sub-emocje trwają, a właściwie obiekty generują sub-emocje, przez cały czas ekspozycji. Zakłada się, że uwaga agenta jest w pełni skierowana na postrzegane, poszczególne obiekty.

W symulacji agent spostrzega 10 różnych obiektów (*odczuwa* związane z nimi sub-emocje), których 'pierwotny' wpływ na emocje oznaczony został czarnymi diamentami na rys. 5.9. Oznaczone są one numerami cyklu, w którym pojawiły się po raz pierwszy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Bardziej szczegółowe trajektorie składowych emocjonalnych są przedstawione na rys. 5.10. Czas ekspozycji obiektów jest zobrazowany na rys. 5.11 w pierwszym układzie współrzędnych. Zmienną lingwistyczną (etykietę) sub-emocji (różną dla różnych obiektów) oraz wartość (w 3D) jej funkcji przynależności, odczytać można z tab. 5.7. Symulowana ewolucja centrum sub-emocji (4.47) jest oznaczona czerwoną linią na rys. 5.9, 5.11, gdzie niebieska linia reprezentuje trajektorię klasycznej emocji agenta.



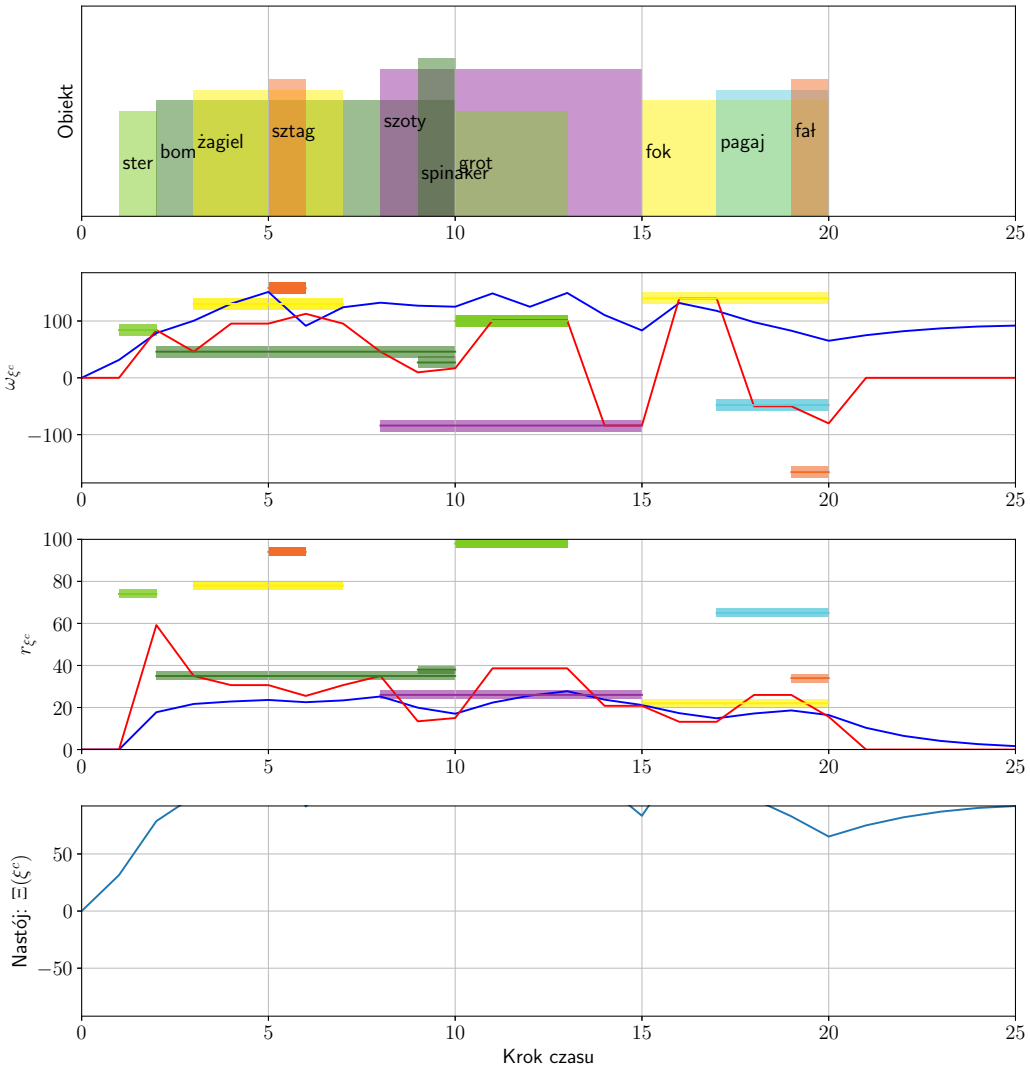
Rysunek 5.10 Szczegóły (przybliżenie) ewolucji zmiennych emocjonalnych.

Tablica 5.7 Scenariusz obiektów z kontekstem emocjonalnym.

czas występowania	etykieta obiektu	sub-emocja	ω_{ξ^c}	r_{ξ^c}	$\mu(\xi^c)$
1-2	ster	zaufanie	84°	74	0.8
2-10	bom	obawa	46°	35	1
3-7	żagiel	radość	130°	78	0.6
5-6	sztag	czujność	158°	94	0.27
8-15	szoty	znudzenie	−84°	26	0.8
9-10	spinaker	roztargnienie	27°	38	0.49
10-13	grot	zachwyt	100°	98	1
15-20	fok	spokój	140°	22	0.6
17-20	pagaj	smutek	−48°	65	1
19-20	fał	ciekawość	−166°	34	0.77

Po inicjacji symulacji (krok 0) tylko jeden obiekt jest wystawiony na system percepcji agenta (w kroku 1). Agent (za pomocą pamięci semantycznej) kojarzy ‘rumpel sterowy’ z pozytywną sub-emocją $\omega_{\xi^c} > 0$. Jednakże ze względu na niską wartość funkcji przynależności sub-emocji (oraz użycia w systemie klasycznej średniej ważonej), centrum sub-emocji

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 5.11 Okno ekspozycji obiektów skojarzonych z emocjami (pierwszy podgraf), nazwy sub-emocji i wartości funkcji przynależności (legenda), promień oraz kąt sub-emocji, ich centrum (linia czerwona) i klasyczna emocja agenta (niebieska linia) w czasie (drugi i trzeci podgraf) oraz zmiana nastroju agenta (czwarty podgraf).

(czerwona linia w kroku 2) oraz intensywność klasycznej emocji (niebieska linia w kroku 2) są odpowiednio stłumione (w odniesieniu odpowiednio do występującej sub-emocji oraz ich środka). Pozytywny wpływ systemu potrzeb można zauważyć np. w kroku 1, gdzie pomimo braku jakiejkolwiek sub-emocji, emocja klasyczna agenta (a dokładniej jej kąt – barwa) rośnie. Analogicznie w kroku 3, w którym można zaobserwować spadek centrum sub-emocji (ze względu na zniknięcie z pamięci sceny spostrzeżenia 'rumpel', a pojawienie się spostrzeżenia 'bom'), wartość kąta emocji klasycznej nieznacznie rośnie. Jednocześnie, wraz ze wzrostem emocji klasycznej, można zaobserwować wzrost nastroju agenta, aż do stanu nasycenia. Przeciwną sytuację można zaobserwować w kroku 14, gdy 'grot' znika z uwagi agenta, a pozostają tylko *nudne* 'szoty', co skutkuje dużym spadkiem koloru (ω_{ξ^c}) emocji, a w dalszej kolejności szybkim (ale chwilowym) spadkiem nastroju agenta. Należy także zauważyć, że mechanizm zdrowia psychicznego (4.45) zapobiega przedostaniu się emocji agenta przez rozmyte jądro antycypacji (okolice 160°). Gdy wszystkie obiekty zostaną usunięte z pamięci sceny agenta, co można zaobserwować na końcu symulacji (po

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

kroku nr. 20), klasyczna emocja (w szczególności jej intensywność) dąży do zera w wyniku działania efektu uspokajającego. Jednakże jej kolor pozostaje cały czas pozytywny (efekt spełnionych potrzeb), przez co nastrój agenta nieznacznie się poprawia (rośnie).

5.4 Podsumowanie

Powyżej przedstawiono trzy symulacje dowodzące słuszności koncepcji przedstawionej w pracy. Model procesów psychologicznych, a zwłaszcza model systemów motywacyjnych człowieka pozwala na zrealizowanie autonomicznego agenta wykonującego różne zadania. Czy to będą zadania dla prostego robota dwukołowego eksplorującego znane środowisko, czy sterowanie autonomicznym pojazdem realizującym fragment programu kosmicznego, ISD powinien się sprawdzić. Powyższe symulacje weryfikując częściowo przedstawiony model dowodzą też tezy pomocniczej niniejszej rozprawy.

Przedstawiony w pierwszej symulacji robot typu qFix nie spełnia co prawda wymagań robota humanoidalnego przedstawionych w sekcji 3.1.2, jednak dane z czterech sensorów odległości pozwalają na quasi-autonomiczne funkcjonowanie robota jako robota zwiadowczego. Eksperymenty przedstawione powyżej pozwalają na stwierdzenie, że prawdziwy robot zwiadowczy (np. PIAP FENIX®) może funkcjonować autonomicznie w oparciu o system ISD przy odpowiednim zaprojektowaniu systemu potrzeb. Jednak aby robot w pełni wykorzystywał swój potencjał, musi zostać wyposażony w odpowiednie (pod)systemy percepcji uwagi, pamięci i wnioskowania. Oczywiście każdy z przedstawionych (w rozdziale 4) systemów powinien działać równolegle oraz współpracować z pozostałymi systemami. Aby takie założenie było spełnione robot musi być wyposażony w komputer o wystarczająco dużej mocy obliczeniowej lub kilka równolegle pracujących komputerów.

Symulacja xDrivera wyróżnia się zarówno spośród naukowych projektów autonomicznego kierowcy, jak i komercyjnych. Przede wszystkim trzeba stwierdzić, że projekty komercyjne mają inną motywację. Autonomiczny kierowca w nich użyty musi być 100% skuteczny, nie może się zachowywać jak nastolatek na kursie prawa jazdy. Oczywiście istnieje możliwość, aby odpowiednio spreparowany system ISD działał w taki sposób, jednakże nie jest to celem tego projektu. Biorąc pod uwagę tylko kwestię systemu emocjonalnego, w zastosowaniu komercyjnym system ten należałoby uprościć wręcz do jednej emocji – strachu przed spowodowaniem wypadku. Inne emocje, jak radość czy smutek, nie mają podczas autonomicznej jazdy żadnego zastosowania. Z drugiej strony system xEmotion można wykorzystać w autonomicznym pojeździe jako część HUD (ang. *Head UP Display*), dzięki temu interfejs takiego pojazdu byłby bardziej 'ludzki' – np. animowana głowa ukazująca odpowiednie emocje oparte na postrzeganym zachowaniu pasażerów (aspekt HSI). Kolejnym aspektem, za który system xEmotion mógłby być odpowiedzialny, jest monitorowanie pasażerów oraz estymacja ich emocji.

System ISD mógłby też wspierać autonomicznego kierowcę, tym bardziej, że istnieje wiele gotowych systemów stopnia 2-go, jak np. automatyczne parkowanie, czy właściwy *Cruise Control*. Posiadając tak quasi-autonomiczne podsystemy, system ISD mógłby zarządzać całością – jednakże tylko w celach naukowych, czy rozwojowych. Żaden system oparty na modelu psychologii człowieka nie sprawdziłby się jako komercyjny system autonomicznego kierowcy. Jednak większość projektów naukowych zmierza w kierunku komercjalizacji.

xEmotion, czyli system emocjonalny ISD, w odniesieniu do innych obliczeniowych systemów emocji wypada obiecująco. Przede wszystkim oparty jest zarówno na teorii ocennej emocji, somatycznej, jak i ewolucyjnej. Może mieć szerokie zastosowanie praktyczne, poczynając od wspomnianych wcześniej aspektów interakcji z człowiekiem, poprzez samodzielne sterowanie robotem, a kończąc na estymacji zachowania człowieka. Odnosząc się do sekcji 3.2, komponenty, które uczestniczą w tworzeniu emocji w systemie xEmotion są zarówno poznawcze (np. sub-emocje związane ze spostrzeżeniami z pamięci sceny), fizjo-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

logiczne (np. sub-emocje z wyobraźni, czy sub-equalia) oraz motywacyjne (potrzeby które wpływają na emocje). W systemie tym uczestniczą wszystkie fazy według Scherera (2010).

Podsumowując, wszystkie przedstawione symulacje potwierdzają działanie systemu w pewnych zawężonych okolicznościach a system ISD został częściowo zweryfikowany. Aby dokonać pełnej weryfikacji, przetestować wszystkie podsystemy (nie tylko motywacyjne) należałoby powołać grupę badawczą. Jednak już w wyniku zaprezentowanej częściowej weryfikacji udowodniono, że agent lub robot z zaimplementowanym częściowo systemem ISD może pracować autonomicznie.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

6

Zakończenie

Niniejsza rozprawa ma przede wszystkim charakter teoretyczny, bowiem jej głównym celem było opracowanie koncepcji autonomicznego systemu podejmowania decyzji z myślą o zastosowaniach informatycznych i robotyckich. Częściowe weryfikacje, przeprowadzone w rozdziale 5, dowodzą słuszności koncepcji systemów motywacyjnych zaprojektowanych w pewnym określonym celu. Oczywiście, aby robot działał w pełni autonomicznie, nie wystarczy wyposażyć go w kilka potrzeb (siedem w przypadku xDrivera), musi to być pieczołowicie zaprojektowana struktura. Dlatego też w dalszych pracach należy przeprowadzić badania agenta ISD w bardziej złożonym środowisku, przy wielu różnych potrzebach (np. we wspomnianym w poprzednim rozdziale CaveWorld).

Inteligentny System Decyzyjny wprowadza innowacyjny kierunek do cybernetyki, która ostatnimi czasy skupia się głównie na modelowaniu zależności ekonomicznych. ISD jest projektem interdyscyplinarnym łączącym w sobie psychologię, automatykę, elementy inżynierii oprogramowania, technik plastycznych (ang. *soft computing*) i obliczeniowych w różnym aspekcie (ang. *computational...*) oraz robotyki. Obserwowane obecnie trendy w robotyce zwykle polegają na rozwijaniu metod usprawniających interfejsy HSI (human-system interface). Coraz więcej jednostek naukowych stara się stworzyć koherentny system antropoidalny. Tym niemniej, sięga się po odkrycia z dziedziny psychologii i tworzy np. systemy obliczeniowe modelujące emocje (ang. *computational emotion*). Przedstawione wyniki badań dobrze wpisują się w aktualne trendy w badaniach naukowych związanych zarówno z robotyką (roboty-humanoidalne), jak i ze sztuczną inteligencją (przeniesienie systemów baz wiedzy na platformę robotycką). Opierając się na podejściu cybernetycznym do AI, rozwijany w niniejszej dysertacji projekt modeluje odgórnie sposób działania człowieka (wychodząc z pozycji psychologii poznawczej i teorii motywacji). Metody wypracowane w niniejszej pracy pozwalają na skonstruowanie spójnego systemu robotyckiego, na dowolnej platformie, który może mieć rozmaite zastosowania. To z kolei umożliwi w przyszłości budowanie i wykorzystanie takich systemów, aby osiągnąć w pełni autonomiczne jednostki robotyckie.

6.1 Architektury poznawcze, a ISD

Aby w pełni dostrzec zalety ISD należy przede wszystkim odnieść się do zaprezentowanych w rozdziale 3 architektur kognitywnych. Należy jednak podkreślić po raz kolejny, że porównanie takich architektur, bez jednej wspólnej platformy sprzętowej nie jest miarodajne. Wszystkie systemy, łącznie z ISD, oparte są na pewnej architekturze równoległej. Jest to naturalne ze względu na bardzo dużą ilość danych do przetworzenia. Analogicznie wszystkie architektury oparte są na pewnym cyklu, od percepcji do reakcji. W przypadku ISD cykl ten może być w każdej chwili przerwany przez zmianę emocji spowodowaną dostrzeżeniem nowych obiektów w pamięci sceny.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Jednak strukturalne podobieństwo jest oczywiste. Podstawową jednostką pamięciową w ISD jest spostrzeżenie, które rzutuje się na koncept logiki opisowej, co wyróżnia ISD pośród pozostałych architektur kognitywnych. Tylko SOAR potrafi wnioskować na podstawie jednostek pamięci. ISD w takim przypadku wykorzystuje znane mechanizmy wnioskowania. W przypadku systemów percepcji, LIDA potrafi uczyć się (pamięć asocjacyjna) rozpoznawać nowe obiekty, tak samo jak ISD. Z kolei porównując aspekty motywacyjne, to ISD posiada najbardziej rozbudowany system motywacji, gdyż łączy zarówno CLARIONowe potrzeby i cele, jak i emocje (SOAR). Można zauważyć, że system xEmotion, wykorzystywany przez ISD jest rozbudowanym systemem emocjonalnym i ma podobną złożoność co FLAME (opisany w sekcji 3.2.1.2), czego nie można powiedzieć o pozostałych architekturach. Z kolei podejmowanie decyzji we wszystkich przypadkach jest podobne, związane z regułami, sieciami neuronowymi oraz wnioskowaniem.

Każdy z przedstawionych powyżej systemów stara się w pewien sposób modelować procesy poznawcze człowieka, przez co mniej lub bardziej wyjaśnia oraz dowodzi (przynajmniej częściowo) pewne teorie dotyczące procesów poznawczych. Pozwala to zarówno na ewaluację teorii psychologicznych, a także na uogólnienie procesów poznawczych dla agenta autonomicznego.

6.2 Kierunki rozwoju ISD

System ISD można wdrożyć w wielu dziedzinach, głównie w szeroko pojętej robotyce, ale także w psychologii i systemach interaktywnych. Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, ISD można traktować jako system sterowania lub estymacji stanu człowieka. Przypadek estymacji stanu człowieka jest bardzo ciekawy, zwłaszcza że na jego podstawie można również udoskonalić system ISD. Jednak aby rozwijać badania w tym kierunku, należy zaplanować szereg testów laboratoryjnych oraz przeprowadzić je w większym zespole badawczym, w który znajdą się przedstawiciele psychologii.

W przypadku budowy i implementacji systemu ISD na jednostce autonomicznej można wyróżnić dwie grupy docelowe. Pierwsza z nich skupia się na robocie zwiadowczym (np. łazik marsjański). Wydaje się bowiem naturalne użycie systemu opartego na psychologii człowieka w miejscach, do których nie można dotrzeć. Z kolei drugi kierunek, zapoczątkowany przez projekty związane z przetwarzaniem języka naturalnego, miałby na celu budowę robota socjalnego. Dzięki wbudowanemu systemowi emocji robot ten miałby dla użytkownika pozytywny wydźwięk (w kontekście HSI).

6.3 Podsumowanie

Warto podkreślić, że symulacje z poprzedniego rozdziału stawiają system ISD w pozytywnym świetle. W szczególności dowodzą one drugiej tezy pomocniczej: antropoidalny system motywacji stanowi użyteczny pierwowzór adaptacyjnego procesu w projektowanym inteligentnym systemie decyzyjnym. Każda z symulacji dowodzi poprawnego i skutecznego działania systemu motywacyjnego ISD. Należy zaznaczyć, że teza ta silnie wpisuje się w główną tezę pracy (oraz jej dowód). System motywacyjny ISD oparty jest bowiem na psychologii humanistycznej, ewolucyjnej oraz teorii emocji. Stanowi on zręczne, spójne i funkcjonalne połączenie teorii potrzeb i emocji, które pozwala na autonomiczne działanie agenta (w zależności od zaprojektowanych potrzeb, a zwłaszcza ich zmiany na podstawie postrzeganych obiektów).

Pierwsza teza pomocnicza pracy, traktująca o psychologii poznawczej została dowiedziona już w rozdziale 3. Przedstawione architektury poznawcze dowodzą prawdziwości twierdzenia, że psychologa dostarcza dostatecznej wiedzy na temat przetwarzania informacji. Jednakże budowa ISD w oparciu o psychologię poznawczą dużo bardziej wyjaśnia meandry zagadnień motywacyjnych. Oparcie systemu na psychologii poznawczej pozwala

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

na dogodne wyjaśnienie zagadnień związanych z reprezentacją wiedzy, a co za tym idzie – ze sposobem przetwarzania danych sensorycznych.

Oryginalny naukowy wkład rozprawy można podsumować w następujących punktach:

- przegląd i analiza zagadnień z zakresu psychologii poznawczej i teorii motywacji
- porównanie aktualnie dostępnych robotów humanoidalnych (Kowalczuk i Czubenko, 2015)
- przegląd rozwiązań z zakresu modelowania emocji (Kowalczuk i Czubenko, 2016)
- analiza architektur kognitywnych (Kowalczuk i Czubenko, 2017a)
- opracowanie odpowiednich modeli psychologii (Kowalczuk i Czubenko, 2010b, 2011a)
- opracowanie algorytmów podejmowania decyzji agenta na podstawie potrzeb (Kowalczuk i Czubenko, 2010a, 2011b; Kowalczuk *et al.*, 2016)
- zaprojektowanie mechanizmu ewolucji emocji związanej z postrzeganymi obiektami (Kowalczuk i Czubenko, 2013a, 2017b)
- szczegółowe opracowanie mechanizmów uwagi agenta
- implementacja systemu ISD w środowisku mikrorobotyckim (Kowalczuk i Czubenko, 2011b)
- implementacja systemu xDriver w środowisku symulacyjnym (Czubenko *et al.*, 2015).

Udowodnione powyżej tezy pomocnicze pracy składają się w całość i pozwalają na stwierdzenie, że w ogólności model procesów psychologicznych człowieka może być podstawą budowy inteligentnego systemu decyzyjnego jednostek autonomicznych, co było głównym zamierzeniem niniejszej rozprawy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Spis rysunków

2.1 Cztery temperamenty wg Galena. 9
2.2 Model procesów poznawczych. 11
2.3 Spostrzeżenie jako wynik odbioru informacji sensorycznych. 12
2.4 Schematyczny diagram reprezentacji podwójnego kodowania. 13
2.5 Droga selekcji informacji. 16
2.6 Teoria uwagi Broadbenta. 17
2.7 Wielokrotny filtr uwagi Treisman. 18
2.8 Teoria łączonego filtru. 18
2.9 Teoria alokacji zasobów Kahnemana. 21
2.10 Teoria alokacji zasobów Navona. 22
2.11 Graficzna reprezentacja świadomości. 23
2.12 Model pamięci wg Atkinsona. 24
2.13 Model pamięci roboczej Baddeleya. 26
2.14 Mural reprezentujący wiedzę na Bibliotece Kongresu. 28
2.15 Przykład sieci semantycznej. 29
2.16 Rodzaje pamięci długotrwałej. 30
2.17 Model pamięci Lehrla i Fishera. 31
2.18 Fazy procesów pamięciowych. 33
2.19 Krzywe zapominania Ebbinghausa. 36
2.20 Uproszczona piramida potrzeb Maslowa. 43
2.21 Procesy aktywacji emocji. 47
2.22 Diagram wielowymiarowej emocji Russella i Thayera. 48
2.23 Model emocji Posenra. 49
2.24 Kostka Lövheima. 50
2.25 Rozpięta parabolida emocji Plutchika. 50
2.26 Podział zjawisk emocjonalnych. 52

3.1 Zjawisko powszechnie zwane jako *Uncanny Valley*; prawa autorskie: Smurrayinchester, Wikipedia Commons, GDFL. 56
3.2 Przegląd robotów humanoidalnych. 58
3.3 Roboty NAO, Aldebaran Robotics; prawa autorskie: J. Kemtchuaing, Aldebaran. 61
3.4 Robot FLASH; prawa autorskie: Jan Kędzierski, Politechnika Wrocławska. . 62
3.5 Model intelektu Guilforda. 74
3.6 Architektura poznawcza LIDA. 77
3.7 Architektura kognitywna CLARION. 78
3.8 System poznawczy Soar w wersji 9. 79
3.9 Wystawa samochodów przyszłości z 1939 roku w Nowym Yorku. 81
3.10 Klasyfikacja niebezpiecznych aktów drogowych. 83

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4.1 Percepcja w ISD. 90
4.2 Wykrywanie krawędzi. 92
4.3 Transformaty Hugh. 93
4.4 Wykrywanie narożników. 94
4.5 Wykrywanie kleksów. 94
4.6 Kaskada Haara wykrywająca twarz. 95
4.7 Cechy charakterystyczne obrazu. 96
4.8 Skan dźwiękowy kanionu w morzu Czerwonym. 98
4.9 Przykład prostego wrażenia. 99
4.10 Przykład wrażenia 'barwa'. 100
4.11 Triangulacja i rozmiary figury płaskiej. 103
4.12 Domyślne zbiory rozmyte. 104
4.13 Rozmyte funkcje przynależności barw. 105
4.14 Stopień uogólnienia elementów poznawczych ISD. 106
4.15 Złożone wrażenie 'koloru osobnika'. 108
4.16 Podobieństwo wrażeń rozmytych. 112
4.17 Struktura spostrzeżeń. 113
4.18 Przykładowe drzewo semantyczne. 115
4.19 Ścieżka informacji w ISD. 122
4.20 Model pamięci agenta, przepływy oraz typy danych w systemie ISD. 123
4.21 Przykładowa zawartość pamięci sceny (widziana przez człowieka). 126
4.22 Przykładowy wycinek pamięci sceny z obwiedniami obiektów. 127
4.23 Model pamięci długotrwałej. 128
4.24 Szczegółowy podział pamięci semantycznej. 129
4.25 Uproszczony, schematyczny model abstrakcyjnej pamięci semantycznej. . . . 130
4.26 Wizualizacja przestrzenna pamięci semantycznej. 131
4.27 Model rozmyty potrzeby agenta w systemie ISD. 139
4.28 Funkcja skalująca funkcję wagi potrzeby. 140
4.29 Robotycki odpowiednik piramidy Maslowa. 141
4.30 Komponenty emocjonalne systemu ISD i relacje między nimi. 142
4.31 Koło (części rzeczywistej) emocji systemu xEmotion. 144
4.32 Przekrój przez koło emocji. 145
4.33 Graficzna ilustracja kwaternionów w $\mathbb{Q}$. 146
4.34 Liniowy model emocji. 147
4.35 Funkcja przejścia od emocji liniowej do nastroju. 147
4.36 Sposób generowania stanów emocji (klasycznej i nastroju). 149
4.37 Ewolucja klasycznej emocji. 150
4.38 Trzeci 'wymiar' emocji klasycznej. 151
4.39 Przykładowa potrzeba przy po długotrwałym wpływie nastroju. 153
4.40 Proces tworzenia komponentów emocjonalnych agenta. 154
4.41 Uproszczony schemat mechanizmów myślenia. 156
4.42 Wyznaczanie celów agenta. 156
4.43 Rozszerzenie koncepcji potrzeby o nowy wymiar. 157
4.44 Prezentacja norm $[\star_T]$ i $[\star_S]$ Einsteina. 158
4.45 Rozmyto-neuronowa sieć oceniająca zastosowanie reakcji. 161
4.46 Prezentacja rozmytej implikacji Łukasiewicza. 169
4.47 Prezentacja norm $[*_T]$ i $[*_S]$ Łukasiewicza. 170
4.48 Przykładowe zastosowanie MPP. 171

5.1 Robot qFix firmy KTB mechatronics 176
5.2 Algorytm wyboru kolejnej reakcji w ISD. 180
5.3 Część pamięci semantycznej agenta xDriver. 182

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5.4 Prędkość pojazdu sterowanego przez xDrivera. 186
5.5 Ostre wartości potrzeb xDrivera. 186
5.6 Prędkość samochodu sterowanego przez kontroler PI. 188
5.7 Prędkość xDrivera podczas symulacji. 190
5.8 Ewolucja emocji xDrivera. 190
5.9 Ewolucja składowych emocjonalnych w czasie. 191
5.10 Szczegóły (przybliżenie) ewolucji zmiennych emocjonalnych. 192
5.11 Okno ekspozycji obiektów skojarzonych z emocjami. 193

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Spis tablic

2.1 Gra jednoosobowa przedstawiająca problem czujności. 20
2.2 Zestawienie emocji podstawowych. 51

3.1 Zestawienie cech robotów humanoidalnych. 57
3.2 Emocja, a zmienne ocennye w teorii OCC. 68
3.3 Porównanie systemów obliczeniowych emocji. 72
3.4 Porównanie architektur kognitywnych. 80

4.1 Tworzenie złożonego wrażenia. 107
4.2 Relacje pierwotne i operacje na spostrzeżeniach. 117
4.3 Sposób wyliczania nastroju. 153
4.4 Mapowanie elementarnych elementów ISD do $\mathcal{DL}$. 165
4.5 Mapowanie złożonych elementów ISD do $\mathcal{DL}$. 166

5.1 Reakcje agenta. 177
5.2 Esytmacja stanu agenta. 178
5.3 Efekt działania FNN. 178
5.4 Symulacja xDriver 185
5.5 Lista reguł wpływu środowiska na system potrzeb agenta. 185
5.6 Reakcje i emocje agenta. 189
5.7 Scenariusz obiektów z kontekstem emocjonalnym. 192

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

Klasyczne wzory	
$\boldsymbol{r_0}$	środek ciężkości płaszczyzny
$\boldsymbol{r}$	punkt na płaszczyźnie
S	powierzchnia figury płaskiej
l_{max}	maksymalny rozmiar figury płaskiej
l_{min}	minimalny rozmiar figury płaskiej
μ_A	rozmyta funkcja przynależności zbioru rozmytego A
S_4	podobieństwo wrażeń rozmytych
$\bar{A}$	negacja/dopełnieni zbioru rozmytego A
$Card(X)$	moc, liczba kardynalna, liczebność zbioru X
$Supp(X)$	nośnik zbioru X
$Core(X)$	jądro zbioru X
Δx	krok kwantyzacji zbioru rozmytego
Operacje na zbiorach rozmytych	
$[\star_T]$	rozmyta norma T Einsteina
$[\star_S]$	rozmyta norma S Einsteina
$[*_T]$	rozmyta norma T Łukasiewicza
$[*_S]$	rozmyta norma S Łukasiewicza
$I(x, y)$	implikacja Łukasiewicza
$N^s(x)$	Negacja Yagera rzędu s
f_{or}	funkcja aktywacji neuronu 'or'
f_{and}	funkcja aktywacji neuronu 'and'
$R(x, y)$	relacja rozmyta
$R_1 \circ R_2$	złożenie superemum-T-norma relacji rozmytych
$R_1 \bullet R_2$	złożenie infinmum-S-norma relacji rozmytych
Wrażenia i spostrzeżenia	
$\gamma_{logogen}$	wrażenie (imp) o określonym logogenie (etykiecie)
λ	indeks numeryczny wrażenia (imp)
$\{\gamma\}_\Lambda$	zbiór wrażeń spostrzeżenia o indeksie Λ (imp)
γ^p	wrażenie pierwotne (*primal*)
γ^c	wrażenie złożone (*complex*)
γ^f	wrażenie funkcjonalne (wtórne) (*functional*)
Γ	spostrzeżenie (dsc)
Γ^a	spostrzeżenie abstrakcyjne
Γ^i	spostrzeżenie instancyjne
Γ^u	spostrzeżenie nierozpoznane

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Λ	indeks numeryczny spostrzeżenia
F	zbiór wszystkich spostrzeżeń
F^a	zbiór wszystkich spostrzeżeń abstrakcyjnych
F^i	zbiór wszystkich spostrzeżeń instancyjnych
$\mathcal{P}$	relacja matematyczna pomiędzy indeksami spostrzeżeń
$\overline{\Gamma}_\Lambda$	struktura spostrzeżenia o indeksie Λ
$[\gamma_x]_y$	wrażenie x przynależne do spostrzeżenia y
Operacje na spostrzeżeniach	
ρ	relacja pomiędzy spostrzeżeniami
ρ^p	relacja pierwotna
ρ^f	relacja funkcjonalna (wtórna)
r	liczbowy indeks relacji
$\Gamma_\alpha, \Gamma_\beta, \Gamma_\delta$	przykładowe spostrzeżenia
$\Gamma_\alpha \lhd \Gamma_\beta$	dziedziczenie spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \rhd \Gamma_\beta$	rodzicielstwo spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \subset \Gamma_\beta$	przynależność spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \sim \Gamma_\beta$	podobieństwo spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \nsim \Gamma_\beta$	niepodobieństwo spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \oslash \Gamma_\beta$	wykluczenie spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \otimes \Gamma_\beta$	operacja uwspólnienia spostrzeżeń
$\Gamma_\alpha \circledast \Gamma_\beta$	operacja podobieństwa spostrzeżeń
$cond$	zbiór zjawisk warunkujących relację wtórną
$prop$	wektor właściwości relacji wtórnej
Akcje agenta	
$\dashv$	akcja prosta
$\mathcal{A}$	akcja złożona
$\mathcal{R}$	reakcja
$(\Delta\eta_i, \Delta t_{\eta_i})$	para oznaczająca efekt reakcji i jego opóźnienie czasowe
$\mathcal{Z}$	zdarzenie
t_{evt}	czas wystąpienia zdarzenia
Progi (triggery) powiązane z uwagą	
τ_{γ^c}	próg wyzwalający tworzenie nowego detektora wrażeń wtórnych
τ_γ	poziom alarmowy wrażeń, powiązany z reakcją nieświadomą (filtr Treisman)
τ_Γ	poziom alarmowy spostrzeżeń, powiązany z reakcją podświadomą
Sygnały związane ze ścieżką informacji	
τ_{CNO}	próg zapamiętywania nowych spostrzeżeń (u-dsc $->$ i-dsc)
τ_{CNA}	próg wyzwalający uogólnianie wrażeń
$\tau_{!RNuO}$	próg podobieństwa spostrzeżeń, gwarantujący rozpoznanie spostrzeżenia
τ_{κ^p}	próg tworzenia nowych pre-emocji skojarzonych z wrażeniami
τ_{κ^i}	próg tworzenia indywidualnych funkcji przynależności dla equalii
Poziomy aktywności	
ϱ^i	poziom aktywności spostrzeżeń instancyjnych w pamięci semantycznej
ϱ_i^{sgfn}	stopień uwagi i-tego spostrzeżenia w pamięci sceny (SCM)
ϱ_{zero}^{sgfn}	podstawowa jednostka stopnia uwagi
ϱ_{evt}	poziom aktywności zdarzeń (evt)
Potrzeby	
H	system potrzeb
η_i	i-ta potrzeba
v_s	parametr jądra funkcji przynależności satysfakcji

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

v_a	parametr jądra funkcji przynależności alarmu
v_p	parametr nośnika funkcji przynależności alarmu i satysfakcji
μ_s	funkcja przynależności opisująca satysfakcję potrzeby
μ_p	funkcja przynależności opisująca pre-alarm potrzeby
μ_a	funkcja przynależności opisująca alarm potrzeby
f_Z	funkcja Z
f_S	funkcja S
f_Π	funkcja Π
Ω	waga potrzeby
f_{sc}	funkcja skalująca wagę potrzeby
$\hat{\mu}_s$	funkcja przynależności do zbioru typu-2 opisująca satysfakcję potrzeby
ζ	funkcja określająca stopień zaspokojenia systemu potrzeb H
$\hat{if}_{\mathcal{R}}$	rozmyto-neuronowa ocena (*impact factor*) reakcji
System emocjonalny	
κ^p	pre-emocja
κ	(sub)-emocja powiązana z obiektami
κ^c	sub-emocja (ekspresyjna)
κ^i	sub-equalia (indywidualna)
ξ	emocjonalny stan agenta
ξ^c	emocja klasyczna
ξ^i	equalia
(ω, r)	para (faza, kolor) reprezentująca czynniki emocjonalne na kole emocji
Ξ	nastrój
Δ°	stała emocjonalna wynosząca 22.5°
$\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}, j$	jednostki urojone
$\mathfrak{H}_\kappa$	kwaternion reprezentujący sub-emocję zespoloną
$\mathfrak{H}_\xi$	kwaternion reprezentujący emocję zepoloną
Υ	współczynnik zdrowia psychicznego agenta
n_{pre}	liczba aktualnie występujących pre-emocji
k	współczynnik nieczułości pre-emocji
α	parametr translacji emocji
δ	współczynnik *calm down effect*
μ^i	funkcja przynależności zbioru rozmytego equalii
$\Pi(\omega_{\xi^c})$	funkcja opisująca nieliniowe przejście barwy emocji
f_{lin}	funkcja opisująca zmianę nastroju w zakresie liniowym
Sygnały sterujące uwagi	
CNO	Create New Object
CNA	Create New Abstract
DO	Drop Object
FNO	Fetch New Object
RNuO	Remember New unrecognized Object
TD	Top-Down
Tryby czasowe	
M	Monumentalny
P	Permanentny
T	Tymczasowy
Pamięci	
USTM	Ultra Short Term/Time Memory
L-STM	Low-level Short Term/Time Memory

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

H-STM	High-level Short Term/Time Memory
SCN-M	SCene Memory
IMG	Imagination Memory
LTM	Long Term/Time Memory
A-SEM	Abstract-SEmantic Memory
I-SEM	Instance-SEmantic Memory
SQM	SeQencial Memory
EPM	EPisodic Memory
PM	Procedural Memory
Dane pamięciowe	
raw	surowe dane
imp	wrażenie
dsc	spostrzeżenie
a-dsc	abstrakcyjne spostrzeżenie
i-dsc	instancja spostrzeżenia
u-dsc	nierozpoznane spostrzeżenie
lok	lokalizacja
sgnf	ważność spostrzeżenia
evt	zdarzenie
act	akcja
Symulacja xDriver	
σ	parametr skalujący dynamiczny wpływ na potrzebę
F_{fric}	siła tarcia
F_{air}	siła aerodynamiczna
F_{eng}	siła silnika
F_b	siła hamująca
V	prędkość

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Bibliografia

Adamy, J. i Kempf, R. (2003). Regularity and chaos in recurrent fuzzy systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 140(2):259–284.

Agarwal, M. i Goel, S. (2014). Expert system and it's requirement engineering process. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering*, pages 1–4. IEEE.

Agrawal, T. i Gopinath, D. (2013). Localization using relative mapping technique for mobile soccer robots. In *International Conference on Communication and Signal Processing*, pages 265–269. IEEE.

Albertazzi, L., van Tonder, G. J., i Vishwanath, D., editors (2010). *Perception Beyond Inference: The Information Content of Visual Processes*. MIT Press.

Allport, G. W. (1937). *Personality: A Psychological Interpretation*. H. Holt and Company.

Alsop, S. (2005). *Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science.*, volume 26. Springer Science & Business Media.

Althoff, M., Stursberg, O., i Buss, M. (2009). Model-Based probabilistic collision detection in autonomous driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10(2):299–310.

Anderson, M. L. (2003). Embodied cognition: A field guide. *Artificial Intelligence*, 149(1):91–130.

Aristotele (350a). *Poetics*. The Internet Classics Archive.

Aristotele (350b). *Rhetoric*. The Internet Classics Archive.

Aristotle (40). Organon. In *Corpus Aristotelicum*, pages 1a–184a.

Arkin, R. C. (1998). *Behavior-Based Robotics*. MIT Press, Cambridge, MA.

Armstrong, D. M. (1981). What is consciousness? In *The Nature of Mind*. Cornell University Press.

Arnold, M. B. (1960). *Emotion and Personality*. Columbia University Press, New York.

Arnold, M. B. i Gasson, J. A. (1954). *The Human Person. An Approach to an Integral Theory of Personality*. The Ronald Press Company, New York.

Arons, B. (1992). *A review of the cocktail party effect*. MIT Media Lab., Cambridge.

Ashby, W. R. (1960). *Design for a brain; the origin of adaptive behavior*. Wiley, New York.

Ashton, M. C. i Lee, K. (2007). Empirical, theoretical, and practical advantages of the HEXACO model of personality structure. *Personality and Social Psychology Review : An Official Journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, 11(2):150–66.

Asimov, I. (1951). *I, Robot*. Random House Incorporated.

Atkinson, R. C. i Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In Spence, K. W. i Spence, J. T., editors, *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, chapter 2, pages 89 —– 105. New York: Academic Press.

Atkinson, R. C. i Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 224(2):82–90.

Atmanspacher, H. (2011). Quantum approaches to consciousness. In Zalta, E. N., editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University, summer 201 edition.

Averbach, E. i Coriell, A. S. (1961). Short-Term memory in vision. *Bell System Technical Journal*, 40(1):309–328.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Baader, F. (2003). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press.

Baader, F., McGinness, D., Nardi, D., i Patel-Schneider, P. F. (2010). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge university press.

Baccour, L., Alimi, A. M., i John, R. I. (2014). Some notes on fuzzy similarity measures and application to classification of shapes, recognition of arabic sentences and mosaic. *International Journal of Computer Science*, 41(2).

Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1):5–28.

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11):417–423.

Baddeley, A. (2004). The psychology of memory. In Baddeley, A. D., Kopelman, M. D., i Wilson, B. A., editors, *The Essential Handbook of Memory Disorders for Clinicians*, pages 1–13. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Baddeley, A., Thomson, N., i Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6):575–589.

Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4):362–365.

Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *The American Psychologist*, 56(11):851–64.

Baddeley, A. D. i Hitch, G. (1974). Working memory. In *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, volume 8, pages 47–89. Academic Press, New York.

Bahrick, H. P. (1984). Fifty years of second language attrition: implications for programmatic research. *The Modern Language Journal*, 68(2):105–118.

Bahrick, H. P. (2000). Long-term maintenance of knowledge. In Tulving, E. i Craik, F. I. M., editors, *The Oxford Handbook of Memory*, pages 347–362. New York: Oxford University Press.

Bai, L. i Liu, M. (2011). Fuzzy sets and similarity relations for semantic web service matching. *Computers & Mathematics With Applications*, 61(8):2281–2286.

Ballard, P. B. (1913). Obliviscence and reminiscence. *British Journal of Psychology*, 1(2).

Barnich, O. i Droogenbroeck, M. V. (2015). ViBe : A universal background subtraction algorithm for video sequences. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(6):1709–1724.

Baron, J. (2008). *Thinking and Deciding*. Cambridge University Press, fourth edition.

Bateson, M., Desire, S., Gartside, S. E., i Wright, G. A. (2011). Agitated honeybees exhibit pessimistic cognitive biases. *Current Biology : CB*, 21(12):1070–1073.

Batson, C. (1990). Affect and altruism. In Moore, B. S. i Isen, A. M., editors, *Affect and Social Behavior*, pages 89–126. Cambridge University Press.

Becker-Asano, C. (2008). *WASABI: Affect Simulation for Agents With Believable Interactivity*. PhD thesis, Faculty of Technology, University of Bielefeld.

Becker-Asano, C. (2014). WASABI for affect simulation in human-computer interaction. In *Proc. International Workshop on Emotion Representations and Modelling for HCI Systems*.

Becker-Asano, C. i Wachsmuth, I. (2010). WASABI as a case study of how misattribution of emotion can be modelled computationally. In Scherer, K. R., Banziger, T., i Roesch, E., editors, *A Blueprint for Affective Computing: A Sourcebook and Manual*, pages 179–193. Oxford University Press, Inc.

Beg, I. i Ashraf, S. (2009). Similarity measures for fuzzy sets. *Applied and Computational Mathematics*, 8:192–202.

Belta, C., Bicchi, A., Egerstedt, M., Frazzoli, E., Klavins, E., i Pappas, G. J. (2007). Symbolic planning and control of robot motion. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14(1):61–71.

Bengtsson, J. (2001). *Adaptive Cruise Control and Driver Modeling*. Number November. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology.

Bennett, C. C. i Doub, T. W. (2016). Artificial intelligence in behavioral and mental health care. In Luxton, D. D., editor, *Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care*, chapter 2, pages 27–51. Elsevier.

Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, Arousal, and Curiosity*. McGraw-Hill series in psychology. McGraw-Hill.

Berlyne, D. E. (1965). *Structure and direction in thinking*. Number 2. John Wiley, Oxford, England.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Berry, C. J., Shanks, D. R., i Henson, R. N. A. (2008). Aunitary signal-detection model of implicit and explicit memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(10):367–73.

Bezdek, J. C., Keller, J., Krisnapuram, R., i Pal, N. (2006). *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*, volume 4. Springer Science & Business Media.

Biddle, S., Fox, K. R., i Boutcher, S. H. (2000). *Physical Activity and Psychological Well-Being*. Psychology Press, London.

Blatt, S. i Stein, M. (1959). Efficiency in problem solving. *The Journal of Psychology*, 48:193–213.

Blumberg, B. (1996). *Old Tricks, New Dogs: Ethology and Interactive Creatures*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Bocheński, J. i Judycki, S. (1992). *Współczesne Metody Myślenia*. ydawnictwo Polskiej Prowincji Dominikanów W. Drodze.

Bogue, R. (2010). Brain-computer interfaces: control by thought. *Industrial Robot: An International Journal*, 37(2):126–132.

Borst, A. i Egelhaaf, M. (1989). Principles of visual motion detection. *Trends in Neurosciences*, 12(8):297–306.

Boucenna, S., Narzisi, A., Tilmont, E., Muratori, F., Pioggia, G., Cohen, D., i Chetouani, M. (2014). Interactive technologies for autistic children: A review. *Cognitive Computation*.

Bousfield, W. (1953). The occurrence of clustering in the recall of randomly arranged associates. *The Journal of General Psychology*, 49(2):229–240.

Boyn, S., Grollier, J., Lecerf, G., Xu, B., Locatelli, N., Fusil, S., Girod, S., Carrétéro, C., Garcia, K., Xavier, S., Tomas, J., Bellaiche, L., Bibes, M., Barthélémy, A., Saïghi, S., i Garcia, V. (2017). Learning through ferroelectric domain dynamics in solid-state synapses. *Nature Communications*, 8:14736.

Bradley, M. M., Greenwald, M. K., Petry, M. C., i Lang, P. J. (1992). Remembering pictures: pleasure and arousal in memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 18(2):379–90.

Bradski, G. i Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. O'Reilly Media, Inc.

Braine, M. D. (1978). On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic. *Psychological Review*, 85(1):1–21.

Brandstein, M. S. i Silverman, H. F. (1997). Apractical methodology for speech source localization with microphone arrays. *Computer Speech & Language*, 11(2):91–126.

Breazeal, C. (1999). Robot in society: friend or appliance? In *Agents99 Workshop on Emotion-Based Agent Architectures*, pages 18–26, Seattle, WA.

Breazeal, C. i Scassellati, B. (1999). A context-dependent attention system for a social robot. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 1146–1151, Stockholm, Sweden.

Breland, S., McKinney, D., Parry, D., i Peachey, C. (2012). NRL designs robot for shipboard firefighting. *Naval Research Laboratory. SPECTRA*, 1:8–10.

Brim, N., Orville, G., i Glass, D. C. (1962). *Personality and Decision Processes: Studies in the Social Psychology of Thinking*. Stanford University Press.

Broadbent, D. E. (1957). Amechanical model for human attention and immediate memory. *Psychological Review*, 64(3):205–2015.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. Pergamon Press, London.

Broadbent, D. E. i Gregory, M. (1964). Stimulus set and response set: the alternation of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 16(4):309–317.

Broadbent, E., Stafford, R., i MacDonald, B. (2009). Acceptance of healthcare robots for the older population: review and future directions. *International Journal of Social Robotics*, 1(4):319–330.

Brooks, J. G. i Brooks, M. G. (1999). *In Search of Understanding: The Case for Constructivist Classrooms*. ASCD.

Brooks, R. (1991a). Intelligence without reason. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 569–595, Sydney.

Brooks, R. A. (1991b). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47(1-3):139–159.

Bruner, J. S. (1973). *Beyond the Information Given: Studies in the Psychology of Knowing*. W W Norton & Company Incorporated.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Bugelski, B. R. i Alampay, D. A. (1961). The role of frequency in developing perceptual sets. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne De Psychologie*, 15(4):205–211.

Bui, T., Heylen, D., Poel, M., i Nijholt, A. (2002). ParleE: an adaptive plan based event appraisal model of emotions. In *KI 2002: Advances in Artificial Intelligence*, pages 1–9. Springer.

Buller, A. (1998). *Sztuczny Mózg: To Już Nie Fantazje*. Prószyński i S-ka, Warszawa.

Buschman, T. i Miller, E. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(1860):1860–1862.

Buss, D. (2008). *Evolutionary Psychology: The New Science of the Mind*. Pearson, 3rd edition.

Cacciabue, P. C. i Carsten, O. (2010). Asimple model of driver behaviour to sustain design and safety assessment of automated systems in automotive environments. *Applied Ergonomics*, 41(2):187–97.

Cakmak, M. i Thomaz, A. (2012). Designing robot learners that ask good questions. In *7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 17–24, Boston, MA.

Calado, J., S da Costa, J., Bartys, M., i Korbicz, J. (2006). FDI approach to the DAMADICS benchmark problem based on qualitative reasoning coupled with fuzzy neural networks. *Control Engineering Practice*, 14(6 SPEC. ISS.).

Campbell, J. I. D. (2005). *Handbook of Mathematical Cognition*. Psychology Press.

Canny, J. (1986). AComputational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6):679–698.

Carr, T. H., McCauley, C., Sperber, R. D., i Parmelee, C. M. (1982). Words, pictures, and priming: on semantic activation, conscious identification, and the automaticity of information processing. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 8(6):757–777.

Carver, L. J. i Bauer, P. J. (2001). The dawning of a past: the emergence of long-term explicit memory in infancy. *Journal of Experimental Psychology. General*, 130(4):726–45.

Casucci, M., Marchitto, M., i Cacciabue, P. C. (2010). Anumerical tool for reproducing driver behaviour: experiments and predictive simulations. *Applied Ergonomics*, 41(2):198–210.

Cave, K. R. i Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22(2):225–271.

Chao, C., Lee, J., Begum, M., i Thomaz, A. (2011). Simon plays simon says: the timing of turn-taking in an imitation game. In *Ro-Man, 2011 Ieee*, pages 235 – 240.

Chao, C. i Thomaz, A. (2012). Timing in multimodal turn-taking interactions: control and analysis using timed petri nets. *Journal of Human-Robot Interaction*, 1(1):4–25.

Chen, H., Peng, J., Zhou, Y., Li, L., i Pan, Z. (2014). Extreme learning machine for ranking: generalization analysis and applications. *Neural Networks*.

Chen, L., Bechkoum, K., i Clapworthy, G. (2001). Equipping a lifelike animated agent with a mind. In Springer, editor, *Intelligent Virtual Agents Lecture Notes in Computer Science*, Intelligent Virtual Agents, pages 72–85.

Cherry, C. E. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5):975–979.

Cherry, K. (2014). Theories of Motivation: A Closer Look at Some Important Theories of Motivation.

Chomsky, N. (1967). A review of B. F. skinner's verbal behavior. In Jakobovits, L. A. i Miron, M. S., editors, *Readings in the Psychology of Language*, pages 142–143. Prentice-Hall.

Chown, E., Jones, R., i Henninger, A. (2002). An architecture for emotional decision-making agents. In *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Part 1*, pages 352–353, Bologna. ACM.

Christianson, S. i Engelberg, E. (1999). Organization of emotional memories. In Dalgleish, T. i Power, M., editors, *The Handbook of Cognition and ...*, chapter 11, pages 211–227. Wiley & Sons.

Chudziak, P. (2015). *Analiza Ekspresji Miniki Ludzkiej Twarzy Za Pomocą Komputer*. PhD thesis, Gdańsk University of Technology.

Chybiński, A. (2012). *Linguabot Prezentacyjny Awatar Z Komunikacją Werbalną*. praca magisterska, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, Poland.

Clements, G. (1985). The geometry of phonological features. *Phonology*, 2(1):225–252.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Cohen, G., Kiss, G., i Voi, M. E. L. (1993). *Memory: Current Issues*. Open University Press, Buckingham.

Conrad, R. (1963). Acoustic confusions and memory span for words. *Nature*, 197(4871):1029–1030.

Coombs, C. H., Dawes, R. M., i Tversky, A., editors (1970). *Mathematical Psychology: An Elementary Introduction*. Prentice-Hall.

Cowan, N. (1995). *Attention and Memory*. Oxford University Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and Brain Sciences*, 24(1):87–114.

Coward, L. i Sun, R. (2004). Criteria for an effective theory of consciousness and some preliminary attempts. *Consciousness and Cognition*, 13(2):268–301.

Craik, F. i Watkins, M. (1973). The role of rehearsal in short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12(6):599–607.

Craik, F. I. M. i Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6):671–684.

Crowder, R. G. i Morton, J. (1969). Precategorical acoustic storage (PAS). *Perception & Psychophysics*, 5(6):365–373.

Cruttenden, A. (2008). *Gimson's Pronunciation of English*. Hodder Arnold Publication. Routledge, 7 edition.

Cutler, R. i Davis, L. (2000). Robust real-time periodic motion detection, analysis, and applications. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(8):781–796.

Czogala, E. i Leski, J. (2000). *Fuzzy and neuro-fuzzy intelligent systems*.

Czubenko, M., Ordys, A., i Kowalczuk, Z. (2015). Autonomous driver based on intelligent system of decision-making. *Cognitive Computation*, 7(5):569–581.

Czyżewski, A., Dalka, P., Kunka, B., Kupryjanow, A., Lech, M., i Odya, P. (2014). Multimodal human-computer interfaces based on advanced video and audio analysis. In Hippe, Z. S., Kulikowski, J. L., Mroczek, T., i Wtorek, J., editors, *Human-Computer Systems*, volume 300 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 87–102. Springier.

D'Agostino, M. (1999). Tableau methods for classical propositional logic. In D'Agostino, M., Gabbay, D., Hähnle, R., i Posegga, J., editors, *Handbook of Tableau Methods*, chapter 2, pages 45–123. Springer Netherlands.

Dalka, P. (2006). Detection and segmentation of moving vehicles and trains using gaussian mixtures, shadow detection and morphological processing. *Mg&v*, 15(3):339–348.

Dalka, P. (2012). Multi-camera vehicle tracking using local image features and neural networks. In *On Multimedia Communications, Services and Security*, pages 58–67.

Dalka, P. i Czyżewski, A. (2010). Vehicle classification based on soft computing algorithms. *Rough Sets and Current Trends in Computing*, pages 70–79.

Damasio, A. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Gosset/Putnam, New York.

Damjanovic, V., Kravcik, M., i Devedzic, V. (2005). eQ: an adaptive educational hypermedia-based BDI agent system for the semantic web. In *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pages 421–423. IEEE.

Damon, J. (1999). Properties of ridges and cores for two-dimensional images. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 10(2):163–174.

Daniel, B., Korondi, P., i Thomessen, T. (2013). New approach for industrial robot controller user interface. In *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pages 7831–7836. IEEE.

Daniels, K., Toth, J., i Jacoby, L. (2006). The aging of executive functions. In Bialystok, E. i Craik, F. I. M., editors, *Lifespan Cognition: Mechanisms of . . .*, pages 96–111. Oxford University Press, New York.

Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. John Murray, London.

Davidson, R. J. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*, 20(1):125–51.

Davis, D. N. i Lewis, S. C. (2003). Computational models of emotion for autonomy and reasoning. *Informatica*, 27(2):157–164.

Davis, L. (1975). Asurvey of edge detection techniques. *Computer Graphics and Image Processing*, 4(3):248—-270.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

De Berg, M., Van Kreveld, M., Overmans, M., i Schwarzkopf, O. (2007). *Geometria Obliczeniowa. Algorytmy I Zastosowania*. WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

De Graaf, M. M. A., Allouch, S. B., i Klamer, T. (2015). Sharing a life with harvey: exploring the acceptance of and relationship-building with a social robot. *Computers in Human Behavior*, 43:1–14.

De Silva, L. i Ekanayake, H. (2008). Behavior-based robotics and the reactive paradigm a survey. In *International Conference on Computer and Information Technology*, pages 36–43, Khulna.

Demir, M. i Çavuşoğlu, A. (2012). Anew driver behavior model to create realistic urban traffic environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(3):289–296.

Descartes, R. (1960). *Discourse on Method and Meditations*. The Liberal Arts Press, New York.

Descartes, R. (1989). *Passions of the Soul*. Hackett Publishing Company, Inc.

Deutsch, J. A. i Deutsch, D. (1963). Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70:80–90.

Deutsch, J. A., Deutsch, D., Lindsay, P. H., i Treisman, A. M. (1967). Comments and reply on śelective attention: perception or response? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19(4):362–7.

Deutsch, T., Muchitsch, C., Zeilinger, H., Bader, M., Vincze, M., i Lang, R. (2011). Cognitive decision unit applied to autonomous biped robot NAO. In *9th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pages 75–80, Caparica, Lisbon. IEEE.

Dewey, J. (1910). *How We Think*. D.C. Heath & Company, Mineola, N.Y.

Dias, J., Mascarenhas, S., i Paiva, A. (2014). Fatima modular: towards an agent architecture with a generic appraisal framework. In *Emotion Modeling*, volume 8750 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 44–56. Springer.

Dias, J. A. (2005). *FearNot!: Creating Emotional Autonomous Synthetic Characters for Emphatic Interactions*. PhD thesis, Lisbon: Instituto Superior T{é}cnico, Lisbon, Portugal.

Domańska, Ł. (1997). Zaburzenia uwagi u osób z dysfunkcjami mózgowymi. In Kądzielawa, A. i Herzyk, D., editors, *Związek Mózg-Zachowanie W Ujęciu Neuropsychologii Klinicznej*, pages 89–110. Wydawnictwo UMCS, Lublin.

Donini, F. M. i Massacci, F. (2000). EXPtime tableaux for ALC. *Artificial Intelligence*, 124(1):87–138.

Dorner, D. i Hille, K. (1995). Artificial souls: motivated emotional robots. In *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, volume 4, pages 3828–3832. IEEE.

Driver, J. i McLeod, P. (1992). Reversing visual search asymmetries with conjunctions of movement and orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1):22–33.

Drzewiecki, M. i Kowalczuk, Z. (2007). Prototyp biomanipulatora – protezy ręki. In *XV Krajowej Konferencji Naukowej Biocybernetyka I Inżynieria Biomedyczna*, Wrocław.

Du, P. i Liu, H.-y. (2010). Study on air combat tactics decision-making based on bayesian networks. In *2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, pages 252–256, Chengdu. IEEE.

Dubois, D. i Prade, H. (1991). Fuzzy sets in approximate reasoning. *Fuzzy Sets and Systems*, 40(1):143–202.

Duda, R. O. i Hart, P. E. (1973). *Pattern Classification and Scene Analysis*. Wiley-Interscience, Oxford.

Duncan, J. i Humphreys, G. (1992). Beyond the search surface: visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2):578–588.

Ebbinghaus, H. (1885). *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*. Teachers College, New York.

Eemeren, F., Garssen, B., i Meuffels, B. (2009). *Fallacies and judgments of reasonableness: empirical research concerning the pragma-dialectical discussion rules*, volume 16. Springer Science & Business Media.

Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3-4):169–200.

Ekman, P. (2009). *Telling Lies. Clues to Deceit in the Marketplace, Politics and Marriage*. W. W. Norton & Company.

Ekman, P., Friesen, W. V., i Ellsworth, P. (2013). What emotion categories or dimensions can observers judge from facial behavior? In Goldstein, A. P. i Krasner, L., editors, *Emotion in the Human Face: Guidelines for Research and an Integration of Findings*, pages 57–67. Elsevier Science.

El-Nasr, M. S., Yen, J., i Ioerger, T. R. (2000). Flame - fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3):219–257.

Elliott, C. D. (1992). *The Affective Reasoner: Aprocess Model of Emotions in a Multi-Agent System*. PhD thesis, Northwestern University, Chicago.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ellis, A., Abrams, M., i Abrams, L. D. (2008). *Personality Theories: Critical Perspectives*. SAGE Publications, Inc;, 1st edition.

Endo, N. i Takanishi, A. (2011). Development of whole-body emotional expression humanoid robot for adl-assistive RT services. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 23(6):969–977.

Engler, B. (2008). *Personality Theories*. Cengage Learning.

Ericsson, K. A. i Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102(2):211–45.

Ericsson, K. A. i Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis - Rev'd Edition: Verbal Reports as Data*. A Bradford Book.

Eriksen, C. W. i Colegate, R. L. (1971). Selective attention and serial processing in briefly presented visual displays. *Perception & Psychophysics*, 10(5):321–326.

Eriksen, C. W. i Collins, J. F. (1967). Some temporal characteristics of visual pattern perception. *Journal of Experimental Psychology*, 74(4):476–484.

Eysneck, M. W. i Keane, M. T. (2000). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. Psychology Press, Hove, East Sussex, 4th edition.

Fakoor, M., Kosari, A., i Jafarzadeh, M. (2016). Humanoid robot path planning with fuzzy markov decision processes. *Journal of Applied Research and Technology*, 14(5):300–310.

Farina, D., Jiang, N., i Rehbaum, H. (2014). The extraction of neural information from the surface EMG for the control of upper-limb prostheses: emerging avenues and challenges. *On Neural Systems ....*

Feynman, R., Leighton, R., i Sands, M. (2013). *The Feynman Lectures on Physics, Desktop Edition*, volume 1. Basic Books.

Figueiredo, R., Dias, J., i Paiva, A. (2006). Shaping emergent narratives for a pedagogical application. *Narrative and Interactive Learning Environments*, pages 27–36.

Fisher, R. P. i Craik, F. I. (1977). Interaction between encoding and retrieval operations in cued recall. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(6):701–711.

Flemmer, R. C. (2010). A scheme for an embodied artificial intelligence. In *2009 4th International Conference on Autonomous Robots and Agents*, pages 1–9. IEEE.

Flett, G. L. (2014). *Personality Theory and Research: An International Perspective*. Wiley Global Education.

Fludd, R. (1619). *De triplici animae in corpore visione*, volume 2.

Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind: An Essay on Faculty Psychology*. The MIT Press, Cambridge.

Fodor, J. C. (1991). On fuzzy implication operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 42(3):293–300.

Fodor, J. C. (1995). Contrapositive symmetry of fuzzy implications. *Fuzzy Sets and Systems*, 69:141–156.

Foucault, M. (1928). Les inhibitions internes de fixation. *Année Psychologique*, 29:92–112.

Franklin, S., Madl, T., D'Mello, S., i Snaider, J. (2014). LIDA: A systems-level architecture for cognition, emotion, and learning. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, 6(1):19–41.

Fraser, O. N. i Bugnyar, T. (2010). Do ravens show consolation? responses to distressed others. *PloS One*, 5(5).

Freud, S. (1957). *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud*. The Hogarth press, London.

Frijda, N. H. (1986). *The Emotions*. Cambridge University Press.

Frijda, N. H. (1994). The lex talionis: on vengeance. In van Goozen, S. H., de Poll, N. E. V., i Sergeant, J. A., editors, *Emotions: Essays on Emotion Theory*, page 352. Lawrence Erlbaum Associates.

Frost, N. (1972). Encoding and retrieval in visual memory tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 95(2):317.

Galen (1904). *Galeni De Temperamentis Libri III*. in aedibus B. G. Teubneri.

Garcia, C. i Delakis, M. (2004). Convolutional face finder: A neural architecture for fast and robust face detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(11):1408—-1423.

Ge, N., Goebel, P., i Amsuess, S. (2013). Evaluating upper-limb emg-prosthesis user performance by combining psychometric measures and classification-rates. *(NER), 2013 6th ....*

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Ge, S. S. (2007). Social robotics: integrating advances in engineering and computer science. In *The 4th Annual International Conference Organized by ....*

Geddes, N. (1940a). *Futurama: City of Tomorrow*. New York World Fair.

Geddes, N. B. (1940b). *Magic Motorways*. Random House, New York.

Gentner, D., Holyoak, K. J., i Kokinov, B. N. (2001). *The Analogical Mind: Perpectives From Cognitive Science*. MIT press.

Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Houghton Mifflin.

Gibson, J. J. (1972). A theory of direct visual perception. In Royce, J. i Rozenboom, W., editors, *The Psychology of Knowing*. Gordon & Breach, New York.

Gibson, W. C. (1986). Johnny mnemonic. In *Burning Chrome*. HarperCollins Publishers, New York.

Gigerenzer, G. i Todd, P. M. (1999). *Simple Heuristics That Make Us Smart*. Oxford University Press.

Girle, R. (2000). Modal Logics and Philosophy. page 198.

Glasner, R. (1996). Changing the agency for learning: acquiring expert performance. In Ericsson, K., editor, *The Road to Excellence: The Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports, and Games*, chapter 11, pages 303–311. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Godden, D. i Baddeley, A. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: on land and underwater. *British Journal of Psychology*, 66(3):325–331.

Goldberg, L. R. (1993). The structure of phenotypic personality traits. *The American Psychologist*, 48(1):26–34.

Goldman, D. i Homa, D. (1977). Integrative and metric properties of abstracted information as a function of category discriminability, instance variability, and experience. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(4):375–385.

Gomes, L. (2014). Google's self-driving cars still face many obstacles.

Gonzalez, R., Jacobus, J., Amatya, A. K., Quartana, P. J., Vassileva, J., i Martin, E. M. (2008). Deficits in complex motor functions, despite no evidence of procedural learning deficits, among HIV+ individuals with history of substance dependence. *Neuropsychology*, 22(6):776–86.

Goodall, J. (1986). *The chimpanzees of gombe: patterns of behavior*, volume 3. Harvard University Press.

Goodwin, P. i Wright, G. (2009). *Decision Analysis for Management Judgment*. Wiley.

Gottfredson, L. (1998). The general intelligence factor. *Scientific American Presents*, 9(4):24–29.

Gouaillier, D., Collette, C., i Kilner, C. (2010). Omni-directional closed-loop walk for NAO. In *International Conference on Humanoid Robots*, pages 448–454.

Gratch, J. (2000). Émile: marshalling passions in training and education. In *In Proceedings 4th International Conference on Autonomous Agents*, Barcelona, Spain.

Gratch, J. i Marsella, S. (2004). Adomain-independent framework for modeling emotion. *Cognitive Systems Research*, 5(4):269–306.

Gratch, J. i Marsella, S. (2005). Evaluating a computational model of emotion. *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 11(1):23–43.

Gray, A., Gao, Y., Lin, T., Hedrick, J. K., i Borrelli, F. (2013). Stochastic predictive control for semi-autonomous vehicles with an uncertain driver model. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 2329–2334. IEEE.

Gray, J. (1985). Awhole and its parts: behaviour, the brain, cognition and emotion. *Bulletin of the British Psychological Society*, 38:99–112.

Gray, J. A. i Wedderburn, A. A. I. (1960). Shorter articles and notes grouping strategies with simultaneous stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(3):180–184.

Gregory, R. L. (1974). *Concepts and Mechanisms of Perception*. Duckworth.

Guilford, J. (1966). Intelligence: 1965 model. *American Psychologist*, 21(1):20.

Guizzo, E. (2011). How google's self-driving car works.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Gunnell, K. E., Crocker, P. R., Mack, D. E., Wilson, P. M., i Zumbo, B. D. (2014). Goal contents, motivation, psychological need satisfaction, well-being and physical activity: A test of self-determination theory over 6 months. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(1):19–29.

Guzicki, W. i Zakrzewski, P. (2005). *Wykłady Ze Wstępu Do Matematyki. Wprowadzenie Do Teorii Mnogości.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Han, J., Shao, L., Xu, D., i Shotton, J. (2013). Enhanced computer vision with microsoft kinect sensor: a review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(5):1318–34.

Hardin, C. L. (1987). Qualia and materialism: closing the explanatory gap. *Philosophy and Phenomenological Research*, 48:281–298.

Hardy, J. i Campbell, M. (2013). Contingency planning over probabilistic obstacle predictions for autonomous road vehicles. *IEEE Transactions on Robotics*, 29(4):913–929.

Harris, C. i Stephens, M. (1988). Acombined corner and edge detector. *Alvey Vision Conference*, 15:50.

Hebb, D. O. (1958). *Textbook of Psychology.* Philadelphia: Saunders.

Helman, D. H. (2013). *Analogical Reasoning: Perspectives of Artificial Intelligence, Cognitive Science, and Philosophy*, volume 197. Springer Science & Business Media.

Henderson, J. M. (1992). Identifying objects across saccades: effects of extrafoveal preview and flanker object context. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(3):521–530.

Hendrickx, I., Kim, S., i Kozareva, Z. (2009). Semeval-2010 task 8: multi-way classification of semantic relations between pairs of nominals. In *Proceedings of the Workshop on Semantic Evaluations: Recent Achievements and Future Directions*, pages 94–99, Hendrickx2009. Association for Computational Linguistics.

Hernandez, A., El Fallah-Seghrouchni, A., i Soldano, H. (2004). Distributed learning in intentional BDI multi-agent systems. In *Proceedings of the Fifth Mexican International Conference in Computer Science*, pages 225–232. IEEE.

Herve, L. G. i Sorin, M. (2009). A model of cooperative agent based on imitation and maslow's pyramid of needs. In *International Joint Conference on Neural Networks*, pages 1229–1236. IEEE.

Hjørland, B. (2007). Semantics and knowledge organization. In Cronin, B., editor, *Annual Review of Information Science and Technology*, chapter 8, pages 367–405. Wiley.

Ho, W. C., Dautenhahn, K., Lim, M. Y., Vargas, P. A., Aylett, R., i Enz, S. (2009). An initial memory model for virtual and robot companions supporting migration and long-term interaction. In *The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 277–284.

Hoffmann, M. H. (2011). Fairly certifying competences, objectively assessing creativity. In *Global Engineering Education Conference*, pages 270–277. IEEE.

Hofstadter, D. R. (1985). *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Patterns.* Basic Books.

Hopfield, J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(8):2554–2558.

Horney, K. (1937). *The Neurotic Personality of Our Time.* Norton.

Hoser, B., Hotho, A., Jäschke, R., i Schmitz, C. (2006). Semantic network analysis of ontologies. *European Semantic Web.*

Hosoda, Y., Egawa, S., Tamamoto, J., Yamamoto, K., Nakamura, R., i Togami, M. (2006). Basic design of human-symbiotic robot EMIEW. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 5079–5084. IEEE.

Hovland, C. I. (1938). Experimental studies in rote-learning theory. I. reminiscence following learning by massed and by distributed practice. *Journal of Experimental Psychology*, 22(3):201–224.

Hu, J., Edsinger, A., Donaldson, N., Solano, M., Solochek, A., i Marchessault, R. (2011). An advanced medical robotic system augmenting healthcare capabilities - robotic nursing assistant. In *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 6264–6269. IEEE.

Huang, K., Starner, T., Do, E., Weiberg, G., Kohlsdorf, D., Ahlrichs, C., i Leibrandt, R. (2010). Mobile music touch. In *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '10*, page 791, New York, New York, USA. ACM Press.

Hudlicka, E. (2004). Beyond cognition: modeling emotion in cognitive architectures. In *Proceedings of the International Conference on Cognitive Modelling*, pages 118–123, Pittsburgh.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Hudlicka, E. (2005). A computational model of emotion and personality: applications to psychotherapy research and practice. In *Proceedings of the 10th Annual Cyber Therapy Conference: A Decade of Virtual Reality*, pages 1–7, Basel, Switzerland.

Hudlicka, E. (2008). Modeling the mechanisms of emotion effects on cognition. In *AAAI Fall Symposium: Biologically Inspired Cognitive Architectures*, pages 82–86.

Hull, C. L. (1943). *Principles of Behavior: An Introduction to Behavior Theory.* D. Appleton-Century Company, Incorporated.

Hulme, C., Neath, I., Stuart, G., Shostak, L., Surprenant, A. M., i Brown, G. D. A. (2006). The distinctiveness of the word-length effect. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 32(3):586–594.

Hunt, A. R. i Kingstone, A. (2003). Covert and overt voluntary attention: linked or independent? *Cognitive Brain Research*, 18(1):102–105.

Hunt, E. (2016). Tay, microsoft's AI chatbot, gets a crash course in racism from twitter — technology — the guardian.

Ishi, C. T., Liu, C., Ishiguro, H., i Hagita, N. (2012). Evaluation of formant-based lip motion generation in tele-operated humanoid robots. In *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 2377–2382. IEEE.

Ishihara, H. i Asada, M. (2013). "Affetto": towards a design of robots who can physically interact with people, which biases the perception of affinity (beyond "uncanny"). In *International Conference on Robot and Automation Workshop on Art and Robotics: Freud's Unheimlich and Uncanny Valley.*

Ishihara, H., Yoshikawa, Y., i Asada, M. (2011). Realistic child robot "affetto" for understanding the caregiver-child attachment relationship that guides the child development. In *International Conference on Development and Learning*, volume 2, pages 1–5. IEEE.

Izard, C. E. (1972). *Patterns of Emotions: A New Analysis of Anxiety and Depression.* Academic Press.

Izard, C. E. (1977). *Human Emotions.* Springer.

Izard, C. E. (1993). Four systems for emotion activation: cognitive and noncognitive processes. *Psychological Review*, 100(1):68–90.

Jack, R. E., Garrod, O. G. B., i Schyns, P. G. (2014). Dynamic facial expressions of emotion transmit an evolving hierarchy of signals over time. *Current Biology*, 24(2):187–92.

Jackson, F. (1982). Epiphenomenal qualia. *The Philosophical Quarterly*, 32(127):127–136.

Jacoby, L. L. (1991). Aprocess dissociation framework: separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5):513–541.

Jakobson, R. i Halle, M. (2002). *Fundamentals of Language*, volume 1 of *Janua linguarum.* Walter de Gruyte, Berlin, New Yok, 2 edition.

James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9:188–205.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology.* Henry Holt and Company, New York.

James, W. (1918). *The Principles of Psychology.* H. Holt, New York.

James, W. (2013). *Principles of Psychology.* Hardpress Limited.

Jeffrey, R. i Burgess, J. P. (1967). *Formal Logic: Its Scope and Limits.* McGraw-Hill. ISO 690, New York.

Jeon, H., Kim, T., i Choi, J. (2008). Ontology-based user intention recognition for proactive planning of intelligent robot behavior. In *Proceedings - 2008 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, MUE 2008*, pages 244–248. IEEE.

Johnston, W. A. (1978). The intrusiveness of familiar nontarget information. *Memory & Cognition*, 6(1):38–42.

Jones, R. i Laird, J. (1997). Constraints on the design of a high-level model of cognition. In *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society.*

Jost, A. (1897). Die assoziationsfestigkeit in ihrer abhängigkeit von der verteilung der wiederholungen. *Zeitschrift Für Psychologie Und Physiologie Der Sinnesorgane*, 14:436—-473.

Juhlin, O. (1999). Traffic behaviour as social integration - implications for the design of artificial drivers. In *Proceedings of 6TH World Congress on Intelligent Transport Systems*, Toronto.

Kagan, J. (1998). *Galen's Prophecy: Temperament in Human Nature.* Westview Press.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Kahn, Jr., P. H., Friedman, B., Pérez-Granados, D. R., i Freier, N. G. (2006). Robotic pets in the lives of preschool children. *Interaction Studies*, 7:405–436.

Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Kalman, R. (1960). Anew approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1):35–45.

Kaminer, I., Pascoal, A. M., Khargonekar, P. P., i Coleman, E. E. (1995). Avelocity algorithm for the implementation of gain-scheduled controllers. *Automatica*, 31(8):1185–1191.

Kaneko, K., Kanehiro, F., Morisawa, M., Akachi, K., Miyamori, G., Hayashi, A., i Kanehira, N. (2011). Humanoid robot HRP-4 - humanoid robotics platform with lightweight and slim body. In *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 4400–4407. IEEE.

Kaneko, K., Kanehiro, F., Morisawa, M., Miura, K., Nakaoka, S., i Kajita, S. (2009). Cybernetic human HRP-4C. In *2009 9th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 7–14. IEEE.

Kant, I. (1786). What does it mean to orient oneself in thinking? *Berlinische Monatschrift*, 8:304–330.

Kaplan, F. (2004). Who is afraid of the humanoid? investigating cultural differences in the acceptance of robots. *International Journal of Humanoid Robotics*, 01(03):465–480.

Kedzierski, J., Muszyński, R., Zoll, C., Oleksy, A., i Frontkiewicz, M. (2013). EMYS—Emotive head of a social robot. *International Journal of Social Robotics*, 5(2):237–249.

Kiencke, U., Majjad, R., i Kramer, S. (1999). Modeling and performance analysis of a hybrid driver model. *Control Engineering Practice*, 7(8):985–991.

Kirtay, M., Vannucci, L., Falotico, E., Oztop, E., i Laschi, C. (2016). Sequential decision making based on emergent emotion for a humanoid robot. In *2016 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2016)*, pages 1101–1106. IEEE.

Klaus Oberauer, Heinz-martin Süß, Oliver Wilhelm, W. W. W. (2003). The multiple faces of working memory: storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, 31(2):167–193.

Klein, S. B. i Kihlstrom, J. F. (1986). Elaboration, organization, and the self-reference effect in memory. *Journal of Experimental Psychology. General*, 115(1):26–38.

Klimczak, J. (2011). *System Inteligentnej Nawigacji Sterowanej Głosem Po Serwisie Internetowym*. praca magisterska, Gdańsk University of Technlogy, Gdańsk, Poland.

Korb, K. B. i Nicholson, A. E. (2003). *Bayesian Artificial Intelligence*. Series in Computer Science and Data Analysis. Chapman & Hall.

Korbicz, J. i Kowal, M. (2014). *Intelligent Systems in Technical and Medical Diagnostics*, volume 230.

Korbicz, J., Obuchowicz, A., i Uciński, D. (1994). Artificial neural networks. *Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warsaw*.

Korecko, S., Herich, T., i Sobota, B. (2014). JBdiEmo — OCC model based emotional engine for jadex BDI agent system. In *12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, pages 299–304, Herl'any. IEEE.

Kosslyn, S. M. (1996). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. A Bradford Book.

Kowal, M., Korbicz, J., Mendes, M. J. G. C., i Calado, J. M. F. (2002). Fault detection using neuro-fuzzy networks. *Systems Science*, 28(1):45–57.

Kowalczuk, Z. i Chudziak, P. (2017). Identification of emotions based on human facial expressions using a color-space approach. In *13th International Conf. On Diagnostics of Processes and Systems*, Sandomierz.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2010a). Interactive cognitive-behavioural decision making system. In Rutkowski, L., editor, *Artifical Intelligence and Soft Computing Lecture Notes in Computer Science*, volume 6114 (II) of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 516–523. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2010b). Model of human psychology for controlling autonomous robots. In *15th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, pages 31–36.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2011a). Diagnostyka antropidalnego systemu decyzyjnego. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 57(9):1011–1015.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2011b). Intelligent decision-making system for autonomous robots. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 21(4):621–635.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2013a). xEmotion-obliczeniowy model emocji dedykowany dla inteligentnych systemów decyzyjnych. *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, 17:60–65.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2013b). xEmotion – obliczeniowy model emocji dedykowany dla inteligentnych systemów decyzyjnyjnych. *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, 2(17):60–65.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2014). Cognitive memory for intelligent systems of decision-making, based on human psychology. In Korbicz, J. i Kowal, M., editors, *Intelligent Systems in Technical and Medical Diagnostics Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 230 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 379–389. Springer Berlin Heidelberg.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2015). Przegląd robotów humanoidalnych, in polish (overview of humanoid robots). *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, 19(4):67–75.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2016). Computational approaches to modeling artificial emotion–an overview of the proposed solutions. *Frontiers in Robotics and AI*, 3(21):1–12.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2017a). Embodying intelligence in autonomous and robotic systems with the use of cognitive psychology and motivation theories. In Kacprzyk, J. i Rutkowski, L., editors, *Studies in Computational Intelligence*, pages 101—-118. Springer Berlin Heidelberg.

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2017b). Emotions embodied in the SVC of an autonomous driver system. *IFAC-PapersOnLine*, (in print).

Kowalczuk, Z. i Czubenko, M. (2017c). Interpretation and modeling of emotions managing autonomous robots, based on the paradigm of scheduling variable control. *Autonomous Robots*, (in preparation).

Kowalczuk, Z., Czubenko, M., i Jędruch, W. (2016). Learning processes in autonomous agents using an intelligent system of decision-making. In Kowalczuk, Z., editor, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 386 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 301–315. Springer, Berlin - Heidelberg - New York.

Kowalczuk, Z. i Klimczak, J. (2013). System inteligentnej nawigacji sterowanej głosem po serwisie internetowym. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 7:644–647.

Kowalczuk, Z. i Merta, T. (2013). Stereo image visualization for VISROBOT system. In *18th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, pages 794–799, Miedzyzdroje.

Kowalczuk, Z. i Merta, T. (2014). Modelling an accelerometer for robot position estimation. In *19th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR).*

Kowalczuk, Z. i Merta, T. (2016). Evaluating the position of a mobile robot using accelerometer data. In Kowalczuk, Z., editor, *Advanced and Intelligent Computations in Diagnosis and Control*, volume 386 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 131–143. Springier.

Kowalczuk, Z. i Tatara, M. (2017). Sphere drive and control system for haptic interaction with physical, virtual and augmented reality. *IEEE Trans. Control Systems Technology*, (in review).

Kozielecki, J. (1992). Myślenie i rozwiązywanie problemów. In Tomaszewski, T., editor, *Psychologia Ogólna*, pages 91–188. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Kriukova, O., Bridger, E., i Mecklinger, A. (2013). Semantic relations differentially impact associative recognition memory: electrophysiological evidence. *Brain and Cognition*, 83(1):93–103.

Krzaczek, M. i Kowalczuk, Z. (2012). Gain scheduling control applied to thermal barrier in systems of indirect passive heating and cooling of buildings. *Control Engineering Practice*, 20(12):1325–1336.

Kulk, J. i Welsh, J. S. (2011). Evaluation of walk optimisation techniques for the NAO robot. In *2011 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, pages 306–311, Bled. IEEE.

Kurt, A. i Ozguner, U. (2011). A probabilistic model of a set of driving decisions. In *14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pages 570–575, Washington, DC.

LaBerge, D., Carter, M., i Brown, V. (1992). ANetwork simulation of thalamic circuit operations in selective attention. *Neural Computation*, 4(3):318–331.

Lachman, R. i Naus, M. J. (2010). The episodic/semantic continuum in an evolved machine. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02):244.

Lackner, J. i Garrett, M. (1972). Resolving ambiguity: effects of biasing context in the unattended ear. *Cognition*, 1(4):359–372.

Lahr, D. i Hong, D. (2008). "The development of CHARLI: A linear actuated powered full size umanoid robot. In *International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, Seul.

Lahr, D. i Hong, D. (2009). A biomimetic parallelly actuated humanoid robot design. In *Ukc*, Raleigh, NC.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Laird, J. (2008). Extending the soar cognitive architecture. In Wang, P., Goertzel, B., i Franklin, S., editors, *Proceedings of the Artificial General Intelligence*, volume 171, pages 224–235. IOS Press.

Laird, J. (2012). *The Soar Cognitive Architecture*. MIT Press.

Laird, J. i Mohan, S. (2014). Acase study of knowledge integration across multiple memories in soar. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 8:93–99.

Laird, J. E., Newell, A., i Rosenbloom, P. S. (1987). SOAR: an architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33(1):1–64.

Larsen, S. F., Thompson, C. P., i Hansen, T. (1996). Time in autobiographical memory. In Rubin, D. C., editor, *Remembering Our Past: Studies in Autobiographical Memory*, pages 129–156. Cambridge University Press, Cambridge.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 21(3):451–68.

Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and Adaptation*. Oxford University Press, USA, New York.

Lazarus, R. S. (1999). The cognition–emotion debate: A bit of history. In Dalgleish, T. i Power, M. J., editors, *Handbook of Cognition and Emotion*, pages 3–19. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.

Lazarus, R. S. i Lazarus, B. N. (1994). *Passion and Reason: Making Sense of Our Emotions*. Oxford University Press.

Le Brun, C. (1674). *Dessin préparatoire pour les sculpteurs de la Grande Commande*. Cztery temperamenty. Wersal, Francja.

Le Quoc, V. (2013). Building high-level features using large scale unsupervised learning. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pages 8595—-8598.

Ledoux, J. (1998). *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. Simon & Schuster.

LeDoux, J. i Phelps, E. (1993). Emotional networks in the brain. In Lewis, M., Haviland-Jones, J. M., i Barrett, L. F., editors, *Handbook of Emotions*, chapter 10, pages 159–180. Guilford Press.

Lee, K. i Ashton, M. C. (2005). Psychopathy, machiavellianism, and narcissism in the five-factor model and the HEXACO model of personality structure. *Personality and Individual Differences*, 38(7):1571–1582.

Lehrl, S. i Fischer, B. (1988). The basic parameters of human information processing: their role in the determination of intelligence. *Personality and Individual Differences*, 9(5):883–896.

Leithead, W. (1999). Survey of gain-scheduling analysis design. *International Journal of Control*, 73:1001—-1025.

Łęski, J. (2008). *Systemy Neuronowo Rozmyte*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Lettvin, J., Maturana, H., McCulloch, W., i Pitts, W. (1959). What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the IRE*, 47(11):1940–1951.

Levesque, H. J. i Brachman, R. J. (1987). Expressiveness and tractability in knowledge representation and reasoning 1. *Computational Intelligence*, 3(1):78–93.

Levin, D. T. (2004). *Thinking and Seeing: Visual Metacognition in Adults and Children*. A Bradford Book, 1st edition.

Levine, M. W. (2000). *Levine and Sherner's Fundamentals of Sensation and Perception*. OUP Oxford, 3rd edition.

Lewicki, A. (1960). *Procesy Poznawcze I Orientacja W Otoczeniu*. PWN, Warszawa.

Lindsay, P. H. i Norman, D. A. (1977). *Human Information Processing: Introduction to Psychology*. Academic Press Inc, Warszawa.

Linton, M. (1975). Memory for real-worls events. In Norman, D. A. i Rumelhart, D. E., editors, *Explorations in Cognition*, pages 376–404. Freeman, San Francisco.

Liu, C., Szeliski, R., Sing Bing Kang, Zitnick, C., i Freeman, W. (2008). Automatic estimation and removal of noise from a single image. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2):299–314.

Liu, T., Yuan, Z., Sun, J., i Wang, J. (2011). Learning to detect a salient object. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, volume 32, pages 353—-367.

Liu, Y. i Ozguner, U. (2007). Human driver model and driver decision making for intersection driving. In *Intelligent Vehicles Symposium*, pages 642–647, Istanbul.

Locke, J. (1690). *The Two Treatises of Civil Government*. Millar et al.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Loftus, G. R. i Loftus, E. F. (1976). *Human Memory: The Processing of Information*. John Wiley & Sons.

Long, L., Hanford, S., Janrathitikarn, O., i Sinsley, G. (2007). Review of intelligent systems software for autonomous vehicles. In *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications*, pages 69 – 76, Honolulu, HI.

Lorenz, K. (2002). *On Aggression*. Psychology Press.

Lövheim, H. (2012). Anew three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters. *Medical Hypotheses*, 78(2):341–8.

Luck, S. J. i Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657):279–81.

Łukasiewicz, J. (1915). *Poradnik Dla Samouków: O Nauce*. Warszawa.

Lutz, C. i White, G. M. (1986). Anthropology of emotions. *Annual Review of Anthropology*, 15:405–436.

Lytton, W. W., Seidenstein, A. H., Dura-Bernal, S., McDougal, R. A., Schürmann, F., i Hines, M. L. (2016). Simulation neurotechnologies for advancing brain research: parallelizing large networks in NEURON. *Neural Computation*, 28(10):2063–2090.

MacAdam, C. C. (2003). Understanding and modeling the human driver. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 40(1):101–134.

Machiavelli, N. (1984). *The Prince*. Bantam Classics.

Mackworth, N. H. (1957). Some factors affecting vigilance. *Advancments in Science*, 53:389–393.

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics*. The Regents of the University of California.

Madl, T. i Franklin, S. (2015). Constrained incrementalist moral decision making for a biologically inspired cognitive architecture. In Trappl, R., editor, *A Construction Manual for Robots' Ethical Systems*, Cognitive Technologies, pages 137–153. Springer International Publishing.

Madsen, K. (1974). *Modern Theories of Motivation: A Comparative Metascientific Study.* John Wiley & Sons.

Maghrebi, W., Baccour, L., Khabou, M. A., i Alimi, A. M. (2007). An indexing and retrieval system of historic art images based on fuzzy shape similarity. In Gelbukh, A. i Kuri Morales, Á. F., editors, *MICAI 2007: Advances in Artificial Intelligence: 6th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Aguascalientes, Mexico, November 4-10, 2007. Proceedings*, pages 623–633. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Magill, K. i Erden, Y. J. (2012). Autonomy and desire in machines and cognitive agent systems. *Cognitive Computation*, 4(3):354–364.

Malewski, A. (1975). *O Nowy Kształt Nauk Społecznych: Pisma Zebrane*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.

Maltzman, I. (1955). Thinking: from a behavioristic point of view. *Psychological Review*, 62(4):275.

Mamdani, E. i Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1):1–13.

Manganaro, G., Fortuna, L., i Arena, P. (1999). *Cellular Neural Networks*. Springer-Verlag, New York.

Mann, L., Harmoni, R., i Power, C. (1991). The GOFER course in decision making. In Brown, J. i Brown, R., editors, *Teaching Decision Making to Adolescents*. Routledge Taylor and Francis Group, New Jersey, London.

Mara, M., Appel, M., Ogawa, H., Lindinger, C., Ogawa, E., Ishiguro, H., i Ogawa, K. (2013). Tell me your story, robot. introducing an android as fiction character leads to higher perceived usefulness and adoption intention. In *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 193–194. IEEE.

Marinier, R., Laird, J., i Lewis, R. (2009). Acomputational unification of cognitive behavior and emotion. *Cognitive Systems Research*, 10(1):48–69.

Markoff, J. (2010). Google cars drive themselves, in traffic. *The New York Times*, 10:1–2.

Markram, H. (2006). The blue brain project. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7(2):153–60.

Marsella, S. C. (2003). Interactive pedagogical drama: carmen's bright IDEAS assessed. In Rist, T., Aylett, R. S., Ballin, D., i Rickel, J., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 2792 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1–4. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Maruszewski, T. (2001). *Psychologia Poznania*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Maslow, A. (1991). Critique of self-actualization theory. *The Journal of Humanistic Education and Development*, 29(3):103–108.

Maslow, A., Frager, R., Fadiman, J., i McReynolds, C. (1970). *Motivation and Personality*, volume 2. Harper & Row, New York.

Maslow, A. H. (1943). ATheory of human motivation. *Psychological Review*, 50:370–396.

Matsumoto, Y., Nishida, Y., Motomura, Y., i Okawa, Y. (2011). A concept of needs-oriented design and evaluation of assistive robots based on ICF. In *International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich.

Mayers, D. G. (2010). Emotions, stress, and health. In Mayers, D. G., editor, *Psychology*, pages 497–527. Worth Publishers, New York.

Mazur, M. (1976). *Cybernetyka I Charakter*. Plus Minus. PIW, Warszawa.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., i Shannon, C. E. (2006). AProposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, 27(4).

McCloskey, M. i Macaruso, P. (1995). Representing and using numerical information. *American Psychologist*, 50(5):351–363.

McCulloch, W. S. i Pitts, W. (1943). Alogical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4):115–133.

McDougall, W. (1926). *An Introduction to Social Psychology*. Luce, Boston.

McDowd, J. M. (2007). An overview of attention: behavior and brain. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(3):98–103.

McGraw, C. (1985). Gorilla's pet : koko mourns kitten's death. *Los Angeles Times*.

McLeod, P., Driver, J., i Crisp, J. (1988). Visual search for a conjunction of movement and form is parallel. *Nature*, 332(6160):154–155.

Meech, J. i Parreira, J. (2011). An interactive simulation model of human drivers to study autonomous haulage trucks. *Procedia Computer Science*, 6:118–123.

Mei, S., Marsella, S. C., i Pynadath, D. V. (2006). Thespian: modeling socially normative behavior in a decision-theoretic framework. In *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Marina del Rey.

Mendiburu, B. (2012). *3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema From Script to Screen*. CRC Press.

Mercedes-Benz Next (2014a). Automatically Into the Parking Space.

Mercedes-Benz Next (2014b). Autonomous Driving in the Tracks of Bertha Benz.

Mercedes-Benz Next (2014c). Autonomous Vehicles in Goods Transport.

Mercedes-Benz Next (2014d). We Create Stress-Relieving Comfort.

Metta, G., Fitzpatrick, P., i Natale, L. (2006). YARP: yet another robot platform. *International Journal on Advanced Robotic Systems*, 3(1):43–48.

Meyer, J.-J., van der Hoek, W., i van Linder, B. (1999). Alogical approach to the dynamics of commitments. *Artificial Intelligence*, 113(1-2):1–40.

Meyer, J.-J. C. (2006). Reasoning about emotional agents. *International Journal of Intelligent Systems*, 21(6):601–619.

Milighetti, G. i Kuntze, H.-B. (2007). Fuzzy based decision making for the discrete-continuous control of humanoid robots. In *2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 3580–3585. IEEE.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing informations. *Psychological Review*, 63(2):81–97.

Mintzberg, H., Raisinghani, D., i Théorêt, A. (1976). The structure of 'unstructured' decision processes. *Administrative Science Quarterly*, 21(2):246–275.

Miwa, H., Itoh, K., Ito, D., Takanobu, H., i Takanishi, A. (2003). Introduction of the need model for humanoid robots to generate active behavior. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, volume 2, pages 1400–1406.

Mizumoto, M. i Zimmermann, H. J. (1982). Comparison of fuzzy reasoning methods. *Fuzzy Sets and Systems*, 8(3):253–283.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Moffat, D. i Frijda, N. H. (1994). Where there's a will there's an agent. In Wooldridge, M. i Jennings, N., editors, *Proceedings of the Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages on Intelligent Agents*, volume 890 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 245–260. Springer-Verlag New York, Inc.

Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In Bruce, V., editor, *Unsolved Mysteries of the Mind: Tutorial Essays In*, pages 93–148. Erlbaum (Uk) Taylor & Francis, Hove, UK.

Moravec, H. (1988). *Mind Children. The Future of Robot and Human Intelligence.* Harvard University Press.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11(1):56–60.

Mori, M., MacDorman, K., i Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(2):98–100.

Morris, C. D., Bransford, J. D., i Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16(5):519–533.

Mowrer, O. H. (1960). *Learning Theory and Behavior.* Wiley, New York.

Mulligan, N. (2003). Memory: implicit versus explicit. In Nadel, L., editor, *Encyclopedia of Cognitive Science*, pages 1114–1120. Nature Publishing Group, London.

Muralidhar, S., Wang, Y., i Markram, H. (2013). Synaptic and cellular organization of layer 1 of the developing rat somatosensory cortex. *Frontiers in Neuroanatomy*, 7:52.

Murphy, S. T. i Zajonc, R. B. (1994). Afekt, poznanie i świadomość: rola afektywnych bodźców poprzedzających przy optymalnych i suboptymalnych ekspozycjach. *Przegląd Psychologiczny*, 37:261–299.

Murray, H. (1938). Explorations in Personality.

Najder, K. (1997). Wprowadzenie do teorii pamięci. In Materska, M. i Tyszka, T., editors, *Psychologia I Poznanie*, pages 129–163. PWN, Warszawa.

Nakayama, K. i Silverman, G. H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunctions. *Nature*, 320(6059):264–265.

Nanty, A. i Gelin, R. (2013). Fuzzy controlled PAD emotional state of a NAO robot. In *2013 Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence*, pages 90–96. IEEE.

Navon, D. (1977). Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3):353–383.

Nęcka, E. (1995). *Proces Twórczy I Jego Ograniczenia.* Oficyna Wydawnicza Impuls, Kraków, 2nd edition.

Nęcka, E. (2004). Procesy uwagi. In Strelau, J., editor, *Psychologia: Podręcznik Akademicki*, chapter 16, pages 77–97. Gdańskie Towarzystwo Psychologiczne.

Nęcka, E., Orzechowski, J., i Szymura, B. (2008). *Psychologia Poznawcza.* PWN, Warszawa.

Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology.* Appleton-Century-Crofts, New York.

Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology.* W. H. Freeman and Company.

Neisser, U. (1994). Multiple systems: A new approach to cognitive theory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 6(3):225–241.

Nelson, G., Saunders, A., Neville, N., Swilling, B., Bondaryk, J., Billings, D., Lee, C., Playter, R., i Raibert, M. (2012). PETMAN: A humanoid robot for testing chemical protective clothing. *Journal of the Robotics Society of Japan*, 30(4):372–377.

Newell, A. (1994). *Unified Theories of Cognition.* Harvard University Press.

Newell, A. i Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Ni, L. G., Kari, D. P., Muganza, A., Dushime, B., i Zebaze, A. N. (2012). Wireless integration of tactile sensing on the hand of a humanoid robot NAO. In *The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 982–988. IEEE.

Nielsen, P., Koss, F., Taylor, G., i Jones, R. (2000). Communication with intelligent agents. In *Proceedings of IITSEC*, pages 824–834, Orlando, FL.

Nisbett, R. E. i Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84:231–259.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Norman, D. A. (1970). Comments on the information structure of memory. *Acta Psychologica*, 33:293–303.

Norvig, P. (2011). On chomsky and the two cultures of statistical learning. *On-Line Essay in Response to Chomsky's Remarks in [3 . . . .*

Nosal, C. S. (1990). *Psychologiczne Modele Umysłu.* PWN, Warszawa.

Novak, E. (2014). Toward a mathematical model of motivation, volition, and performance. *Computers & Education*, 74:73–80.

Nyberg, L., Mcintosh, A. R., Cabeza, R., Nilsson, L.-G., Houle, S., Habib, R., i Tulving, E. (1996). Network analysis of positron emission tomography regional cerebral blood flow data: ensemble inhibition during episodic memory retrieval. *Journal of Neuroscience*, 16:3753–3759.

Oatley, K. i Johnson-laird, P. N. (1987). Towards a cognitive theory of emotions. *Cognition & Emotion*, 1(1):29–50.

Oatley, K., Keltner, D., i Jenkins, J. (2012). *Understanding Emotions.* Blackwell Publishing, 2nd edition.

Ogiela, L. i Ogiela, M. R. (2012). Fundamentals of cognitive informatics. In *Advances in Cognitive Information Systems*, volume 17 of *Cognitive Systems Monographs*, chapter 2, pages 19–49. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Öhman, A. (1987). The psychophysiology of emotion: an evolutionary-cognitive perspective. *Advances in Psychophysiology*, 2:79–127.

Oikonomidis, I., Kyriazis, N., i Argyros, A. (2011). Efficient model-based 3D tracking of hand articulations using kinect. *Bmvc*, 9:1—-11.

Oppenheim, I. i Shinar, D. (2011). Acontext-sensitive model of driving behaviour and its implications for in-vehicle safety systems. *Cognition, Technology & Work*, 14(3):261–281.

Ortony, A. i Turner, T. J. (1990). What's basic about basic emotions? *Psychological Review*, 97(3):315–31.

Paivio, A. (1971). *Imagery and Verbal Processes.* Holt, Rinehart and Winston, New York.

Paivio, A. (1990). *Mental Representations: A Dual Coding Approach.* Oxford University Press.

Paivio, A. i Csapo, K. (1973). Picture superiority in free recall: imagery or dual coding? *Cognitive Psychology*, 5(2):176–206.

Pan, Y.-T. i Tsai, M.-S. (2009). Development a bdi-based intelligent agent architecture for distribution systems restoration planning. In *15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, pages 1–6, Curitiba. IEEE.

Panksepp, J. (1982). Toward a general psychobiological theory of emotions. *Behavioral and Brain Sciences*, 5(03):407.

Pavlov, I. P. (1928). *Lectures on Conditioned Reflexes.* New York : International Publishers, New York.

Pawlak, Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Parallel Programming*, 11(5):341–356.

Peeters, G. (2004). A Large Set of Audio Features for Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project. Technical report, Ircam, Analysis/Synthesis Team, Paris.

Perry, B. D. (1999). The memories of states: how the brain stores and retrieves traumatic experience. In Goodwin, J. i Attias, R., editors, *Splintered Reflections: Images of the Body in Trauma.* Basic Books.

Peter of Spain (1947). *Summulae Logicales.* Marietti, Turyn.

Peterfreund, N. (1999). Robust tracking of position and velocity with kalman snakes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(6):564–569.

Peterson, L. R. i Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58:193–198.

Petri, H. i Govern, J. (2012). *Motivation: Theory, Research, and Application.* Cengage Learning, 6th edition.

Pettifor, E. (2000). Endel Tulving's Monohierarchical Multimemory Systems Model. Technical report, Department of Psychology, Simon Fraser University.

Piaget, J. (1971). *Psychology and Epistemology.* An Orion Press book. Grossman.

Picard, R. i Picard, R. (1997). *Affective Computing.* MIT Press, Cambridge, MA.

Pickering, A. (2011). *The Cybernetic Brain.* The University of Chicago Press.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Pijanowski, J. (2009). The role of learning theory in building effective college ethics curricula. *Journal of College and Character*, 10(3):1–14.

Plato (2012). *The Republic*. Penguin Books Limited.

Plumer, B. (2014). The tesla D brings us another step closer to self-driving cars.

Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In Plutchik, R. i Kellerman, H., editors, *Emotion: Theory, Research, and Experience*, volume 1, pages 3 – 33. Academic, New York.

Plutchik, R. (1994). *The Psychology and Biology of Emotion*. Harper Collins College Publishers.

Plutchik, R. (2001). The nature of emotions. *American Scientist*, 89:344.

Popper, A. i Fay, R. (2005). *Sound Source Localization*. Springer, New York.

Posner, J., Russell, J. A., i Peterson, B. S. (2005). The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(3):715–34.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1):3–25.

Posner, M. I., Boies, S. J., Eichelman, W. H., i Taylor, R. L. (1969). Retention of visual and name codes of single letters. *Journal of Experimental Psychology*, 79(1):1–16.

Posner, M. I. i Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13:25–42.

Prejs, K. (2012). *CaveWorld - Wirtualne Środowisko Dla Prostuch Agentów*. praca inżynieska, Gdańsk University of Technology.

Prusakowski, B. i Miłosek, K. (2013). *Rozpoznawanie Emocji Człowieka Na Podstawie Obrazu W Systemie OREC*. praca inżynierska, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, Poland.

Przybylski, A. K., Rigby, C. S., i Ryan, R. M. (2010). Amotivational model of video game engagement. *Review of General Psychology*, 14(2):154–166.

Quan, L. (2010). Structure from motion. In *Image-Based Modeling*, pages 85–118. Springer US.

Raheja, J. L., Chaudhary, A., i Singal, K. (2011). Tracking of fingertips and centers of palm using KINECT. In *2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Modelling & Simulation*, pages 248–252. IEEE.

Rakotonirainy, A., Schroeter, R., i Soro, A. (2014). Three social car visions to improve driver behaviour. *Pervasive and Mobile Computing*, 14:147–160.

Ramaswamy, S., Courcol, J.-D., Abdellah, M., Adaszewski, S. R., Antille, N., Arsever, S., Atenekeng, G., Bilgili, A., Brukau, Y., Chalimourda, A., Chindemi, G., Delalondre, F., Dumusc, R., Eilemann, S., Gevaert, M. E., Gleeson, P., Graham, J. W., Hernando, J. B., Kanari, L., Katkov, Y., Keller, D., King, J. G., Ranjan, R., Reimann, M. W., Rössert, C., Shi, Y., Shillcock, J. C., Telefont, M., Van Geit, W., Villafranca Diaz, J., Walker, R., Wang, Y., Zaninetta, S. M., DeFelipe, J., Hill, S. L., Muller, J., Segev, I., Schürmann, F., Muller, E. B., i Markram, H. (2015). The neocortical microcircuit collaboration portal: a resource for rat somatosensory cortex. *Frontiers in Neural Circuits*, 9(October):44.

Rank, S. i Petta, P. (2005). Appraisal for a character-based story-world. In Panayiotopoulos, T., Gratch, J., Aylett, R., Ballin, D., Olivier, P., i Rist, T., editors, *Intelligent Virtual Agents*, volume 3661 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 495–496. Springer.

Rank, S. i Petta, P. (2007). From actaffact to behbehbeh: increasing affective detail in a story-world. In Cavazza, M. i Donikian, S., editors, *Virtual Storytelling. Using Virtual Reality Technologies for Storytelling*, volume 4871 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 206–209. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3):257–266.

Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.

Reid, R. L. (1896). *Knowledge*. Library of Congress Thomas Jefferson Building, Washington, D.C.

Reilly, W. i Bates, J. (1992). Building Emotional Agents. Technical report, Pittsburgh, PA.

Reilly, W. S. N. (1996). *Believable Social and Emotional Agents*. PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.

Reisenzein, R., Hudlicka, E., Dastani, M., Gratch, J., Hindriks, K., Lorini, E., i Meyer, J.-J. C. (2013). Computational modeling of emotion: toward improving the inter- and intradisciplinary exchange. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4(3):246–266.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Reiss, S. (2002). *Who Am I? : The 16 Basic Desires That Motivate Our Behavior and Define Our Personality.* Berkley Pub.

Ren, L., Liu, W., i Liang, X. (2009). The research on the needs model of the china network game. In *IEEE International Conference on Communications Technology and Applications*, pages 255–258. IEEE.

Reynolds, A. G. i Flagg, P. W. (1983). *Cognitive Psychology.* Scott Foresman & Co, Boston, 2nd edition.

Richardson-Klavehn, A. R. i Bjork, R. A. (2003). Memory, longterm. In *Encyclopedia of Cognitive Science*, pages 1096–1105. Nature Publishing Group, London.

Rizzolatti, G. i Sinigaglia, C. (2008). *Mirrors in the Brain. How We Share Our Actions and Emotions.* Oxford University Press.

Robbins, T. W., Anderson, E. J., Barker, D. R., Bradley, A. C., Fearnyhough, C., Henson, R., i Hudson, S. R. (1996). Working memory in chess. *Memory & Cognition*, 24(1):83–93.

Rodríguez, Á. G. G. i Rodríguez, A. G. (2011). Mobile robots. In Rodríguez, N. E. N., editor, *Advanced Mechanics in Robotic Systems*, pages 41–57. Springer, London.

Roediger, H. L., Match, E. J., i Lee, S. C. (2002). Kinds of memory. In Pashler, H. i Medin, D. L., editors, *Stevens' Handbook of Psychology*, volume 2, pages 1—-24. John Wiley & Sons, New York, 3rd edition.

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6):386–408.

Roska, T., Boros, T., Thiran, P., i Chua, L. (1990). Detecting simple motion using cellular neural networks. In *IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications*, pages 127–138. IEEE.

Rosten, E. i Drummond, T. (2006). Machine learning for high-speed corner detection. In *Computer Vision–ECCV 2006*, pages 430—-443. Springer Berlin Heidelberg.

Rousseau, D. (1996). Personality in computer characters. In *AAAI Workshop on Entertainment and AI / A-Life*, pages 38–43, Portland, Oregon.

Rubin, D. C. i Talarico, J. M. (2009). Acomparison of dimensional models of emotion: evidence from emotions, prototypical events, autobiographical memories, and words. *Memory (Hove, England)*, 17(8):802–8.

Rudigier, M. i Horn, M. (2010). Concepts for modeling drivers of vehicles using control theory. *Data and Mobility Advances in Intelligent and Soft Computing*, 81:27–38.

Rugh, W. J. i Shamma, J. S. (2000). Research on gain scheduling. *Automatica*, 36(10):1401–1425.

Rumelhart, D. E., Lindsay, P. H., i Norman, D. A. (1972). A process model for long-term memory. In Tulving, E. i Donaldson, W., editors, *Organization of Memory*, chapter 13, page 423. Academic Press, Oxford, UK.

Rumelhart, D. E. i Mcclelland, J. L. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, volume 1. MIT Press,Cambridge, MA.

Russell, J. i Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of Research in Personality*, 11(3):273–294.

Russell, J. A. (1980). Acircumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6):1161–1178.

Rutkowska, D., Piliński, M., i Rutkowski, L. (1997). *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems.*

Rutkowski, L. i Cpalka, K. (2003). Flexible neuro-fuzzy systems. *Transactions on Neural Networks.*

Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind.* Barnes and Noble, New York.

Salmeron, J. L. (2012). Fuzzy cognitive maps for artificial emotions forecasting. *Applied Soft Computing*, 12(12):3704–3710.

Saltzman, E. i Pick, H. L. (1978). *Modes of Perceiving and Processing Information.* Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Samsonovich, A. (2010). Toward a unified catalog of implemented cognitive architectures. In Samsonovich, A., Jóhannsdóttir, K., Chella, A., i Goertzel, B., editors, *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, pages 195–245. IOS Press.

Saunders, R. (2012). Towards autonomous creative systems: A computational approach. *Cognitive Computation*, 4(3):216–225.

Schaub, B. (2007). Asimo learns how to jaywalk. *New Scientist*, 193(2590):24.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Scherer, K. R., Banziger, T., i Roesch, E. (2010). *A Blueprint for Affective Computing: A Sourcebook and Manual*. Oxford University Press, Inc.

Schlosberg, H. (1954). Three dimensions of emotion. *Psychological Review*, 61(2):81–88.

Schneider, M. i Adamy, J. (2014). Towards modelling affect and emotions in autonomous agents with recurrent fuzzy systems. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, pages 31–38, San Diego, CA.

Schrödinger, E. (2001). *What Is Life? : The Physical Aspects of the Living Cell*. Cambridge University Press, Cambridge.

Seepanomwan, K., Caligiore, D., Cangelosi, A., i Baldassarre, G. (2015). Generalisation, decision making, and embodiment effects in mental rotation: A neurorobotic architecture tested with a humanoid robot. *Neural Networks*, 72:31–47.

Sefidgar, Y. S., MacLean, K. E., Yohanan, S., Van Der Loos, H. F. M. H., Croft, E. A., i Garland, E. J. (2016). Design and evaluation of a touch-centered calming interaction with a social robot. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 7(2):108–121.

Selfridge, O. G. (1958). Pandemonium: a paradigm for learning. In Anderson, J. A. i Rosenfeld, E., editors, *Symposium Held at the National Physical Laboratory*, pages 511–531. MIT Press.

Selz, O. *Zur Psychologie Des Produktiven Denkens Und Des Irrtums: Eine Experimentelle Untersuchung*, volume 2.

Sergent, J. (1987). Face perception and the right hemisphere. In Weiskrantz, L., editor, *Thought Without Language*, pages 108–131. Oxford University Press.

Shakouri, P., Ordys, A., Askari, M., i Laila, D. S. (2010). Longitudinal vehicle dynamic using simulink/matlab. In *UKACC International Conference on Control*, pages 1–6, Coventry.

Shakouri, P., Ordys, A., Laila, D. S., i Askari, M. R. (2011). Adaptive cruise control system: comparing gain-scheduling PI and LQ controllers. In *18th IFAC World Congress*, 18th IFAC World Congres, pages 12964–12969, Milano, Italy.

Shamir, L. (2006). Human perception-based color segmentation using fuzzy logic. In *International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition*, volume 2, pages 496–505.

Shamsuddin, S., Yussof, H., Ismail, L. I., Mohamed, S., Hanapiah, F. A., i Zahari, N. I. (2012). Initial response in HRI- a case study on evaluation of child with autism spectrum disorders interacting with a humanoid robot NAO. *Procedia Engineering*, 41:1448–1455.

Shaw, V. F. (1996). The cognitive processes in informal reasoning. *Thinking & Reasoning*, 2(1):51–80.

Shettleworth, S. J. (1993). Varieties of learning and memory in animals. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, 19(1):5–14.

Shi, J. i Tomasi, C. (1994). Good features to track. In *Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings CVPR'94*, pages 593—-600.

Shiffrin, R. M. i Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84(2):127–190.

Shimojo, S. i Ichikawa, S. (1989). Intuitive reasoning about probability: theoretical and experimental analyses of the "problem of three prisoners". *Cognition*, 32(1):1–24.

Shinar, D. (2007). *Traffic Safety and Human Behavior*. Elsevier.

Simon, H. A. (1957). *Models of Man: Social and Rational*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Simon, H. A. (1960). *The New Science of Managment Decision*. Prentice Hall PTR.

Skinner, B. (1990). *The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis*. BF Skinner Foundation.

Skinner, B. (2011). *About Behaviorism*. Vintage.

Snodgrass, J. G., Luce, R. D., i Galanter, E. (1967). Some experiments on simple and choice reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 75(1):1–17.

Sokolov, E. N. (1969). The modeling properties of the nervous system. In Cole, M. i Maltzman, I., editors, *A Handbook of Contemporary Soviet Psychology*, pages 671–704. Basic Books.

Spearman, C. (1904). "General intelligence,óbjectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2):201–292.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11):1–29.

Squire, L. R. (1986). Mechanisms of memory. *Science (New York)*, 232(4758):1612–9.

Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3):232–243.

Squire, L. R. (1993). The organization of declarative and non-declarative memory. In Ono, T., Squire, L. R., Raichle, M. F., Perrett, D. J., i Fukuda, J., editors, *Brain Mechanisms of Perception and Memory: From Neuron to Behavior*, pages 219–227. Oxfor, New York.

Srinivasa, N. i Cruz-Albrecht, J. M. (2012). Neuromorphic adaptive plastic scalable electronics: analog learning systems. *IEEE Pulse*, 3(1):51–56.

Staller, A. i Petta, P. (2001). Introducing emotions into the computational study of social norms: A first evaluation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(1):1–11.

Stanton, N. A. i Young, M. S. (2005). Driver behaviour with adaptive cruise control. *Ergonomics*, 48(10):1294–313.

Starzyk, J. (2008). Motivation in Embodied Intelligence.

Stein, B., Morris, C., i Bransford, J. (1978). Constraints on effective elaboration. *Journal of Verbal Learning and Verbal . . .*, 17(6):707–714.

Sternberg, R. J. i Salter, W. (1982). *Handbook of Human Intelligence*. Cambridge University Press, UK: Cambridge.

Sternberg, R. J., Sternberg, K., i Mio, J. (2012). *Cognitive Psychology*. Wadsworth, Cengage Learning, 6th edition.

Stevens, M. (1981). Hypothesis-testing in elderly as a function of task concreteness and memory condition. *Dissertation Abstracts Internal*, 41.

Steyvers, M. i Tenenbaum, J. (2005). The large-scale structure of semantic networks: statistical analyses and a model of semantic growth. *Cognitive Science*.

Strelau, J. (2004). *Psychologia: Podręcznik Akademicki*. Gdańskie Towarzystwo Psychologiczne.

Studtmann, P. (2014). Aristotle's categories. In Zalta, E. N., editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 201 edition.

Studzińska, K. (2016). *Gadacz Kwadratowy*. praca inżynieska, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, Poland.

Sullivan, H. (2013). *The Interpersonal Theory of Psychiatry*. Routledge.

Sumiyoshi, T., Togami, M., i Obuchi, Y. (2011). ASR for human-symbiotic robot ĘMIEW2"with mechanical noise and floor-level noise reduction. In *12th Annual Conference of the International Speech Communication Association*, pages 3141–3144, Florence, Italy.

Sun, R. (2013). Moral judgment, human motivation, and neural networks. *Cognitive Computation*, 5(4):566–579.

Sun, R. i Helie, S. (2013). Psychologically realistic cognitive agents: taking human cognition seriously. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 25(1):65–92.

Sun, R., Merrill, E., i Peterson, T. (2001). From implicit skills to explicit knowledge: A bottom-up model of skill learning. *Cognitive Science*, 25(2):203–244.

Sun, Z., Lu, Z., i Jin, H. (2007). Image retrieval with long-term memory learning and short-time relevance feedback. In *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, volume 1, pages 173–177, Kaohsiung.

Swagerman, J. (1987). *The Artificial Concern REalization System ACRES: A Computer Model of Emotion*. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.

Szondi, L. (1947). *Experimentelle Triebdiagnostik: Text-Band*. H. Huber.

Szwoch, G., Dalka, P., i Czyżewski, A. (2013). Spatial calibration of a dual ptz-fixed camera system for tracking moving objects in video. *Journal of Imaging Science and Technology*, 57(2):1–10.

Szymura, B. i Słabosz, A. (2002). Uwaga selektywna a pozytywne i negatywne konsekwencje automatyzacji czynności. *Studia Psychologiczne*, 40:161–183.

Tadeusiewicz, R. (1993). *Sieci Neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydaw. RM, 2nd edition.

Tajima, R., Honda, D., i Suga, K. (2009). Fast running experiments involving a humanoid robot. In *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1571–1576. IEEE.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tan, S., Hang, C.-C., i Chai, J.-S. (1997). Gain scheduling: from conventional to neuro-fuzzy. *Automatica*, 33(3):411–419.

Thayer, R. (1989). *The Biopsychology of Mood and Arousal*. Oxford University Press.

Titchener, E. B. (1910). *A Textbook of Psychology*. Delmar, New York.

Togami, M., Amano, A., Sumiyoshi, T., i Obuchi, Y. (2009). DOA estimation method based on sparseness of speech sources for human symbiotic robots. In *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pages 3693–3696.

Tomkins, S. S. (1984). Affect theory. In Scherer, K. R. i Ekman, P., editors, *Approaches to Emotion*, pages 163–195. Erlbaum, Hillsdale, NJ.

Tooby, J. i Cosmides, L. (1990). The past explains the present: emotional adaptations and the structure of ancestral environments. *Ethology and Sociobiology*, 11(4):375–424.

Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, 255:114–125.

Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(4):242–248.

Treisman, A. M. (1970). Perception and recall of simultaneous speech stimuli. *Acta Psychologica*, 33:132–148.

Treisman, A. M. i Gelade, G. (1980). Afeature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1):97–136.

Trovato, G., Zecca, M., Sessa, S., Jamone, L., Ham, J., Hashimoto, K., i Takanishi, A. (2013). Towards culture-specific robot customisation: A study on greeting interaction with egyptians. In *2013 Ieee Ro-Man*, pages 447–452. IEEE.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In Tulving, E. i Donaldson, W., editors, *Organization of Memory*, pages 381–402. Academic Press.

Tulving, E. (1974). Cue-Dependent forgetting: when we forget something we once knew, it does not necessarily mean that the memory trace has been lost; it may only be inaccessible. *American Scientist*, pages 74–82.

Tulving, E. (1976). Ecphoric processes in recall and recognition. In Brown, J., editor, *Recall and Recognition*, pages 37–73. Wiley, London.

Tulving, E. (1983). *Elements of Episodic Memory*. Oxford University Press, Oxford, New York.

Tulving, E. (1984). Précis of elements of episodic memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02):223–268.

Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40:385–398.

Tulving, E. (2000). Concepts of memory. In Tulving, E. i Craik, F. I. M., editors, *The Oxford Handbook of Memory*, pages 33–44. Oxford University Press, New York.

Tulving, E. i Thomson, D. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80(5):352.

Turing, A. M. (1950). Computing machine and intelligence. *Mind: A Quarterly Review of Philosophy*, 59(236):433–460.

Ucros, C. (1989). Mood state-dependent memory: A meta-analysis. *Cognition and Emotion*, 3(2):139–169.

Underwood, B. (1945). The effect of successive interpolations on retroactive and proactive inhibition. *Psychological Monographs: General and Applied*, 59(3):1–33.

Urbański, M. (2009). *Rozumowania Abdukcyjne. Modele I Procedury*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.

Valin, J.-M., Michaud, F., Rouat, J., i Letourneau, D. (2003). Robust sound source localization using a microphone array on a mobile robot. In *Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, volume 2, pages 1228–1233. IEEE.

Velásquez, J. (1998). When robots weep: emotional memories and decision-making. In *American Association for Artificial Intelligence Proceedings*, pages 70–75.

Velásquez, J. D. (1999). An emotion-based approach to robotics. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, volume 1, pages 235–240, Kyongju.

Velásquez, J. D. i Maes, P. (1997). Cathexis: a computational model of emotions. In *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents*, AGENTS '97, pages 518–519, New York, NY, USA. ACM.

Volvo Car Group (2014a). 360-View Technology Key to Volvo Cars' Goal of No Fatal Accidents by 2020.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Volvo Car Group (2014b). Adaptive Cruise Control With Steer Assist.

Waard, D., Hockey, G., Nickel, P., i Brookhuis, K. (2007). *Human Factors Issues in Complex System Performance*. Shaker Publishing, Maastricht, the Netherlands.

Wagenaar, W. A. (1986). My memory: A study of autobiographical memory over six years. *Cognitive Psychology*, 18(2):225–252.

Waloszek, W. (2007). *Metody Strukturalnej Analizy Ontologii Opartych Na Logice Opisowej*. PhD thesis, Gdańsk University of Technology.

Wang, L. i Wang, M. (2010). Modeling of combined bayesian networks and cognitive framework for decision-making in C2. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 21(5):812–820.

Wang, W., Subagdja, B., Tan, A., i Starzyk, J. A. (2012). Neural modeling of episodic memory: encoding, retrieval, and forgetting. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 23(10):1574–1586.

Warwick, K. i Shah, H. (2014). Good machine performance in turing's imitation game. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 6(3):289–299.

Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(3):129–140.

Watkins, M. J. i Gardiner, J. M. (1979). An appreciation of generate-recognize theory of recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18(6):687–704.

Watson, D. i Tellegen, A. (1985). Toward a consensual structure of mood. *Psychological Bulletin*, 98(2):219–235.

Watson, J. B. (1930). *Behaviorism*. University of Chicago Press, Chicago.

Waugh, N. C. i Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72(2):89–104.

Waytz, A., Heafner, J., i Epley, N. (2014). The mind in the machine: anthropomorphism increases trust in an autonomous vehicle. *Journal of Experimental Social Psychology*, 52:113–117.

Wegner, D. (1992). You can't always think what you want: problems in the suppression of unwanted thoughts. *Advances in Experimental Social Psychology*, 25:193–255.

Wei, J., Dolan, J. M., i Litkouhi, B. (2013). Autonomous vehicle social behavior for highway entrance ramp management. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pages 201–207. IEEE.

Weiner, B. i Graham, S. (1984). An attributional approach to emotional development. In Izard, C. E., Kagan, J., i Zajonc, R. B., editors, *Emotions, Cognition, and Behavior*, pages 167–191. Cambridge University Press, New York.

Wheeler, M. A. (2000). Episodic memory and autonoetic awareness. In Tulving, E. i Craik, F. I. M., editors, *The Oxford Handbook of Memory*, pages 597–608. Oxford University Press.

Whorf, B. (1950). An american indian model of the universe. *ETC: A Review of General Semantics*, 8(1):27–33.

Whorf, B. (1952). Language, mind, and reality. *ETC: A Review of General Semantics*, 9(3):167–188.

Wickens, C. M., Toplak, M. E., i Wiesenthal, D. L. (2008). Cognitive failures as predictors of driving errors, lapses, and violations. *Accident; Analysis and Prevention*, 40(3):1223–33.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie, Paris.

Wilson, P. I. i Fernandez, J. (2006). Facial feature detection using haar classifiers. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 21(4):127–133.

Wolfe, J. M., Cave, K. R., i Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 15(3):419–433.

Woodworth, R. S. i Schlosberg, H. (1972). *Experimental Psychology*. Holt, Rinehart and Winston, 3rd edition.

Wright, R. D. i Ward, L. M. (2008). *Orienting of Attention*. Oxford University Press.

Wu, Q. i Miao, C. (2013). Modeling curiosity-related emotions for virtual peer learners. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 8(2):50–62.

Wundt, W. (1897). Outlines of psychology. In *Classics in the History of Psychology*. York University 2010.

Wyszynski, B., Somboon, P., i Nakamoto, T. (2008). Highly sensitive QCM odor-sensors functionalized with self-assembled lipid-derivatives and GC materials. In *2008 IEEE Sensors*, pages 1552–1555. IEEE.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Xia, L., Chen, C.-C., i Aggarwal, J. K. (2011). Human detection using depth information by kinect. In *Cvpr 2011 Workshops*, pages 15–22. IEEE.

Yamazaki, R., Nishio, S., Ogawa, K., i Ishigur, H. (2012). Teleoperated android as an embodied communication medium: A case study with demented elderlies in a care facility. In *IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pages 1066–1071. IEEE.

Yantis, S. i Hillstrom, A. P. (1994). Stimulus-driven attentional capture: evidence from equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 20(1):95–107.

Yen, J. i Volz, R. (2003). On need-driven proactive information exchanges in agent teams. In *IEEE/WIC International Conference on Intelligent Agent Technology, 2003. IAT 2003.*, pages 350–356. IEEE Comput. Soc.

Yin, R. K. (1978). Face perception: A review of experiments with infants, normal adults, and brain-injured persons. In Held, R., Leibowitz, H. W., i Teuber, H.-L., editors, *Handbook of Sensory Physiology*, volume 8 of *Perception*, pages 593–608. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Zajonc, R. B. (1980). Compensance. In Paulus, P. B., editor, *Psychology of Group Influence*. Erlbaum.

Zajonc, R. B., Murphy, S. T., i Inglehart, M. (1989). Feeling and facial efference: implications of the vascular theory of emotion. *Psychological Review*, 96(3):395–416.

Zecca, M., Macrì, G., Mizoguchi, Y., Monaco, V., Endo, N., Itoh, K., Dario, P., i Takanishi, A. (2010). Evaluation of the KOBIAN and HABIAN emotion expression humanoid robots with european elderly people. In Parenti Castelli, V. i Schiehlen, W., editors, *ROMANSY 18 Robot Design, Dynamics and Control*, volume 524 of *CISM International Centre for Mechanical Sciences*, pages 449–456. Springer Vienna, Vienna.

Zhao, L. i Thorpe, C. (2000). Stereo-and neural network-based pedestrian detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1(3):148–154.

Ziegler, C. (2014). Tesla's autopilot isn't special (but it's still cool).

Ziou, D. i Tabbone, S. (1998). Edge detection techniques – an overview. *Pattern Recognition and Image Analysis C/C of Raspoznavaniye Obrazov I Analiz Izobrazhenii*, 8:537—-559.

Zlokolica, V. (2006). Fuzzy logic recursive motion detection and denoising of video sequences. *Journal of Electronic Imaging*, 15(2):23008.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl