

Elementy psychologii  
w kontekście  
autonomii robotów

---

PROBLEMY NAUK TECHNICZNYCH

---

# Automatyka i Robotyka

Edytor Serii: Zdzisław Kowalczyk

# Elementy psychologii w kontekście autonomii robotów

Michał Czubenko, Zdzisław Kowalczyk



---

POMORSKIE WYDAWNICTWO NAUKOWO-TECHNICZNE PWNT  
GDAŃSK 2019

Redaktor Naczelny i Edytor Serii: *Zdzisław Kowalczyk, prof. dr hab. inż.*

Recenzenci: *Andrzej Kasiński, prof. dr hab. inż.*

*Bogdan Wiszniewski, prof. dr hab. inż.*

Skład tekstu i korekta wydawnicza: *Michał Czubenko*

Projekt okładki i stron tytułowych: *Monika Wiszniewska*

Książka wydana nakładem PWNT Towarzystwa Konsultantów Polskich na podstawie materiałów przygotowanych przez Autorów

**Copyright© by TKP, Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Gdańsk 2019**

**Copyright© by Michał Czubenko, 2019**

**Copyright© by Zdzisław Kowalczyk, 2019**

All rights reserved

Wszystkie nazwy produktów wymienione w niniejszej publikacji są zastrzeżonymi nazwami handlowymi lub znakami towarowymi odpowiednich firm.

Niniejszej książki w całości lub części nie wolno powielać, ani przekazywać w żaden sposób (nawet za pomocą nośników mechanicznych, elektronicznych i magnetycznych), w tym też umieszczać lub rozpowszechniać w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i sieciach lokalnych, bez uzyskania pisemnej zgody Wydawnictwa PWNT Towarzystwa Konsultantów Polskich.

Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne PWNT  
Towarzystwa Konsultantów Polskich Oddział Gdańsk  
81-879 Sopot, Aleja Niepodległości 606/610  
tel. +58 552 1536, fax +58 552 1536  
e-mail: [tkp@konsulting.gda.pl](mailto:tkp@konsulting.gda.pl)  
strony: <http://www.konsulting.gda.pl/pwnt> (sklep internetowy)

**ISBN 978-83-63177-02-7**



---

## SPIS TREŚCI

<b>Spis treści</b>	<b>i</b>
<b>1 Przedmowa</b>	<b>1</b>
1.1. O automatyzacji i autonomii . . . . .	1
1.2. Wprowadzenie do psychologii . . . . .	3
1.3. Struktura pracy . . . . .	5
<b>2 Psychologia poznawcza</b>	<b>7</b>
2.1. Percepcja . . . . .	9
2.1.1. Percepcja sensoryczna . . . . .	10
2.1.2. Kodowanie informacji. Reprezentacje umysłowe . . . . .	11
2.1.3. Spostrzeganie . . . . .	11
2.2. Mechanizmy uwagi . . . . .	13
2.2.1. Selekcja . . . . .	14
2.2.2. Przeszukiwanie pola percepcyjnego . . . . .	17
2.2.3. Czujność . . . . .	18
2.2.4. Alokacja zasobów uwagi . . . . .	19
2.2.5. Fizjologiczne mechanizmy uwagi . . . . .	20
2.2.6. Świadomość i jej aspekty . . . . .	21
2.3. Pamięć – organizacja . . . . .	22
2.3.1. Klasyczny podział pamięci . . . . .	22
2.3.2. Pamięć sensoryczna . . . . .	22
2.3.3. Pamięć krótkotrwała . . . . .	23
2.3.4. Pamięć robocza . . . . .	24
2.3.5. Pamięć długotrwała . . . . .	26
2.3.6. Blokowe modele pamięci . . . . .	29
2.3.7. Proceduralne modele pamięci . . . . .	30
2.4. Pamięć – procesy . . . . .	31
2.4.1. Zapamiętywanie . . . . .	31
2.4.2. Przechowywanie . . . . .	33

2.4.3. Przywoływanie . . . . .	34
2.5. Myślenie i rozumowanie . . . . .	34
2.5.1. Teoria bodziec-reakcja . . . . .	36
2.5.2. Teoria Barona . . . . .	36
2.5.3. Operacje umysłowe . . . . .	36
2.5.4. Rozumowanie . . . . .	37
2.6. Podsumowanie . . . . .	38
<b>3 Teoria motywacji</b>	<b>39</b>
3.1. Psychologiczne teorie motywacji . . . . .	39
3.1.1. Motywacja ewolucyjna . . . . .	40
3.1.2. Motywacja psychodynamiczna . . . . .	40
3.1.3. Podejście behawiorystyczne . . . . .	40
3.1.4. Poznawcza koncepcja motywacji . . . . .	41
3.1.5. Teorie potrzeb . . . . .	41
3.1.6. Teoria pragnień . . . . .	43
3.2. Teorie emocji . . . . .	44
3.2.1. Powstawanie emocji . . . . .	46
3.2.2. Modele psychologiczne emocji . . . . .	49
3.2.3. Parametryzacja emocji . . . . .	50
3.3. Podsumowanie . . . . .	52
<b>4 Przegląd zastosowań antropoidalnych</b>	<b>53</b>
4.1. Roboty antropoidalne . . . . .	53
4.1.1. Przegląd robotów humanoidalnych . . . . .	54
4.1.2. Specyfikacje projektu robota humanoidalnego . . . . .	60
4.2. Obliczeniowe systemy emocji . . . . .	61
4.2.1. Przegląd wybranych systemów . . . . .	62
4.2.2. Porównanie wybranych systemów . . . . .	70
4.3. Komputerowe systemy decyzyjne . . . . .	71
4.3.1. Ucieleśniona Inteligencja . . . . .	73
4.3.2. Przegląd zaawansowanych systemów decyzyjnych . . . . .	74
4.3.3. Porównanie architektur kognitywnych . . . . .	79
4.4. Podsumowanie . . . . .	81
<b>5 Zakończenie</b>	<b>83</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>85</b>



---

## PRZEDMOWA

W obecnej chwili istnieje wiele projektów próbujących stworzyć sztuczne życie, sztuczną inteligencję (w ogólnym sensie<sup>1</sup>), czy robota działającego w określonym zakresie na podobieństwo człowieka. Można do nich zaliczyć zarówno projekty dotyczące sztucznych kończyn, ‘inteligentnego’ sprzętu domowego, implantów wojskowych, jak i agentów (ang. *chatter-bot*), programów komputerowych lub platform internetowych naśladowujących naturalną mowę człowieka<sup>2</sup>, czy robotów będących interaktywnymi towarzyszami człowieka.

### 1.1. O automatyzacji i autonomii

Od dłuższego czasu obserwuje się postępującą automatyzację. Coraz więcej urzędów posiada wbudowane komputery, podejmujące przynajmniej częściowe decyzje. Robotyka weszła do szkół. Współpracując z robotami, dzieci uczą się języków oraz rozwiązują zadania. Najprawdopodobniej w bliskiej przyszłości, dzięki robotom, zawody takie, jak strażak czy żołnierz, zmienią całkowicie swój charakter [38]. Roboty powszechnie wykorzystywane są już w medycynie, gdzie stosuje się ultra-dokładne roboty chirurgiczne (operujące z dużo większą precyzją niż człowiek), roboty wspomagające rehabilitację, bądź opiekujące się ludźmi starszymi, dziećmi, osobami niepełnosprawnymi, itp. [34]. Postęp ten zachodzi wraz ze zwiększającą się autonomią robotów [266]. Coraz częściej używa się samolotów bezzałogowych, które autonomicznie podejmują decyzję dotyczącą manewrów [71], oraz rozwijane są projekty autonomicznych pojazdów<sup>3</sup>.

Jednym z ciekawych przykładów ostatnich lat jest SyNAPSE<sup>4</sup>. Program ten realizowany na zlecenie DARPA (ang. *Defense Advanced Research Projects Agency*) z udziałem HRL (ang.

<sup>1</sup>Kiedy system komputerowy wykazuje się inteligencją podobną do ludzkiej.

<sup>2</sup>Zazwyczaj zadaniem takich systemów (określanych też w skrócie jako *chatbot*) jest spełnienie tzw. testu Turinga, tj. taka konwersacja, aby rozmówca miał wrażenie, że komunikuje się z żywym, inteligentnym człowiekiem.

<sup>3</sup>Pomimo stwierdzonego przypadku śmiertelnego (takie jednak też były początki lotnictwa).

<sup>4</sup>Ang. *Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics* (projekt ukończony w 2014 roku).



*Hughes Research Laboratories*), HP (Hewlett-Packard) i IBM (International Business Machines Corporation), miał na celu stworzenie systemu (na poziomie kognitywnego komputera) naśladowującego działanie mózgu ssaka. W ramach tego projektu, zaprojektowano i wykonano mikrokomputer w technologii 24 nm, posiadający 5.4 miliardów tranzystorów, które obsługują milion neuronów z 256 milionami połączeń synaptycznych. System działa na zasadzie uczenia neuronów (reguła Hebba), w sposób analogiczny do biologicznego [283].

Innym projektem IBM, zwanym Blue Brain, jest sieć neuronowa obrazująca korę mózgową kota. Symuluje ona około 10 miliardów synaps [191], działając na 147 tysiącach procesorów i 144 TB pamięci (w ramach tego projektu udało się też zasymulować działanie mózgu szczura oraz jego korę somatosensoryczną). Aktualnie trwają prace nad poprawą szybkości działania modelu, gdyż cały program działa około 100 razy wolniej niż rzeczywisty mózg [183].

Wyróżniający się i ciekawy aspekt stanowi *iudicium corpum* (łac. *decyzja ciała*), który skupia się na problemie sterowania manipulatorami za pomocą ciała człowieka, np. haptycznie. Typowym przykładem takiego podejścia jest sztuczna ręka sterowana poprzez sygnały miotyczne (EMG) klatki piersiowej [88, 98] lub przedramienia [78]. Rozbudowany haptyczny system zdalnego sterowania przemysłowym robotem mobilnym przedstawiono w [156]. Do tego typu projektów należy również zaliczyć funkcję poruszania kursorem myszy po ekranie tylko za pomocą ruchów gałek ocznych, jak np. system CyberEye [63]. Nietrudno zauważyć, że takie systemy są zbieżne z ogólną koncepcją budowy sprzętu odgadującego myśli człowieka.

Kolejnym przykładem postępującej autonomii jest komunikacja werbalna na poziomie spełniającym kryteria testu Turinga [311], kiedy maszyna potrafi ze zdania wpisanego w języku naturalnym wyciągnąć wniosek o zadaniu, jakie ma wykonać. Na razie nie istnieje program, który jest w stanie przejść test Turinga w pełni. Jednak w zależności od ścisłości definicji testu, tak już klasyfikowane są niektóre chatterboty (Cleverbot, Eugene Goostman) [319]. Zanotowano znaczny postęp w tej dziedzinie. Ostatnimi czasy Microsoft zaprezentował chatterbota Tay, który na Twitterze naśladował amerykańską nastolatkę. Program ten bardzo szybko i skutecznie się uczył, ale w szczególności treści nieprzyzwoitych, rasistowskich i obraźliwych, którymi użytkownicy Twittera chętnie go ‘raczyli’. Z tego też powodu projekt został zamknięty [127].

Innym aspektem związanym z podejściem cybernetycznym, tj. podpatrywaniem natury, jest *memrystor*. Po wielu latach badań naukowcom z CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) udało się stworzyć taki układ, będący sztuczną synapsą działającą w sposób niemal identyczny, jak ludzka [35]. Memrystor posiada zdolność regulowania rezystancji za pomocą impulsów napięciowych, dzięki czemu może odtwarzać sposób uczenia się człowieka.

Ambitnym celem jest stworzenie interaktywnego towarzysza człowieka. Dawno temu podejmowano próby konstrukcji sztucznego psa, kota, lub innych zrobotyzowanych zwierząt domowych [139]. Jednym ze słynniejszych przykładów jest Aibo firmy Sony. Pomimo zaprzestania produkcji i wsparcia technicznego w 2014 roku, społeczność posiadaczy Aibo nadal istnieje (szeroko też protestowała przeciwko ‘uśmierceniu’ ich pupili). Aktualnie w ramach projektów interaktywnego towarzysza można już wyróżnić roboty humanoidalne, takie jak Sophia (posiadająca obywatelstwo Arabii Saudyjskiej), czy seks-robot Samantha (potrafiąca okazywać ‘uczucia’, czy też – pomijając jej główne zastosowanie – opiekować się dziećmi).



Interaktywny towarzysz, mediator, sztuczna opiekunka, czy robot-policjant są już dostępne na rynku lub konstruowane w ramach projektów naukowych [97, 99, 145, 271]. Wpisują się one w aspekt socjalny współczesnej robotyki. Jakkolwiek tego rodzaju projekty są bardzo zaawansowane pod względem konstrukcji i sposobów sterowania (potrafią np. chodzić na dwóch nogach, otwierać drzwi, czy używać prostych narzędzi), to biorąc pod uwagę ich zachowanie, bardzo łatwo jest dostrzec ich sztuczność. Dodatkowo, w większości przypadków, tego typu projekty nie uwzględniają podejmowania decyzji w sposób ‘człowieczy’. Ich systemy decyzyjne oparte są zwykle na systemach eksperckich, rozmytych, lub całkiem prostych zachowaniach regułowych [87]. Ostatnimi czasy, coraz bardziej popularne stają się systemy emocjonalne i architektury kognitywne [270] oraz inne aspekty i zastosowania robotyki socjalnej [97, 334].

Istnieją pojedyncze systemy częściowo modelujące ludzką psychologię, przypisywane architekturze poznawczej. Jednak przeprowadzone do tej pory badania nie zaowocowały systemem, który spójnie modelowałby psychologię człowieka w celu sterowania autonomicznym robotem. Oczywiście wiele rozwiązań uwzględnia pojedyncze teorie psychologiczne, jak np. obliczeniowe systemy emocjonalne. Istnieją też systemy oparte na robotyce zachowawczej (ang. *behavior-based robotics*), które opierają się na prostych modelach użytych w skomplikowanych sytuacjach. Warto również wspomnieć o systemach opartych na potrzebach, czy w ogólności na systemach dokładniej modelujących system motywacji człowieka.

Z drugiej strony można wskazać teorie dotyczące systemów pamięci (opartych na psychologii), takie jak ramki Minsky’ego, sieci semantyczne, czy bardziej abstrakcyjny model 4+1 Bullera [46]. Oprócz teorii pamięciowych dysponujemy szerokim spektrum różnorodnych algorytmów przetwarzających dane sensoryczne, które w dużej części oparte są na wiedzy z zakresu neuropsychologii. Analogicznie jest w przypadku podejmowania decyzji, zwłaszcza w kontekście systemów autonomicznych. W tym miejscu można pokusić się o stwierdzenie, że nadmiar tego typu systemów modelujących jeden aspekt psychologii niekoniecznie jest zjawiskiem pożądanym. Można bowiem przez to przeoczyć inne kluczowe aspekty modelowania i/lub zagubić się gąszczu rozwiązań bardzo podobnych do siebie.

## 1.2. Wprowadzenie do psychologii

Aby mówić o aspektach psychologicznych w robotyce, należy przynajmniej pokrótce odpowiedzieć na pytanie: Czym jest psychologia? Psychologia jest dyscypliną naukową zajmującą się mechanizmami związanymi z ludzkim zachowaniem. Do XIX wieku była uznawana za gałąź filozofii, stąd też część pojęć używanych w psychologii jest współdzielona z filozofią umysłu. Wielu starożytnych filozofów wniosło swój wkład do psychologii. Wśród nich wyróżnić należy np. Arystotelesa (prawa kojarzenia), czy Galena (temperamenty). Można przyjąć, że współczesna psychologia narodziła się w Lipsku w połowie 1879 roku, gdzie powstało pierwsze na świecie laboratorium psychologiczne. Do jej przedstawicieli zalicza się: Hermanna von Helmholtza, Gustava Fechnera, Wilhelma Wundta oraz Juliana Ochorowicza. Ich prace dotyczyły głównie aspektów percepcji oraz świadomości. Początkowo psychologia obejmowała takie gałęzie, jak asocjacionizm (dotyczący łączenia prostych bodźców w złożone doznania) przedstawiony

przez Wilhelma Wundta oraz funkcjonalizm (traktujący procesy psychologiczne jako funkcje określone celem) zapoczątkowany przez Williama Jamesa.

Przy widocznej rozległości badań, wyróżnić można kilka podstawowych gałęzi psychologii, takich jak: humanistyczna, stosowana, behawioralna, poznawcza, językowa, socjalna, a także psychologia osobowości i neuropsychologia. Osiągnięcia psychologii humanistycznej (aspektów twórczych, motywacyjnych i autonomicznych człowieka), behawioralnej (reakcji człowieka na zmienne środowisko), socjalnej (komunikacji międzyludzkiej), poznawczej (procesów zachodzących pomiędzy bodźcem i reakcją) oraz teorii emocji są coraz częściej wykorzystywane w systemach automatyki i robotyki, jak również w różnych dziedzinach informatyki (ICT).

Psychologia poznawcza zajmuje się problematyką przetwarzania informacji oraz wszelkiego rodzaju związkami pomiędzy bodźcami a reakcją. Dąży się w niej do odkrycia mechanizmów umysłu związanych z myśleniem (jak również snem). Pozwala ona na sformułowanie jasnych struktur wiedzy oraz na budowę spójnego modelu procesów przetwarzania informacji [219]. Struktury i modele procesów poznawczych są istotne z punktu widzenia projektowania systemów autonomicznych, w tym dedykowanych rozwiązaniom mobilnym i innym (agentom). Podpowiadają one, jakich mechanizmów należy używać w określonych sytuacjach – a dokładniej – chodzi o spójne określenie, które elementy otoczenia 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 zdobycia wiedzy o rzeczywistości. Ukazują one drogę od bodźca do reakcji oraz determinują sposób postrzegania świata przez człowieka. Równoległe z teorią motywacji (potrzebami i emocjami) stanowią one dobrą podstawę do budowy koherentnego systemu autonomicznego. Sam pomysł, aby modelować procesy poznawcze nie jest nowy. Znane są modele blokowe procesów poznawczych [14], koncepcja poziomów przetwarzania informacji [60], koncepcja umysłu jako systemu modułowego [48], oraz najbardziej popularne sieciowe modele, czyli sztuczne sieci neuronowe [296].

Posiadając adekwatny model przetwarzania i przechowywania informacji, kolejnym zadaniem projektowym jest postawienie właściwego celu działania robota lub agenta. Złożonymi celami przypisywanymi człowiekowi, czyli jego motywacją do działania, zajmuje się teoria motywacji (przynależna w większej części do psychologii humanistycznej). Realizacja prostych lub krótkotrwałych celów, zależnych od zmiennego środowiska, przypisywana jest teorii behawioryzmu. Motywacja jest głównym elementem napędzającym człowieka, skłaniającym go do wszelkiego rodzaju działań. Proces motywacyjny pozwala na ukierunkowanie wysiłku w stronę celu w oparciu o mechanizm selektywności uwagi oraz wybór adekwatnej reakcji. Motywację można podzielić na zewnętrzną (kiedy wzbudzenie potrzeb następuje ze względu na globalne kary lub nagrody, motywacje prawne, społeczne itp.) i wewnętrzną (samo-motywowanie, zaspokajanie własnych potrzeb, ciekawość).

Istnieje wiele psychologicznych modeli motywacji [239]. Wśród nich należy przede wszystkim wymienić podstawową teorię dążeń/pragnień sformułowaną przez Freuda [289] (dualne, przeciwstawne pragnienia) oraz jej rozwinięcia: regularną teorię (8 par) pragnień [295] i teorię redukcji pragnień [125] (dodanie sprzężenia zwrotnego, podział na podstawowe i zaawansowa-

ne pragnienia). Z innych teorii warto wymienić tu: teorię instynktów, odnoszącą się do emocji [136], oraz teorię pobudzeń [55]. Jednym z bardziej popularnych i aktualnych elementów teorii motywacji jest element zwany piramidą potrzeb Masłowa [196]. Obecnie prowadzonych jest wiele badań naukowych nad elementami modelującymi systemy teorii motywacji. Przykładami są modele zachowania człowieka grającego w gry komputerowe [252] oraz sztucznych agentów i robotów [53], lub innych systemów [113].

Niezwykle wartościowym elementem motywacyjnym są emocje. Albowiem kierując się zakwalifikowanymi emocjami, jednostka (człowiek, zwierzę, agent, robot) może uprościć swój proces podejmowania decyzji, a przez to uzyskać szansę na podjęcie szybkiej i skutecznej decyzji<sup>5</sup>. Przykładowo, w przyrodzie emocje pozwalają zarówno na ucieczkę przed drapieżnikiem, jak i nawiązanie niewerbalnej komunikacji w gromadzie. Podobny skutek można osiągnąć w przypadku komputerów, agentów i robotów.

Prace naukowe na temat modeli obliczeniowych emocji są coraz bardziej powszechne. Wśród tego rodzaju wyników warto zwrócić uwagę na system rozmyty FLAME [83], który na podstawie zaobserwowanych zdarzeń/obiektów jest w stanie wygenerować własną emocję i wdrożyć związane z nią zachowania (posiada on też wbudowane algorytmy uczące zwiększające jego zdolność adaptacyjną). Z kolei, ParleE [45] modeluje emocje w konwersacyjnym środowisku wielo-agentowym, implementując model osobowości Rousseau [259] z wykorzystaniem teorii prawdopodobieństwa. System EMA (EMotion and Adaptation) [107] realizuje model z dynamiczną<sup>6</sup> zmianą emocji. Model ten, ściśle oparty na teorii ocennej Lazarusa [166], bierze pod uwagę takie czynniki, jak plan, wierzenia, intencje, etc.

### 1.3. Struktura pracy

Niniejsza praca prezentuje w dużym skrócie osiągnięcia psychologii, wykorzystywane jako podwaliny systemów decyzyjnych jednostek autonomicznych i pół-autonomicznych. W kolejnych dwóch rozdziałach omawia się zagadnienia związane z psychologią, w szczególności dotyczące psychologii poznawczej, teorii motywacji oraz emocji. Następnie skrótkowo przedstawia się osiągnięcia robotyki i technologii informacyjnych w odniesieniu do wcześniej przedstawionych zagadnień. Na zakończenie proponuje się krótkie podsumowanie.

<sup>5</sup>Cybernetycy od dawna wykorzystują tę zasadę do sterowania w oparciu o zmienną instrumentalną lub programującą.

<sup>6</sup>W zależności od historii aktualnie obserwowanych obiektów/zdarzeń, oraz zleconych zadań



---

## PSYCHOLOGIA POZNAWCZA DLA ROBOTÓW

Psychologia kognitywna (poznawcza) odwołuje się do podstaw filozofii – racjonalizmu i empiryzmu. W szczególności pojęcie reprezentacji umysłowej zostało dosyć wcześnie sformułowane przez Platona [245]. Twierdził on, że wiedza jest reprezentowana w umyśle, analogicznie do wycinka rzeczywistości. Jego metafora reprezentacji umysłowej jako ‘pieczęci odcisniętej 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 – traktujący o różnorodności umysłowych reprezentacji abstrakcyjnych pojęć w ramach jednego obiektu [44, 142]. Filozofia napędzała rozwój psychologii, jako nauki o umyśle, który został oddzielony od ciała (dualizm) przez Kartezjusza [69]. Jednak podstawą do utworzenia psychologii poznawczej jako dyscypliny były zasadnicze odkrycia dotyczące afazji.

Psychologia poznawcza na dobre uformowała się około 1967 roku, za sprawą Neissera [220], jako dziedzina zajmująca się „nabywaniem, strukturalizowaniem, przechowywaniem oraz wykorzystywaniem wiedzy” [193]. Bezpośrednią przyczyną do takiego rozwoju stały się odkrycia związane z wrodzonym mechanizmem nabywania języka [56] oraz z pamięcią krótkotrwałą [206]. Do powstania psychologii poznawczej poważnie przyczyniła się cybernetyka [201, 326], w szczególności opracowany przez nią model perceptronu [258], a także będąca w ciągłym rozwoju jej kontynuatorka – sztuczna inteligencja [199].

Psychologia kognitywna uformowała się z trzech nurtów psychologicznych:

- strukturalizmu
- funkcjonalizmu
- asocjacyjizmu.

**Strukturalizm** poszukuje konfiguracji elementów umysłu poprzez analizowanie doświadczeń dotyczących poszczególnych komponentów, do których należy na przykład recepcja, pamięć, oraz uwaga. **Funkcjonalizm** – zamiast tworzyć struktury – poszukuje raczej odpowiedzi w szerokim sensie na pytanie: *Co ludzie robią i dlaczego?* [136]. **Asocjacyjizm** z kolei, zaj-



muje się powiązaniem pomiędzy różnymi, abstrakcyjnymi bytami umysłu, tj. umysłowymi reprezentacjami rzeczywistych obiektów, idei, itp. [80].

W ogólności, podejście poznawcze do problemu podejmowania decyzji postuluje, że wiedza, będąca przesłanką decyzji, nie jest w prosty sposób tworzona poprzez gromadzenie danych, ale poprzez aktywne ich przetwarzanie. Oznacza to, że struktury procesów poznawczych człowieka stanowią podstawę modelowania procesu podejmowania decyzji istot myślących. Dodatkowo, postulat psychologii poznawczej mówi o tworzeniu **modelu** świata rzeczywistego przez umysł [193, 219]. Ze względu na strukturę neurologiczną umysłu, można wnioskować, iż procesy poznawcze działają niezależnie od siebie [222].

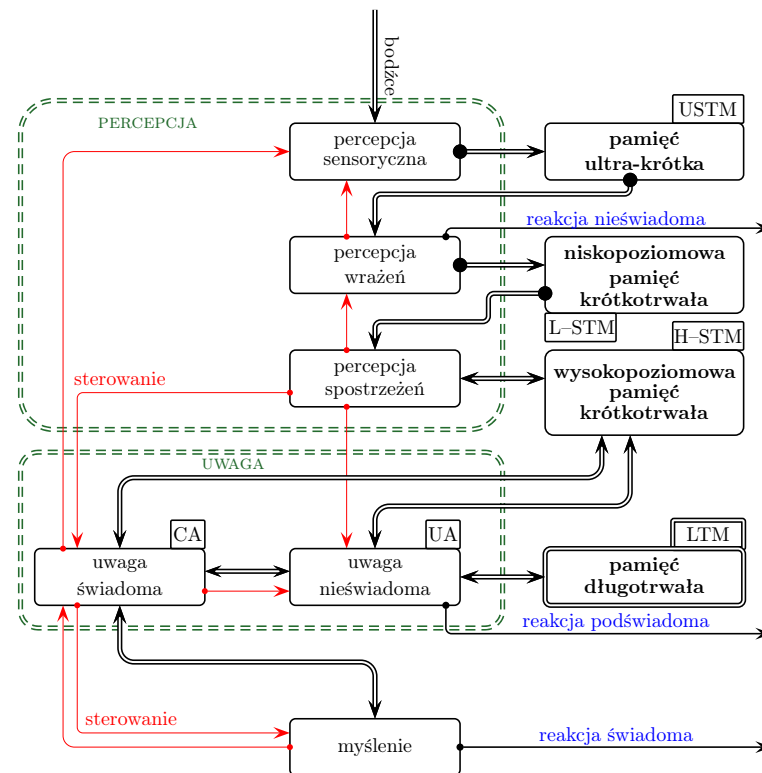
Procesy poznawcze zajmują się aktywnością umysłową oraz różnymi jej mechanizmami, które prowadzą do nabywania wiedzy dotyczącej rzeczywistości. Można wśród nich wyróżnić dwie kategorie: podstawową i złożoną, w ramach których wyróżniamy takie procesy, jak [86, 287]:

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

Dodatkowo, wychodząc z cybernetycznego punktu widzenia albo paradygmatu modelowania funkcjonalnego [12] oraz psychologicznego funkcjonalizmu [299], w ramach percepcji można wyróżnić trzy osobne fazy: percepcję sensoryczną, spostrzeganie niskiego poziomu (wrażeńowe) oraz spostrzeganie wysokiego poziomu (obiektywne). 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, jak również odgórną (ang. *top-down*) i oddolną (ang. *bottom-up*) [328]. Choć wśród procesów złożonych można dostrzec wiele innych zjawisk, wyżej wspomniane procesy zostały przyjęte jako podstawa do dalszych rozważań.

Poczynając od bodźca pojawiającego się na receptorach, informacja przechodzi przez systemy percepcji, gdzie jest konsekwentnie 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 informacja analizowana jest przez proces myślenia. W odpowiednich miejscach pojawiają się procesy pamięciowe, pozwalające na (tymczasowe lub długotrwałe) zapamiętanie informacji. Biorąc pod uwagę znaną drogę informacji oraz związki pomiędzy poszczególnymi procesami poznawczymi, opracowany model procesów poznawczych przedstawiono na rys. 2.1.





Rysunek 2.1: Podstawowy model procesów poznawczych wraz z mechanizmami reakcji [150].

## 2.1. System przetwarzania informacji

„Percepcja odnosi się do sposobu, w jaki człowiek interpretuje informacje zgromadzone przez zmysły” [172]. System percepcji jest dzielony przez psychologów na percepcję sensoryczną oraz spostrzeganie [193]. Pierwszy typ jest odpowiedzialny za podstawowe przetwarzanie bodźców, drugi natomiast zajmuje się kodowaniem, rekodowaniem i dalszym (zaawansowanym) przetwarzaniem informacji. Technicznie rzecz ujmując spostrzeganie można podzielić idąc wzdłuż hierarchicznej struktury informacji oraz pamięci. Jako rezultat takiego podziału otrzymujemy [153] percepcję wrażeń (niskiego poziomu) oraz percepcję spostrzeżeń (wysokiego poziomu).

Informacja odebrana z receptorów kodowana jest do postaci wrażeń, a następnie rekodowana do postaci spostrzeżeń. **Wrażenie** jest prostą cechą obiektu (kolor, kształt, tekstura, głośność, itp.), wykrywaną z pomocą sensorów oraz mechanizmów przetwarzania informacji. Z punktu widzenia neurologicznego, wrażenia są wynikiem aktywności ścieżek wschodzących, prowadzących od receptorów do mózgu [114]. Warto zaznaczyć, że wrażenia nie muszą odzwierciedlać wykrytych cech samodzielnie: np. wrażenia dotyczące kształtu tworzone są poprzez zsumowanie wyników wykrycia linii i kątów. Oczywiście wrażenia niekoniecznie odnoszą się do cech fizycznych, mogą bowiem dotyczyć ładunku emocjonalnego, wyznaczonego na podstawie wyrobionych wcześniej schematów wartościowania.

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 mózgowej” [114]. Proces ten może być traktowany jako rekodowanie informacji. Taka synteza (integracja, łączenie, fuzja) wrażeń do postaci spostrzeżeń jest wynikiem procesu percepcyjnego, uczenia się oraz grupowania wrażeń ze względu na lokalizację w rzeczywistym środowisku [193].

Przedstawiony powyżej pogląd nazywany jest podejściem oddolnym (ang. *bottom-up approach*). Wyraża on pasywne przetwarzanie informacji, bez aktywności (zmian w aktuatorach) oraz bez zaangażowania mechanizmów wyszukujących dodatkowych informacji. Upraszczając nieco, można powiedzieć, że podejście oddolne nie wymaga żadnej informacji zwrotnej. Przeciwnym poglądem reprezentuje podejście odgórne (ang. *top-down approach*), które mówi o innych, równoległych procesach angażujących pamięć i uwagę, które umożliwią skuteczne wyszukiwanie i interpretację danych zmysłowych [111].

### 2.1.1. Percepcja sensoryczna

Percepcja sensoryczna stanowi pierwszy etap przetwarzania informacji. Odpowiada za odbiór bodźców ze środowiska, odzwierciedlenie ich w receptorach, zapisanie ich w pamięci ultrakrótkotrwałej USTM (ang. *Ultra-short Time/Term Memory*) oraz wykrycie prostych wzorców – wrażeń (np. krawędzi). Dzieli się ona na dwie podstawowe fazy, związane z bodźcami dystalnymi, tj. rzeczywistymi obiektami z otoczenia, oraz bodźcami proksymalnymi, tj. informacją bezpośrednio odwzorowującą bodźce dystalne w receptorach jednostki [193]. Idąc tą drogą, można również podzielić zmysły na dalekie i bliskie [219]. Do zmysłów dalekich, odwzorowujących zewnętrzne bodźce, należy: wzrok i słuch<sup>1</sup>, podczas gdy do zmysłów bliskich, bezpośrednio odbierających bodźce, można zaliczyć smak, dotyk<sup>2</sup> i węch.

Jak dowiedziono z neurologicznego punktu widzenia, istnieją grupy komórek odpowiedzialnych za wykrywanie określonych cech. Grupy te zwane są detektorami cech. Detektory różnią się zarówno strukturą, jak i złożonością [174]. 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 [273]. Do detektorów wizyjnych odziedziczonych w wyniku ewolucji należą także detektory ruchu i wielkości [170].

Oprócz detektorów poszczególnych cech, człowiek posiada mechanizmy tworzenia i edytowania schematów poznawczych [221]. Seria przeprowadzonych badań eksperymentalnych [100] dowodzi, że człowiek ma zdolność uogólniania wzorców w celu tworzenia prototypów i schematów. W wyniku tych eksperymentów wykryto, że zdolność uogólniania wzorców człowieka jest podobna do algorytmu k-średnich (prototyp w zadaniu rozpoznawania wzorów kropek okazał się średnią arytmetyczną grupy).

<sup>1</sup>Do zmysłu słuchu zalicza się także zmysł równowagi i propriocepcji.

<sup>2</sup>Za dotyk w rzeczywistości odpowiadają trzy typy receptorów: czuciowe, nocycepcyjne (czucie bólu) oraz temperaturowe.



Percepcja sensoryczna jest ściśle związana z pamięcią sensoryczną, inaczej zwaną ultra krótkotrwałą (USTM). Pamięć sensoryczna przechowuje bodźce proksymalne przed ich przekodowaniem na wrażenia i cechy [219]. Wbudowane w zmysły, proste/bezpośrednie dekodery cech pomijają ten etap. Dowiedziono istnienia osobnych magazynów pamięciowych dla przynajmniej dwóch zmysłów: wzroku [281] i słuchu [61]. Pamięć wzrokowa (ikoniczna) przechowuje informacje bardzo krótko (około 100 ms); po tym czasie informacje albo są przetwarzane przez zaawansowane detektory cech, albo zostaną nadpisywane przez nowe informacje.

### 2.1.2. Kodowanie informacji. Reprezentacje umysłowe

W psychologii poznawczej istnieje kilka teorii kategoryzujących umysłowe reprezentacje rzeczywistości. Jedną z nich jest teoria Allana Paivio [233], która rozróżnia *logogeny*, zapamiętane obiekty, które można ująć w słowa (etykiety), ale nie można operować nimi w przestrzeni (obrać, przybliżać, itp.) oraz *imageny*, elementy graficzne lub inne obrazy rzeczywistości. Imageny i logogeny są odpowiednio ze sobą połączone za pomocą wewnętrznych skojarzeń. Teoria Paivio jest znana również jako teoria podwójnego kodowania.

Inna teoria reprezentacji umysłowej obiektu, przedstawiona przez Stephena Kosslyna [149], mówi o bezpośredniej reprezentacji w trójwymiarowej przestrzeni psychicznej na nośniku, zwanym *medium*. Obiekty zapamiętywane są jako uogólnione zbiory cech, na podstawie których można odtworzyć obiekt. Nośnik pozwala na operowanie obiektem w kontekście właściwości geometrycznych, tj. może:

- ukazywać właściwości przestrzenne w kontekście innych obiektów (np. proporcje)
- być przybliżany lub oddalany, obracany i przesuwany
- rozmywać detale obiektu (co ma konsekwencje czasowe).

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. Pliki obrazowe zawierają wszystkie informacje niezbędne do wizualizacji obiektu na nośniku.

Z punktu widzenia inżynierii, powstaje jeszcze jeden problem do rozwiązania: Jak odnieść to do matematyki? Teoria podwójnego kodowania mówi, że wszystkie obiekty mogą być reprezentowane jako imageny lub logogeny. To samo powinno dotyczyć abstrakcyjnych operacji (jak np. pierwiastek kwadratowy). Jednakże ewaluacja samego pierwiastka za pomocą logogenów lub imagenów napotyka na duże trudności. Z pomocą przychodzą tu niektóre techniki proceduralne. Konsekwentnie i w naturalny sposób, McCloskey i Macaruso [200] zaproponowali zastosowanie reprezentacji numerycznych jako trzeciej formy kodowania, tj. ścisły zapis według języka matematyki. Taki rodzaj reprezentacji pozwala na sprawne manipulowanie liczbami i operacjami matematycznymi (prawdopodobnie ten rodzaj kodowania jest sposobem nabytym).

### 2.1.3. Spostrzeganie

Spostrzeganie jest procesem dużo bardziej skomplikowanym od percepcji sensorycznej. Funkcjonalnie, w spostrzeganiu można wyróżnić dwie fazy: postrzeganie wrażeń (cech) i postrzeganie

spozrzeń. Postrzeganie wrażeń, jako wstępny etap przetwarzania informacji, poszukuje i rozpoznaje cechy proste (kolor, kształt, tekstura, dźwięk, zapach, dotyk, itp.) powiązane poprzez zestaw punktów w przestrzeni bodźców odwzorowanej w USTM. Oprócz ekstrakcji cech, proces postrzegania wrażeń może nadawać obiektom wartość emocjonalną [231]. Wrażenia powiązane są z lokalizacją w przestrzeni, bez niej jakiegokolwiek dalsze przetwarzanie byłoby bezużyteczne. Wykazano, 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) [41].

Percepcja spostrzeżeń jest konsekwencją wstępnego etapu przetwarzania informacji. Polega na przetwarzaniu wrażeń na spostrzeżenia, co odnosi się przede wszystkim 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, tj. dopasowaniu spostrzeżeń wykrytych w przestrzeni do zapamiętanych wcześniej kategorii spostrzeżeń. Taki proces identyfikacji obiektu zwany jest też klasyfikacją semantyczną.

Spostrzeganie jest efektem konfrontacji przetworzonych danych sensorycznych oraz danych pamięciowych. Najistotniejszym aspektem spostrzegania jest przynależność do określonej kategorii – abstraktu [251]. Abstrakty z reguły mają przypisane nazwy/etykiety, ułatwiające komunikację wewnętrzną i międzyludzką. Konfrontacja danych sensorycznych z danymi pamięciowymi polega na zapewnieniu jak najlepszego dopasowania cech. Według Maruszewskiego, ważną informacją (przekazywaną dalej) jest nie tylko przynależność do określonego zbioru, ale również brak przynależności do innych relewantnych zbiorów [193]. W przypadku wystąpienia wieloznaczności (kiedy nie wszystkie cechy się pokrywają), można wprowadzić sprzężenie zwrotne. W takim wypadku człowiek wchodzi w interakcję z otoczeniem i sprawdza obiekt pod kątem określonych cech. Może na przykład, patrząc z innej perspektywy i stosując odpowiednią akcję/reakcję, wykryć cechy obiektu, które pozwalają na jego klasyfikację.

Skuteczność spostrzegania i rozpoznawania obiektów nie zależy tylko od złożoności obiektu, ale także od nastawienia percepcyjnego (ang. *perceptual set*) człowieka lub nastawienia kontekstowego w przypadku agenta. Nastawienie percepcyjne (gotowość percepcyjna) to „łatwość wykorzystania określonej kategorii pamięciowej do danego materiału percepcyjnego” [193]. Gotowość percepcyjna zależy od ‘poziomu 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 (w takiej sytuacji zostaje on wykryty jako zwierzę). Przedstawione zjawisko nazywane jest efektem torowania (ang. *priming*) [49], który często był wykorzystywany w działaniach propagandowych mediów. Na efekt torowania 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 przeciwnym do torowania jest obronność percepcyjna. Pewne obiekty są dużo trudniej spostrzegane, np. ze względu na traumatyczne doświadczenia [237].

Teorie postrzegania dotyczą sposobu tworzenia spostrzeżeń, a także ich opisu. Traktują o tym, czy wrażenia są ważniejsze od spostrzeżeń (prymat części nad całością), czy na odwrót, oraz mówią o tym, w jaki sposób obiekty są identyfikowane. Wśród nich [193, 219] wyróżnia się:

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

W niniejszej pracy rozważanie ich wszystkich nie jest konieczne. Najważniejszym wnioskiem, dotyczący systemów percepcji w kontekście praktycznej robotyki, jest podział informacji na wrażenia (cechy) i spostrzeżenia (obiekty).

## 2.2. Uwaga oraz mechanizmy selekcji i zarządzania pamięcią

Uwaga stanowi podsystem, który pozwala na zorientowanie procesów percepcji na pewne obiekty lub zdarzenia [136]. Typowym wykorzystaniem uwagi jest tak zwany efekt bankietu (ang. *cocktail party effect*). Dzięki świadomemu wykorzystaniu uwagi jesteśmy w stanie wyteńczyć słuch – skupiając się na jednej osobie najbardziej nas interesującej, z pominięciem innych rozmów, muzyki oraz szumu otoczenia [11]. Bodźce, które ‘przeszkadzają’ w wyodrębnieniu bodźców pożądanym (tych, na które skierowana jest uwaga), noszą miano dystraktorów [193].

Nie można utożsamiać pojęcia uwagi ze świadomością. Świadomość stanowi wyższy rodzaj korelacji pomiędzy procesami mentalnymi a zachowaniem mózgu. Można natomiast 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). Konsekwentnie zatem, świadomość dzieli się na introspekcyjną (wewnętrzną) oraz percepcyjną (zewnętrzną) [8]. Świadomość percepcyjna jest ściśle związana z uwagą, a konkretnie z filtrowaniem spostrzeżonych zdarzeń i obiektów. Świadomość introspekcyjna może mieć wpływ na uwagę, ale również dobrze może być wyłączona [218].

Procesy uwagi możemy więc podzielić na kontrolowane (z których zdajemy sobie sprawę) oraz automatyczne. Czynności automatyczne nabywane są w długotrwałym procesie uczenia, ale dzięki temu działają bez udziału świadomości i są dużo szybsze niż czynności kontrolowane (świadome). Z drugiej strony, procesy uwagi możemy również podzielić w podobny sposób, jak procesy percepcji. Procesy mimowolne wyzwalane są bodźcami oddolnymi (ang. *bottom-up*), zewnętrznymi (ze środowiska), podczas gdy procesy dowolne wyzwalane są bodźcami odgórnymi (ang. *top-down*), wewnętrznymi, związanymi z myśleniem i świadomością [47]. Uwagę możemy też oznaczać jako jawną (ang. *overt*) lub ukrytą (ang. *covert*). Uwaga jawna odpowiada za świadomą zmianę orientacji (np. za kontrolowane przemieszczenie gałek ocznych [250]). Uwaga



ukryta, przykładowo, przenosi ostrość z jednego obiektu na drugi, bez ruchów gałkami ocznymi [126]. Jak można zauważyć, podziały przedstawione powyżej są bardzo do siebie podobne; część procesów jest kontrolowana świadomie – wewnątrznie, a część automatycznie – nieświadomie, dzięki wyuczonym wcześniej czynnościom wyzwalanym bodźcami zewnętrznymi.

Uwaga odpowiada za szereg ważnych funkcji, m.in. za [290]:

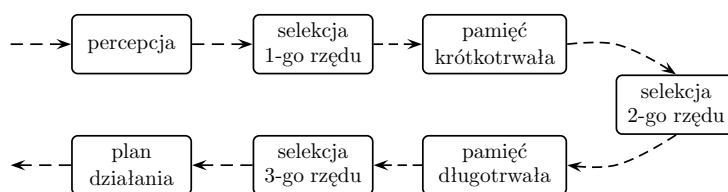
- selektywność
- przeszukiwanie
- koncentrację (czujność)
- alokację zasobów (przerzutność i podzielność uwagi).

Jest ona też wspierana przez mechanizmy fizjologiczne, takie jak [193]:

- odruch orientacyjny
- mechanizm indukcji ujemnej
- układ aktywacyjno-hamujący.

### 2.2.1. Selekcja

Aby system poznawczy był skuteczny, nie może przetwarzać wszystkich informacji pojawiających się na receptorach. System staje się efektywny, dopiero kiedy analizuje niewielką ilość informacji [169]. Proces poznawczy zwany uwagą zajmuje się przede wszystkim zjawiskami selekcji. Selekcja może dotyczyć zarówno elementów zapamiętywanych, jak i bodźców postrzeganych na wejściach sensorycznych (dzięki temu mniej ważne bodźce nie są przedmiotem analizy). Uwaga prowadzi też filtrację zapamiętywanych elementów, które są przepisywane z pamięci krótkotrwałej do pamięci długotrwałej. Sелеktywność uwagi ujawnia się również w przypadku planowania i wykonywania reakcji [193]. Wszystkie trzy poziomy selekcji, jak również droge przepływu informacji między nimi (w bardzo uproszczony sposób), pokazano na rys. 2.2.

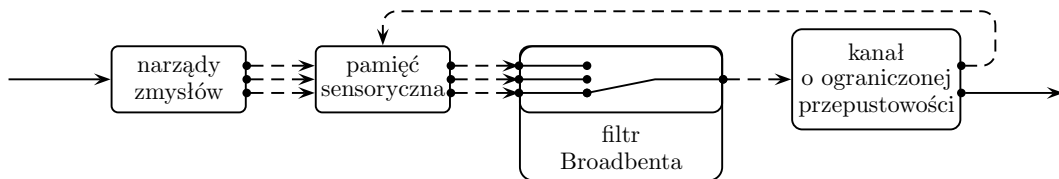


Rysunek 2.2: Droga selekcji informacji.

**Selekcja pierwszego rzędu** (wczesna, pierwotna) to selekcja bodźców odbieranych przez narządy zmysłowe [193]. Człowiek może analizować dużą liczbę bodźców jednocześnie, jednakże nie tyle, ile ma receptorów. Zatem tylko część informacji jest przesyłana do dalszej analizy w centralnym układzie nerwowym. O tym, która to część, decyduje właśnie selekcja pierwotna.

Z teorią selekcji pierwotnej wiąże się koncepcja filtra Broadbenta [40], który zaproponował układ typu przerzutnikowego, działającego zgodnie z zasadą „wszystko, albo nic”. Według Broadbenta uwaga przełącza się pomiędzy różnymi kanałami (rys. 2.3). Każdy kanał może być

albo całkowicie przepuszczalny, albo całkowicie blokowany. W blokowanym kanale informacje są nadpisywane przez kolejne informacje pochodzące od zmysłów. Układ taki stanowi zatem „wąskie gardło” w ścieżce przetwarzania informacji. Warto zauważyć, że filtr Broadbenta został opracowany w wyniku eksperymentów prowadzonych z wykorzystaniem techniki słuchania dwuosobowego [54].

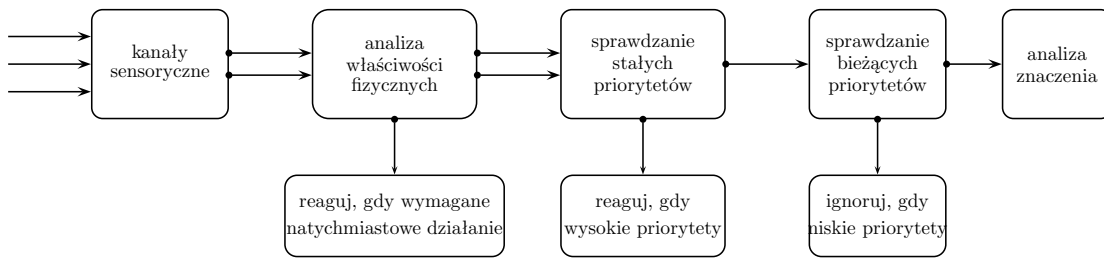


Rysunek 2.3: Teoria uwagi Broadbenta [40, 193].

Teoria filtracji Broadbenta była szeroko krytykowana, a zwłaszcza zastosowana tam zasada bramkowania. Na przykład w aspekcie kanałów słuchowych, dowiedziono, że drugi kanał nie jest jednak całkowicie zamykany [210]. Ponadto badania nad przetwarzaniem sygnałów mieszanych (liczbowo-sylabowych) pokazały, że uwaga nie tylko nie odcina drugiego kanału, ale raczej pomaga zgrupować dane w sensowną (semantycznie) całość: cyfry zostały scalone w jedną liczbę, a sylaby – w słowo [110]. Z drugiej strony badania eksploatujące zmianę czasu ekspozycji poszczególnych bodźców dowiodły, że filtr Broadbenta jest skuteczny w przypadku szybko następujących po sobie zmian (informacji). Reasumując, można stwierdzić, że filtr Broadbenta może być dobrym rozwiązaniem w sytuacji nagromadzenia się dużej ilości informacji.

Uwzględniając możliwość przełączania pomiędzy różnymi kanałami na podstawie przeniesionej informacji (ich znaczenia/semantyki), wyróżnić można kolejne/głębsze poziomy filtracji. Przykładem tego jest filtr Treisman [302]. Na podstawie odpowiednich eksperymentów dowiedziono możliwości sklejania sentencji (połączone semantycznie treści), których części były podawane na różne kanały. Filtr Treisman działa według *zasady semantycznej*, która głosi, że im bardziej dane wejściowe pasują (semantycznie) do aktualnie przetwarzanych informacji, tym większa jest szansa na przepuszczenie ich przez filtr. Następuje tu sprzężenie zwrotne. Filtr Treisman uwzględnia również reakcję na określone bodźce lub informacje w poszczególnych fazach filtracji. Pierwsza faza odpowiada za analizę własności fizycznych (formowanie wrażeń, wg teorii spostrzegania). W przypadku wykrycia wrażeń sygnalizujących zagrożenie (jak np. ból, czy głośny krzyk), wywoływane są odpowiednie reakcje. Gdy odbierane wrażenia nie wymagają podjęcia reakcji, następuje przejście do fazy rozpoznawania spostrzeżeń. Spostrzeżenia są analizowane, najpierw ze względu na priorytety stałe (długofalowe), potem zaś – ze względu na priorytety krótkofalowe (rys. 2.4). Po przejściu całej drogi, bez wywołania reakcji, spostrzeżenia są poddawane analizie (ich znaczenia).

Kolejnym filtrem jest filtr Deutschów [70], przy którym postuluje się, że informacje selekcyjonowane są tylko na poziomie świadomym (i nigdy nie odrzucane) oraz przetwarzane do poziomu głębokich reprezentacji umysłowych (rozpoznawanie spostrzeżeń). Dzieje się to bez formułowania jawnej reprezentacji pamięciowej [219]. Zaproponowana zasada świadomej filtra-

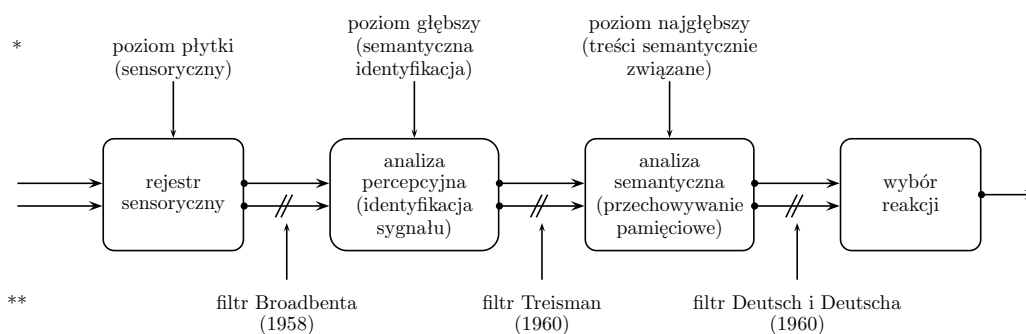


Rysunek 2.4: Wielokrotny filtr uwagi Treisman, [193, 302].

cji lub *koniecznej świadomości* poddana została silnej krytyce [159]. Jednakowoż ulokowanie takiego filtru w modelu procesów kognitywnych może mieć praktyczne zastosowanie.

Na podstawie przeglądu różnych teorii filtracji w procesie uwagi, sformułowano dwa antagonistyczne stanowiska – model wczesnej selekcji informacji i model późnej selekcji informacji [219]. Modele wczesnej selekcji informacji znajdują zastosowanie w działaniach wymagających szybkiego przetwarzania sygnałów i reakcji oraz w przypadku dużej liczby bodźców [164]. Natomiast w przypadku niewielkiego zbioru danych wejściowych (ilości informacji), wykorzystany może być model późnej selekcji.

Johnston [138] zaproponował filtrację zmieniającą swoją funkcję w zależności od poziomu lub głębokości przetwarzania informacji. Dzięki temu filtracja realizowana jest inaczej na poziomie sensorycznym, i inaczej na poziomie semantycznym. Każdy taki filtr powinien działać zgodnie z zasadą *kompromisu pomiędzy szybkością a poprawnością/skutecznością*. Filtr działający szybko będzie mniej dokładny niż filtr działający na głębokich poziomach analizy (gdzie trzeba liczyć się ze zwiększeniem złożoności i czasu przetwarzania). Przykładowo, filtracja sensoryczna zajmuje około 100 ms, w zależności od modalności (formy/typu) bodźca [327]. Podczas gdy filtracja semantyczna trwa około 400 ms [138]. Ogólny schemat ukazujący zasadę działania takiego złożonego (rozproszonego/rozłożonego) filtru Johnstone'a przedstawiono na rys. 2.5.



Rysunek 2.5: Schemat (złożonego, rozproszonego) filtru Johnstone'a, [138, 219].

**Selekcja wtórna** (drugiego rzędu), występująca w procesach pamięciowych, zachodzi w tranzycji (przejściu) informacji pomiędzy pamięcią krótkotrwałą a długotrwałą. Pamięć długo-



trwała nie jest w stanie odebrać wszystkich informacji z pamięci krótkotrwałej. Ponadto forma zapisu informacji w pamięci krótkotrwałej jest inna niż w długotrwałej. Zjawisko selekcji wtórnej jest więc też związane z opóźnieniem wynikającym z kodowania przesyłanego sygnału do postaci trwałej [193]. Informacja zapisywana w pamięci długotrwałej powinna wykazywać semantyczne związki (relacje) z innymi, już przechowywanymi informacjami. Zatem przed zapisaniem informacji, trzeba najpierw określić skojarzenia z nią związane. Ze względów organizacyjnych należy też sprawdzić, czy taka informacja nie została już zapisana w pamięci trwałej.

Jeśli napływająca informacja jest dla nas 'zaskoczeniem', proces zapamiętywania jej może być dłuższy. W wyniku badań stwierdzono [84] też, że formą zaskoczenia (wywołującego wolne kodowanie) jest też 'brutalność' (charakteryzująca się negatywnym kontekstem emocjonalnym). U wielu ofiar zdarzeń, takich jak różnego rodzaju przemoc lub wypadek, pojawia się zjawisko amnezji funkcjonalnej<sup>3</sup>, a później odroczonego przypominania. Oznacza to, że ślady pamięciowe w takich przypadkach kodowane są niezwykle opornie (wolno), a ich dostępność też pojawia się dużo później. Ogólnie też wiadomo, że informacje, które mają negatywny znak emocjonalny, są zdecydowanie słabiej zapamiętywane niż informacje neutralne lub pozytywne [193]. Istotą selekcji wtórnej jest proces 'osłabiania' informacji [174], które jednostka uważa za mało istotne<sup>4</sup>. Dzięki temu mechanizmowi, ważne informacje stają się relatywnie bardziej wyraziste.

**Selekcja trzeciego rzędu**, zgodnie z rys. 2.2, występuje w trakcie myślenia nad planowaną lub wykonywaną reakcją. Proces ten 'podpowiada' pewne rozwiązania częściowo automatycznie, a częściowo świadomie. Monsell [208] przytoczył przykład obrazujący selekcję trzeciego rzędu, kiedy w trakcie podjętej operacji wycierania sztućców, mąż został poproszony przez małżonkę o pozostawienie ich na wierzchu. Dopiero skończywszy pierwszą czynność, zaczął on wyciągać sztućce z szuflady – co można tłumaczyć zjawiskiem 'zaburzenia uwagi', braku modyfikacji aktualnego *programu działania*, oraz 'kolejkowania poleceń'.

### 2.2.2. Przeszukiwanie pola percepcyjnego

Przeszukiwanie pola percepcyjnego, czyli po prostu wyszukiwanie w otoczeniu elementów o danych cechach, jest innym ważnym elementem uwagi. Najbardziej rozpowszechniona jest **zasada integracji cech** [219]. Zasadniczym jej elementem są tak zwane mapy lokacyjne, które przechowują lokalizację przestrzenną wykrycia danej cechy [303]. Można też wyróżnić mapy względem pojedynczych cech (mapy cech), które przechowują miejsce wystąpienia danej cechy. Na mapach cech kodowanie środowiska (otoczenia) odbywa się zawsze różnicowo: zapisywane są jedynie różnice (jeśli wystąpią); pomija się zaś cechy występujące w całej analizowanej przestrzeni. Zjawisko to związane jest bezpośrednio z optymalizacją (oszczędnością) przydzielanych zasobów poznawczych. Teoria integracji cech mówi też o etapowym przetwarzaniu informacji (przeszukiwaniu). Najpierw następuje wybór wspomnianych map lokacyjnych, następnie tworzone są mapy cech, po czym (kojarzone przestrzennie) cechy podlegają integracji w pojedynczy obiekt [303].

<sup>3</sup>Połączonej z odruchową ucieczką z miejsca zdarzenia.

<sup>4</sup>Do nich też czasami zaliczają się zjawiska niepożądane lub bolesne.

W przeszukiwaniu pola percepcyjnego można wyróżnić przeglądanie proste (obiekt zdefiniowany przez jedną cechę) oraz poszukiwanie koniunkcyjne (na obiekt składa się wiele cech). W przypadku wyraźnych cech, przeszukiwanie proste może postępować równolegle [303]. Jednak gdy poszukujemy określonej cechy wśród obiektów podobnych, proces musi być realizowany szeregowo. Poszukiwanie złożenia dwóch specyficznych cech, może być oczywiście równie szybkie i efektywne, jak przeglądanie proste [3], gdyż pewne cechy łatwo łączą się z innymi (co przyspiesza przetwarzanie). Jednak w ogólnym przypadku przeszukiwania koniunkcyjnego, pojawiają się konsekwencje wielkości zbioru (przeszukiwanie niewielkiego zbioru trwa dużo krócej niż analiza dużego zbioru obiektów). Dodatkowo, czas przeszukiwania zależy również od liczby ruchomych dystraktorów w polu percepcyjnym oraz od orientacji obiektów w przestrzeni. Albowiem dystraktory ruchome dużo bardziej rozpraszają uwagę, natomiast zmieniona orientacja obiektu (np. jego obrót) zdecydowanie wydłuża czas takiej analizy [77].

Z faktu, że niektóre cechy łatwo się integrują (sumują), można wnioskować istnienie cech priorytetowych, takich jak np. ruch [77]. Priorytet umożliwia szybszą analizę informacji (dotyczącej obiektu posiadającego cechę priorytetową). Taki genetyczny mechanizm wykształcił się w drodze ewolucji i związany jest na przykład z wykrywaniem ataku drapieżnika przez roślinożerców. Zjawisko to nie dotyczy jedynie pojedynczych cech (priorytetowych). Istnieje też teoria mówiąca, że również koniunkcja kilku cech względnie nisko-priorytetowych w odpowiednim otoczeniu może być postrzegana priorytetowo [51].

Oprócz teorii integracji cech, istnieją również inne teorie traktujące o sposobach przeszukiwania pola percepcyjnego. Jedną z nich jest teoria podobieństw [79], według której największe znaczenie ma podobieństwo pomiędzy obiektami, a nie liczba poszukiwanych cech oraz ich szczegółowe znaczenie. Jak wspomniano powyżej, kiedy obiekty w otoczeniu jednostki będą do siebie bardzo podobne, przeszukiwanie będzie trwało znacznie dłużej. Jednak szybkość takiej analizy (przeoglądania) nie zależy jedynie od liczby wyszukiwanych cech. Prostym przykładem [287] ilustrującym tę teorię jest wyszukiwanie określonej litery w zbiorze liter wielkich (duże podobieństwo) i małych (duża różnorodność).

### 2.2.3. Czujność

Zdolność do wykrywania specyficznych bodźców przez określony czas nazywana jest czujnością [287]. Jest ona ściśle związana z poziomem aktywacji, który umożliwia podjęcie określonej reakcji na dane bodźce [193]. Klasycznym przykładem opisującym mechanizm czujności jest badanie Mackworth'a [185], które polega na obserwowaniu wskazówki sekundnika i kliknięciu na przycisk, gdy przeskoczy ona o dwie sekundy. Przez pierwsze 10 minut wykonania testu, osobnik pomija średnio 12% sygnałów, przez kolejne 20 minut – jest to około 20%, później zaś – 25%. Taki wzrost liczby błędów powodowany jest wzrostem wątpliwości u testowanego osobnika dotyczących własnych obserwacji. Doświadczenie Mackworth'a dowodzi, że czujność wykrycia danego bodźca spada wraz z upływem czasu.

Przy analizie czujności często stosuje się teorię wykrywania sygnałów [219]. Zagadnienie to najprościej jest przedstawić jako grę jednoosobową o dwóch strategiach (tab. 2.1), kiedy mamy cztery możliwości (w klasycznym przypadku). Możemy bowiem wykryć bodziec i zareagować



(a) lub wykryć bodziec i nie zareagować (b), albo nie wykryć bodźca i zareagować (c) lub nie wykryć bodźca i nie zareagować (d) [193]. Jest to typowa macierz pomyłek (zagadnienie z dziedziny statystyki i uczenia maszyn). Do każdej sytuacji (dla określonych bodźców i reakcji lub interpretacji) przypisać można określone wartości nagrody lub kary. W ten sposób kształtuje się strategię postępowania – np. w niektórych przypadkach celowa będzie nadinterpretacja i reakcja nawet na fałszywy alarm, a w niektórych – postępowanie przeciwne. Stosunek poprawnych detekcji do fałszywych alarmów można opisać za pomocą krzywej funkcjonowania obserwatora [193]. Na charakterystykę tej krzywej mają wpływ trzy czynniki:

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

Tabela 2.1: Jednoosobowa gra przedstawiająca problem czujności [193].

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

W eksperymentach z czujnością warto zwrócić uwagę na postawę co do lokalizacji bodźca. W zależności od tego nastawienia, inaczej zadziała bodziec wykryty w tzw. *centrum uwagi*<sup>5</sup>, niż na jej obrzeżu. Nastawiając się na wykrycie bodźca w centrum uwagi można pominąć bodźce na jej obrzeżu i odwrotnie. Na koniec warto podkreślić, że mechanizm czujności sprzężony jest ze stanem emocjonalnym [287].

#### 2.2.4. Alokacja zasobów uwagi

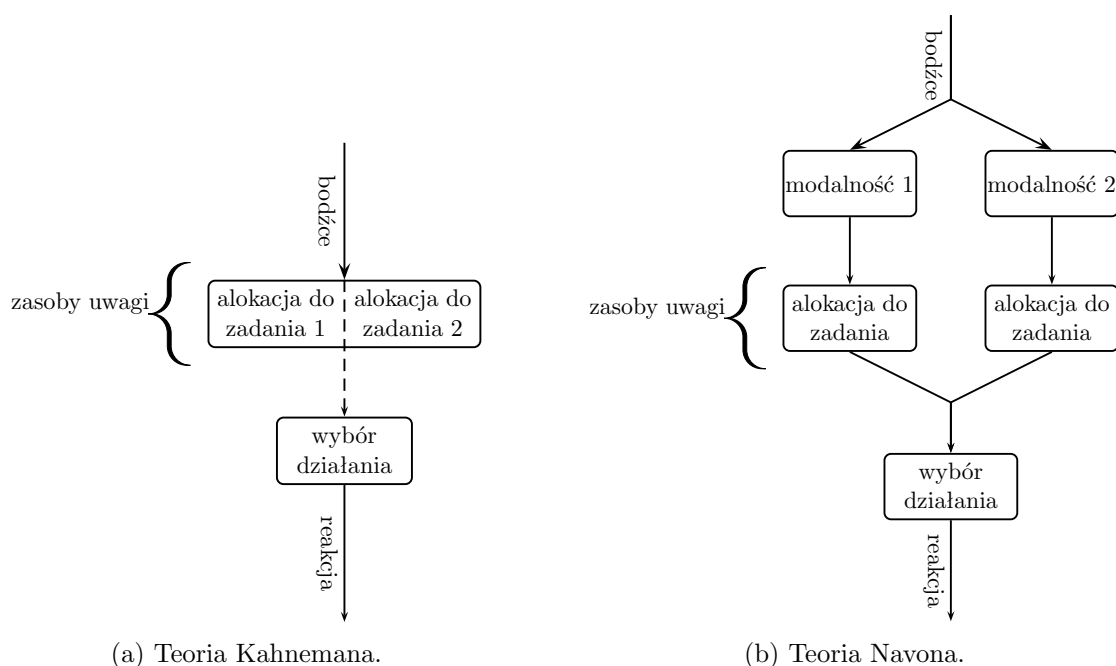
Teorie pojemnościowe uwagi powstały w odpowiedzi na zagadnienie podzielności uwagi. Objasniają one jak możliwe jest jednoczesne wykonywanie kilku zadań. Teoria alokacji zasobów została sformułowana przez Kahnemana [140] – na podstawie krytyki teorii filtrów przeprowadzonej przez Neissera [221]. W podejściu tym uwaga nie ogranicza się do filtrowania bodźców, ale też decyduje, które bodźce są analizowane. W takiej sytuacji uwaga uzyskuje charakter aktywny (nie pasywny) [193]. Kahneman zaproponował też sposób przyporządkowania odpowiednich zasobów do każdego zadania (rys. 2.6a).

Na wielkość (pojemność) zasobów przypisanych do danego zadania wpływa wiele czynników:

- poziom złożoności zadania (percepcyjnego lub wykonawczego) – im jest on wyższy, tym więcej zasobów musi przeznaczyć uwaga na jego rozwiązanie
- poziom pobudzenia – wykształcony ewolucyjnie mechanizm obronny, który redukuje ospałość jednostki, aby w pełni wykorzystać zasoby uwagi (lub je optymalizować)
- polityka alokacyjna – zarówno chwilowa, jak i długotrwała, zależna od własnych (nabytych i wykształconych) przekonań, co do ważności zadania i oceny istotności zapotrzebowania.

<sup>5</sup>Centrum uwagi jest nierozdzielnie związane z ostrością widzenia.





Rysunek 2.6: Objasnienie teorii alokacji zasobów.

Takie podejście upraszcza pojęcie podzielności uwagi. Dowiedziono też, że człowiek lepiej wykonuje czynności z podziałem uwagi, jeśli dotyczą one różnych modalności – na przykład różnych zmysłów (jednoczesne słuchanie i widzenie). Koncepcję uwagi podzielnej ze względu na modalności przedstawia rys. 2.6b [216].

Teoria alokacji zasobów też jest krytykowana. Trzeba jednak przyznać, że doskonale uzupełnia ona pozostałe teorie uwagi: filtrów oraz przeszukiwania i czujności [331]. Ponadto współgra ona z mechanizmami przeszukiwania pola percepcyjnego, takimi jak koncentracja, czy przeczutność uwagi. Dodatkowo, biorąc pod uwagę teorię alokacji, warto założyć istnienie mechanizmów, które przekazują impulsy hamujące lub wyzwalające do odpowiednich receptorów (np. mechanizm układu siatkowego [193]).

### 2.2.5. Fizjologiczne mechanizmy uwagi

Uwaga ma do dyspozycji kilka własnych, oddzielnych mechanizmów. Są to tak zwane mechanizmy fizjologiczne. Dzięki nim może ona (nieświadomie) pobierać dodatkowe informacje z otoczenia lub wydawać określone reakcje odruchowe [193].

Jednym z głównych fizjologicznych mechanizmów uwagi jest **odruch orientacyjny** [173], polegający na kierowaniu receptorów na źródło impulsu wyzwalającego. Na podstawie określonego rodzaju bodźca (z reguły niespodziewanego, niespójnego, lub tylko niepewnego), wzbudzone są sąsiednie receptory, a uwaga przekierowywana jest na element otoczenia wywołujący dany bodziec [30]. Przykładem odruchu orientacyjnego jest reakcja na własne imię w tłumie ludzi. Odruch taki wzmacnia też chwilowo wrażliwość wszystkich receptorów, nie tylko tych

odbierających aktualnie bodźce, ale również innych pozostających w stanie spoczynku. Można zatem stwierdzić, że w ten sposób organizm otwiera się na nowe stymulacje. Jednocześnie następuje ogólny wzrost aktywności organizmu – na przykład uaktywnia się jego gotowość do wysiłku fizycznego. Reakcja orientacyjna gaśnie po wystąpieniu kilku jednakowych bodźców lub po upływie określonego czasu [193].

Sokolov twierdzi, że istnieje także mechanizm przeciwny, zwany **reakcją obronną** [279], który polega on na ograniczaniu dopływu nieprzyjemnej stymulacji lub też na oddaleniu się lub 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 mechanizmu uwagi [236]. Dzięki temu informacje w korze mózgowej uzyskują charakter mocno zogniskowany. W pamięci istnieje również inne podobne zjawisko, gdy obszar kory, wykazujący zwiększoną aktywność podczas wydobywania informacji z pamięci epizodycznej, (jedynie) hamuje aktywność sąsiednich regionów [193]. Zjawisko indukcji ujemnej pomaga w *zogniskowaniu* uwagi na jednym, najważniejszym obiekcie lub zdarzeniu. Czasami może to być niepożądane, wtedy elementy świadome uwagi powinny je wyłumić.

Za przydział *zasilania* do odpowiednich części kory odpowiedzialny jest **układ siatkowaty** [75]. Zbudowany jest on z różnego typu włókien mających dwa zadania: hamowanie i pobudzanie. Dzięki niemu możemy w jednej chwili *wyłączać* słuch, zaś w następnej – wzrok. Mechanizm ten stanowi istotne wsparcie dla przerzutności uwagi.

### 2.2.6. Świadomość i jej aspekty

Mówiąc o uwadze jako oczywistym procesie poznawczym, nie można pominąć odniesienia jej do koncepcji świadomości – które to pojęcie jest szeroko stosowane, ale trudne do jednoznacznego zdefiniowania. Świadomość jest na pewno stanem psychicznym, w którym człowiek (agent, robot lub system) ‘wie’ o zachodzących zjawiskach wewnętrznych lub zewnętrznych oraz jest w stanie racjonalnie reagować na nie. Pierwszymi filozofami używającymi pojęcia świadomości byli Locke [176] i Kartezjusz [69].

Pojęcie świadomości jest bardzo mocno skorelowane z procesami uwagi [15]. Wyróżnia się także myślenie świadome [85] i myślenie nieświadome, które – jak się uważa [171] – jest w przewadze. Ogólnie, wszelkiego rodzaju podejmowane decyzje 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. Choć jednak nie jesteśmy świadomi faktu i sposobu przetwarzania, jego wyniki istotnie wpływają na podejmowane przez nas decyzje. O różnicy w świadomym lub nieświadomym dostępie do pamięci świadczy zjawisko „mam to na końcu języka”, tj. często doświadczana przez człowieka niemożność świadomego przywołania danego słowa, które (jak wiadomo) ‘nieświadomie’ jest dostępne. Ukrycie dużej części procesów pozwala nam na odciążenie świadomej części procesów poznawczych [287].

## 2.3. Pamięć – organizacja

Kolejnym złożonym procesem poznawczym, który wymaga szerszego omówienia, jest pamięć, która może być traktowana zarówno jako system/proces, a właściwie zespół procesów, jak i funkcjonalna zdolność do przechowywania elementów. W ogólności można zatem powiedzieć, że pamięć to zdolność do świadczenia usług magazynowania oraz przywoływania konkretnych oraz abstrakcyjnych informacji. Ponadto, do właściwości pamięci należy możliwość jej reorganizacji, która służy poprawianiu czasu (szybkości) dostępu do zapamiętanych elementów.

Z punktu widzenia lingwistyki, wyróżnić można wiele rodzajów pamięci: np. słownikową, twarzy, miejsc, itp. [275]. Elementy przypisywane tym rodzajom pamięci 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 [308]. 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.

### 2.3.1. Klasyczny podział pamięci

Klasyczny podział pamięci opiera się na czasie przechowywania informacji. Jednak dodatkowo można wyróżnić podziały oparte na typie przechowywanych elementów (zwłaszcza długotrwałe), zapamiętanych cech oraz innych wskaźnikach. Odnosząc się do klasycznego podziału należy wspomnieć, że jest on rozwinięciem modelu Waugha i Normana [323], który wyróżnia pamięć pierwotną i wtórną. Podział klasyczny, zaproponowany przez Atkinsona i Shiffrina, dzieli magazyn pamięciowy na [13]:

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

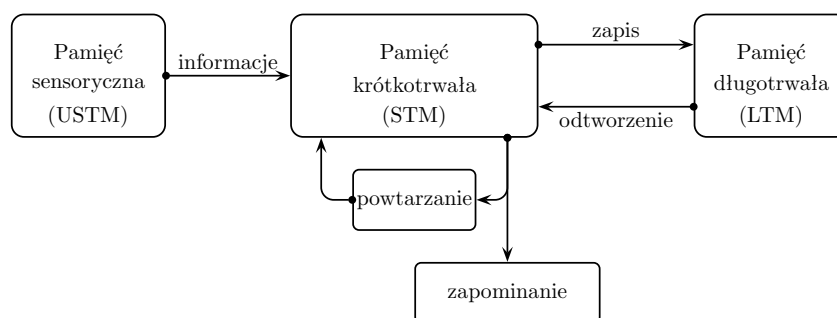
Zależności pomiędzy powyższymi magazynami obrazuje rys 2.7.

Podział Atkinsona i Shiffrina jest bardzo popularny w kontekście projektowania systemów autonomicznych oraz powszechnie wykorzystywany w wielu projektach badawczych np. [230].

### 2.3.2. Pamięć sensoryczna

Pamięć sensoryczna (ultra-krótkotrwała) używana jest do bardzo krótkiego, *zatraskowego* przechowywania bodźców (surowe, nieprzetworzone dane). Jej zadaniem jest przygotowanie bodźców do dalszego przetwarzania. Pełni zatem rolę bufora sensorycznego. Pojemność tej pamięci jest znacznie większa niż pojemność pamięci krótkotrwałej, jednak tu informacje dużo szybciej ulegają zatarciu. Maksymalny czas przechowywania dochodzi do około 500 ms [219].





Rysunek 2.7: Model pamięci według Atkinsona [13].

Istnienia pamięci sensorycznej dowodzi procedura *odtworzenia częściowego* [281]. Pamięć sensoryczna jest bardzo podatna na wszelkiego rodzaju zakłócenia zewnętrzne. Każda nowa informacja docierająca ze środowiska nadpisuje aktualną zawartość pamięci sensorycznej. Zachodzi tu zjawisko *maskowania wstecznego*, kiedy odstęp pomiędzy nowymi bodźcami jest mniejszy niż 100 ms bodźce nakładają się na siebie i zlewają w jedno [16]. Mechanizm ten wykorzystywany jest na przykład w technologii filmów 3D [204].

Pamięć ultra-krótkotrwała przypisuje się do poszczególnych zmysłów i typów zapamiętywanych elementów [220]. Wyróżniamy zatem pamięć:

- ikoniczną
- echoiczną
- smakową
- dotykową
- zapachową.

Jak to zostało wcześniej zaznaczone, pamięć sensoryczna przechowuje głównie nieprzetworzone informacje. Od tej reguły są jednak pewne wyjątki, gdyż pamięć sensoryczna może też realizować jakąś prostą formę przetwarzania informacji – jak dzieje się tak w przypadku pamięci ikonicznej i echoicznej (np. łączenie głosek w fonemy) [219].

### 2.3.3. Pamięć krótkotrwała

Pamięć krótkotrwała jest ograniczonym magazynem przechowującym dane wymagające dużej uwagi (zarówno abstrakcyjne, jak i rzeczywiste). Może ona pomieścić około  $7 \pm 2$  elementów [206] lub około 80 bitów informacji [91]. Dodatkowo, mechanizmy grupowania pozwalają na większe upakowanie informacji. Przykładowo, liczba 101001000100001000100 nie zostanie zapamiętana w pamięci krótkotrwałej, gdyż składa się ona z 21 znaków (informacja jest za duża). Jednak dokonując pogrupowania w postaci  $\{10, 100, 1000, 10000, 1000, 100\}$ , możemy ją łatwo zapamiętać (mając tylko 6 abstrakcyjnych pojęć) [287]. Strategia grupowania odgrywa olbrzymią rolę w kompresji pamięci krótkotrwałej.

Badania dowodzą, że większe skupiska danych słabiej się zapamiętuje. Jednosylabowych słów można ich zapamiętać dużo więcej niż ciągów wielosylabowych. Opóźnienia generowane

poprzez proces przetwarzania informacji dodatkowo ograniczają ową magiczną liczbę Millera do poziomu  $4 \pm 1$  [59].

Inne badania pokazują z kolei, że średni czas przechowywania (ograniczony do 15-18 sekund) może być rozszerzony poprzez specjalny system podtrzymywania informacji [193]. Szansa poprawnego odtworzenia informacji spada jednak poniżej 50% już po 6 sekundach [238].

Informacje (nawet obrazy) w pamięci krótkotrwałej najpierw są kodowane werbalnie [20], a dopiero potem zapamiętywane w tej pamięci [180]. Obiekty (słowa) o zbliżonym brzmieniu trudniej jest zapamiętać. Powtarzanie utrwala kodowanie, tj. przedłuża czas trwania informacji.

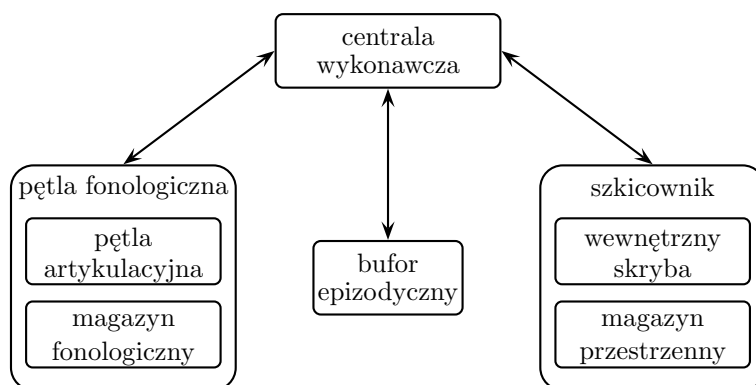
### 2.3.4. Pamięć robocza

Pojęcie pamięci roboczej (operacyjnej) powstało w wyniku ewolucji teorii pamięci krótkotrwałej. Pamięć ta, podobnie jak komputerowa pamięć o dostępie swobodnym (RAM), nie tylko przechowuje i udostępnia informacje, ale też umożliwia ich przetwarzanie [146]. Ponadto pamięć robocza ułatwia (świadome) nadzorowanie i koordynowanie innych procesów poznawczych.

Pierwszym modelem pamięci roboczej był model Baddeleya [21], ulepszony w dalszych jego pracach [18]. Składa się z czterech komponentów (rys. 2.8):

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

Pętla fonologiczna i szkicownik służą jako bufor lub tymczasowe pamięci (dźwiękowe i graficzne). Pozwalają one na zapamiętywanie elementów (jest to rola pamięci krótkotrwałej STM) oraz bieżące przetwarzanie 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 bardziej zaawansowanych informacji, składających się na przykład z wielu różnych elementów pogrupowanych w jedno zdarzenie [219].



Rysunek 2.8: Model pamięci roboczej Baddeleya [18].

Według założenia, każdy z komponentów modelu tej pamięci ma ograniczoną pojemność, zaś same komponenty są relatywnie niezależne od siebie. Nie jest możliwe zatem jednoczesne przetwarzanie przez jeden komponent dwóch różnych zadań, czego dowiódł Robbins [256] w badaniach nad równoległym wykonywaniem zadań (np. jednoczesnym podejmowaniem decyzji szachowej oraz innego rozwiązywaniem innego zadania przez ten komponent).

Pętla fonologiczna, analogicznie jak w modelu Atkinsona (rys. 2.7), 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 [57]. Aby podtrzymać je dłużej, należy je wewnętrznie ‘bezgłośnie’ powtarzać. Dodatkowo, eliminując zjawisko wpływu długości słów na pętlę fonologiczną, Baddeley stwierdził, że przetwarzanie słów (pisanych, z uwzględnieniem ich długości) należy do szkicownika wzrokowo-przestrzennego. Oczywiście 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 wyróżnia się mechanizm aktywny, odpowiedzialny za formułowanie wypowiedzianych zdań, oraz pasywny, mający związek z przetwarzaniem informacji akustycznej.

Analizując szkicownik podobnie jak pętlę fonologiczną, wyróżnia się podręczny magazyn wzrokowy oraz tzw. *wewnętrzny skrybę*. Magazyn odpowiada za przechowywanie i przetwarzanie informacji pojawiających się w wyniku procesu postrzegania, natomiast skryba stanowi pewnego rodzaju medium - wyobrażenie, dzięki której można manipulować w przestrzeni przywołanym obiektem, planować jego ruchy oraz rozwiązywać inne zadania przestrzenne [86].

Centrala wykonawcza, czyli najważniejszy element tej teorii, realizuje następujące zadania: przetwarza bieżącą informację, koordynuje bufor pamięciowe oraz nadzoruje bieżące operacje. Charakter centrali jest do pewnego stopnia dyskusyjny – albowiem można ją także zaliczyć do systemów uwagi. Według Baddeleya [17] centrala poprzez nadzór nad bieżącymi operacjami wypełnia następujące zadania:

- przełączanie pomiędzy aktualnie wdrażanymi planami (akcjami)
- przydzielanie aktywności w zagadnieniach wymagających współpracy systemu fonologicznego i wizualnego
- wybór właściwych bodźców (zadanie uwagi selektywnej)
- czasowa aktywacja zapisu i odczytu LTM.

Podjęciem przeciwstawnym do modelu Baddeleya jest koncepcja integracji pamięci roboczej z pamięcią długotrwałą [58]. W podejściu tym, tj. według teorii aktywacji, informacje zawarte w pamięci długotrwałej posiadają różny stopień aktywacji. Te w pełni aktywowane (powyżej określonego poziomu) są udostępniane świadomości. Oznacza to, że bodziec może jednocześnie aktywować różne obszary pamięci, które dzięki temu mogą odpowiednio zaistnieć w świadomości [59]. Z kolei teoria długoterminowej pamięci roboczej Ericssona i Kintscha wyodrębniła część pamięci roboczej, zarówno w LTM, jak i STM, dzięki czemu komunikacja pomiędzy tymi pamięciami jest ułatwiona.



### 2.3.5. Pamięć długotrwała

Pamięć długotrwała jest *organem* pamięciowym w potocznym tego słowa znaczeniu. Służy ona przechowywaniu samych elementów (konkretnych lub bardziej abstrakcyjnych), powiązań między nimi, definicji, zdarzeń uporządkowanych czasem oraz schematów wykonawczych (operacyjnych). Czas przechowywania jest praktycznie nieograniczony (pominąwszy wpływ wieku osobnika) [23]. Pamięć długotrwała jest często utożsamiana z posiadaną 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 [219] wiedza „to forma trwałej reprezentacji rzeczywistości, mająca postać uporządkowanej i wzajemnie powiązanej struktury informacji, kodowanej w pamięci długotrwałej”. W kontekście psychologii kognitywnej, przechowywana w pamięci długotrwałej wiedza, pozwala na rozumienie świata: identyfikację otoczenia (*to jest jabłko*), wyciąganie wniosków (*jabłko jest owocem*) oraz opracowywanie sposobu działania (*jabłko należy podnieść do ust i ugryźć*).

Biorąc pod uwagę powyższe definicje, wiedzę można podzielić na deklaratywną oraz proceduralną [282]. Podział ten został wyprowadzony na podstawie filozoficznego podziału na *wiedzę, że* oraz *wiedzę, jak* [264]. Wiedza deklaratywna mówi o tym, czym dany obiekt jest, jakie ma zależności, do czego przynależy, etc. Z kolei wiedza proceduralna ułatwia wykonywanie czynności związanych z obiektami [193]. Ze względu na występowanie rodzajów pamięci podobnych do proceduralnej, w późniejszych pracach pojęcie to zostało dychotomicznie zastąpione przez pamięć niedeklaratywną.

**Pamięć deklaratywna** zawiera reprezentacje obiektów (od rzeczywistych do całkowicie abstrakcyjnych), zapisanych zarówno w sposób lingwistyczny, jak i graficzny/wizualny. W większości są to obiekty wcześniej widziane (rzeczywiste) lub wywnioskowane na podstawie mechanizmu generalizacji (abstrakcyjne). Pamięć deklaratywna zawiera także relacje pomiędzy obiektami, z uwzględnieniem dwóch szczególnych: dziedziczenia (‘pies to zwierzę’) i reprezentacji (‘Burek to pies’). Wydobycie informacji deklaratywnych może przysparzać trudności (ze względu na informacje kontekstowe, emocje, małą częstość użycia danej informacji, etc.), jednak wydobyta już informacja jest w pełni dostępna i opisywalna.

**Pamięć proceduralna lub niedeklaratywna** przechowuje przede wszystkim reakcje na określone bodźce [193]. Reakcja taka zapisywana jest jako następujące po sobie sekwencje ruchów w odniesieniu do danego obiektu, tworząc pary bodziec – reakcja (*stimulus – reaction*, S-R). Sposób zapisu oznacza brak możliwości odtwarzania określonej reakcji bez odpowiedniego kontekstu (np. aby grać na gitarze, potrzebny jest bodziec w postaci rzeczywistej lub wyobrażonej gitary). Proces wydobywania informacji z pamięci niedeklaratywnej jest automatyczny; po wykonaniu jednej części reakcji, dostępna staje się jej kolejna partia. Można tu wspomnieć, że omawiane zjawisko zostało wykorzystane przy tworzeniu konkretnego urządzenia do automatycznej nauki gry na pianinie [122].





### Format pamięci

Wiedzę nabywaną przez lata można również sklasyfikować ze względu na to, czy została zdobyta poprzez własne doświadczenie, poprzez naukę, czytanie lub przyjmowanie czyichś opinii. Wiedzę taką można zapisać w pamięci epizodycznej lub semantycznej [193]. Podział ten wprowadził Tulving na podstawie rozróżnienia czasowego i przestrzennego oraz wiedzy dotyczącej ogółu informacji [307].

**Pamięć epizodyczna** posiada uporządkowanie względem osi czasu. Źródłem informacji zbieranych w pamięci epizodycznej są doznania osoby, dotyczące środowiska zewnętrznego, innych osób, obiektów, etc. Zachowane zdarzenia mogą mieć<sup>6</sup> nadany znak emocjonalny oraz określoną ważność [307]. Według Nęcki pamięć epizodyczna ma szereg następujących cech odróżniających ją od pamięci semantycznej [219], a mianowicie zdarzenia:

- są datowane
- wiążą treść z ich źródłem<sup>7</sup>
- uwzględniają związki przyczynowo-skutkowe
- mają charakter subiektywny
- obejmują świadomość autooetyczną, tj. odczuwanie doświadczeń ‘na nowo’.

Zdarzenia są jeszcze łatwiej zapamiętywane przez człowieka niż elementy abstrakcyjne [234]. Spowodowane jest to ogólną przewagą znaczenia obrazów (konkretów) nad słowami (abstrakcjami). Informację o zdarzeniu można zapisać w dogodnej postaci sieci hierarchicznej [261].

**Pamięć semantyczna** pozwala na głębsze rozumienie faktów i zjawisk oraz ich łatwiejsze rozpoznawanie. Przedstawia ona pojęcia (obiekty) symbolicznie i tworzy strukturę ich relacji. Z tego względu jest ona zorganizowana pojęciowo i uporządkowana wraz ze wzrastającym stopniem abstrakcji. Wydobycie wiedzy z pamięci semantycznej następuje z uwzględnieniem rozwiniętej sieci relacji. W ten sposób wiedza może się odnosić do różnych aspektów danego obiektu [86]. Na elementach pamięci semantycznej można prowadzić operację wnioskowania logicznego. Dzięki temu na podstawie ustalonych fundamentów wiedza semantyczna może podlegać kontrolowanemu rozwojowi (można dodawać nowe relacje, scalać lub uogólniać podobne elementy, etc.), z wykorzystaniem wewnętrznych procesów myślenia.

Koncepcja podziału pamięci długotrwałej od dawna była dyskutowana i rozwijana [309]. Po uwzględnieniu pamięci proceduralnej (omówionej powyżej) wszystkie pamięci zostały uporządkowane według ewolucji i samodzielności (rys. 2.9). Każdy z systemów wyżej stojących wymaga do swojego działania systemów będących niżej. Zatem aby korzystać z pamięci semantycznej, należy posiadać procedurę<sup>8</sup> dostępu do niej. Podobnie w odniesieniu do pamięci epizodycznej – aby ‘wspomnieć’ (odczytać) zdarzenie, trzeba znać zarówno sposób odczytu, jak i definicje<sup>9</sup> obiektów w nim występujących.

Analizując zależności pomiędzy pamięciami, należy zwrócić uwagę, że pamięć proceduralna jest całkowicie autonomiczna i działa na zasadzie odruchów (np. odruch ‘sięgania do pamięci’

<sup>6</sup>W ten sposób na przykład zdarzenia traumatyczne są mniej dostępne [317].

<sup>7</sup>Tu mieści się także pamięć autobiograficzna.

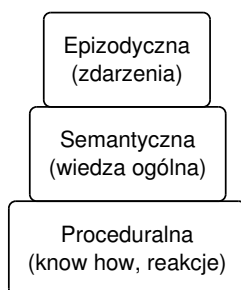
<sup>8</sup>Oczywiście w pamięci proceduralnej.

<sup>9</sup>Znajdujące się w pamięci semantycznej.



czy odruch prowadzenia samochodu) [193]. Podążając tą drogą zauważmy, że pamięć semantyczna ma silnie ‘świadomy’ charakter ze względu na możliwość dostępu do usystematyzowanych informacji tłumaczących sens działań oraz pojęć lub obiektów. Natomiast pamięć epizodyczna wyraża też ‘samoświadomość’ osoby (agenta lub robota), gdyż udostępniona jest historia poprzednich wydarzeń.

Kolejność ewolucyjna [309], z którą związany jest podział i zależności pomiędzy pamięciami, była z różnych stron krytykowana. Niektórzy badacze twierdzą, że pamięć epizodyczna nie musi być nadrzędna względem pamięci semantycznej. Kwestionowana czasami jest definicja pamięci proceduralnej, np. biorąc pod uwagę możliwości opisu matematycznego [241]. Zmodyfikowane<sup>10</sup> procedury z kolei oddziałują [193] na warstwy położone wyżej w hierarchii pokazanej na rys. 2.9.



Rysunek 2.9: Rodzaje pamięci długotrwałej [309], na podstawie [240]. Niżej położona pamięć (np. proceduralna) wykorzystywana jest przez wyższe rodzaje pamięci.

### Jawność pamięci

Ze względu na treść przechowywanej informacji możemy wyróżnić [213]:

- 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** (dopowiadania, rozpoznawania i uzupełniania braków), a także zapamiętywanie procedur [310]. Fenomenem, dotyczącym pamięci ukrytej jest czytanie słów z przekreślonymi „zankami”. Pamięć ukryta dominuje zarówno w młodym, jak i bardzo podeszłym wieku, kiedy pamięć jawna staje się dość uboga [50].

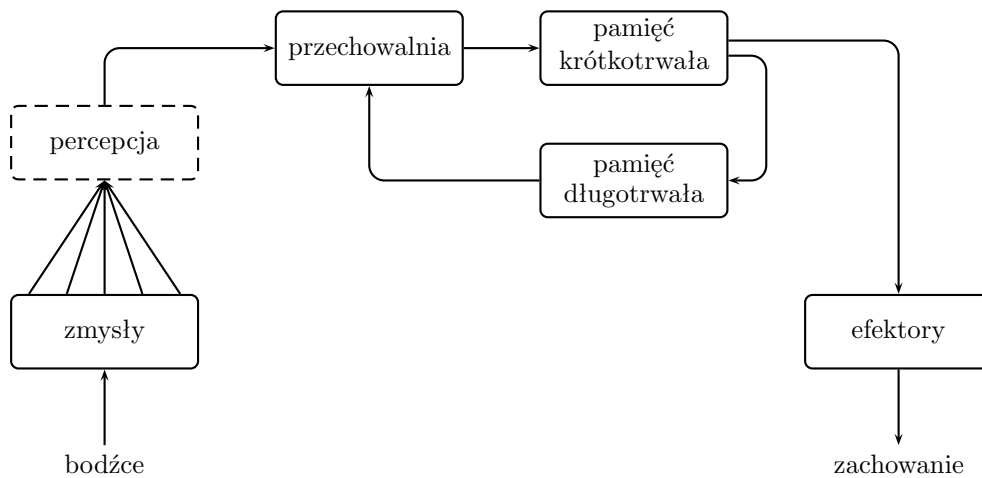
Pamięć ukryta, a w szczególności jej proceduralny aspekt, objawia się mimowolnie – bez świadomości. Z tej funkcjonalności korzystają codziennie wykonywane zadania, jak np. prowadzenie samochodu, pisanie na klawiaturze, itp. [101], kiedy nie ma potrzeby świadomego przywoływania elementów pamięciowych.

Wydaje się, że oba rodzaje pamięci dotyczą odrębnych aspektów umysłu. Pamięć ukryta nie rozważa aspektów dotyczących pamięci jawnej. Jednak założenie, że pamięć jawna i ukryta są ściśle wyodrębnione, jest podważane. Przykładowo, w zintegrowanym modelu *dyslokacji procesów* [287] każda opracowana odpowiedź systemu zależy tak od pamięci jawnej, jak i ukrytej.

<sup>10</sup>Poprzez oddziaływanie pamięci semantycznej lub epizodycznej.

### 2.3.6. Blokowe modele pamięci

Istnieje wiele blokowych modeli pamięci (jako magazynu). Wszystkie one wywodzą się z modelu klasycznego. Przykładem jest model Lehrla i Fishera [169], według którego procesy przetwarzania i integracji informacji przynależą do bloku zwanego ‘przechowalnią’ (ang. *accommodator*). Blok ten połączony jest bezpośrednio z pamięcią długotrwałą i może z niej korzystać. Innymi słowy, przetwarzanie informacji odbywa się z dostępem do całokształtu wiedzy zawartej w LTM, co stanowi podstawową ideę tego modelu [169], zobrazowanego na rys. 2.10.



Rysunek 2.10: Model pamięci Lehrla i Fishera [169].

Do głównych wyników pracy Lehrla i Fishera należą dane o prędkości przetwarzania danych pomiędzy poszczególnymi etapami *pamiętania*: Kanały zmysłowe odbierają bodźce z prędkością  $10^{10}$  bit/sec, przesłanie danych sensorycznych do przechowalni ma prędkość  $10^7$  bit/sec, podczas gdy dane z przechowalni przesyłane do STM osiągają prędkość ok. 15 bit/sec, zaś zapamiętywanie w pamięci długotrwałej odbywa się z prędkością 0.01 – 1 bit/sec [169].

Według Jamesa [136], moduły krótkotrwałej i długotrwałej są rozdzielne, co skutkuje efektem pierwszeństwa i ‘świeżości’. Zakładając istnienie długiej listy obiektów oraz ograniczoną pamięć krótkotrwałej, najlepiej zapamiętywane są elementy z początku listy (pierwszeństwo) oraz końca listy (świeżość). Wspomniane poprzednio zjawisko ‘końca języka’ również tu znajduje swoje wyjaśnienie (w odrębności systemów pamięci krótkotrwałej i długotrwałej) [219].

Blokowe modele pamięci poddawane są nieustannej krytyce. Mimo wielu eksperymentów dowodzących ich poprawności, pojawiają się również takie, które to podważają. Jeden z argumentów zaprzeczających modelom blokowym stanowią różne rozmiary pamięci (krótko- i długotermonowej) oraz różne prędkości zapisu/odczytu uzyskiwane eksperymentalnie [287]. Kolejnym argumentem jest proces mimowolnego uczenia, który w przypadku modeli blokowych raczej nie powinien zachodzić [219] – z taką argumentacją związane są modele dynamiczne pamięci [226]. Również niższego rzędu kodowanie (za pomocą wielu systemów) nie wspiera koncepcji modeli blokowych [19]. Najważniejszym jednak argumentem kwestionującym modele blokowe jest ich

odrębność od innych procesów poznawczych [219]. W odróżnieniu od systemów uwagi, które pojawiają się praktycznie na każdym etapie spostrzegania, systemy pamięci z modelami blokowymi są zasadniczo odizolowane od reszty. Trudno wtedy (w oderwaniu od pamięci) mówić na przykład o selekcji informacji, czy kodowaniu [60].

### 2.3.7. Proceduralne modele pamięci

Komplementarną klasą opisu pamięci są modele proceduralne. Biorą one pod uwagę m.in. wszystkie aspekty, z powodu których krytykuje się modele blokowe. Za ich pomocą można objaśnić mechanizmy pamięciowe bez odwoływania się do metafory magazynów. Wśród modeli proceduralnych wyróżnia się model Rumelharta, Lindseya i Normana [261], jako pierwszą próbę proceduralnego modelowania pamięci, oraz bardziej popularną i rozbudowaną – teorię *poziomów przetwarzania informacji*.

**Teoria poziomów przetwarzania informacji**, zapoczątkowana przez Craika i Lockharta [60], zakłada, że wszystkie informacje przetwarzane są na tej samej drodze, jednak z różnym natężeniem i głębokością. Na bardziej zagłębionych poziomach złożoność przetwarzania jest większa. Nowa informacja docierająca do systemu jest tym bardziej zapamiętywana, im głębiej dociera<sup>11</sup>. Zagłębianie się w przetwarzaniu oznacza przejście przez kolejne warstwy i wydłużenie ścieżki przetwarzania<sup>12</sup>. W takiej sytuacji przypominanie działa na zasadzie skojarzeniowej – wystarczy trafić na jakikolwiek odcinek ścieżki dotyczący tej informacji, którą chcemy wydobyć. Umożliwia to też szeroko pojęty *indywidualizm poznawczy*, czego nie jest w stanie wyjaśnić teoria modeli blokowych [215].

Podstawowa wersja teorii poziomów przetwarzania informacji zakłada na poziomie:

- pierwszym – sensoryczną analizę danych z prostymi porównaniami i nietrwałymi ścieżkami pamięciowymi
- drugim – semantyczną interpretację sygnału z rozpoznawaniem znaczenia słów i całych zdań oraz rozpoznawaniem i rozróżnianiem prostych obiektów
- trzecim – przetwarzanie z użyciem wiedzy, tj. rozpoznawaniem i rozróżnianiem złożonych obiektów, dokonywaniem skojarzeń i analogii semantycznych oraz reorganizacją struktury pamięci
- ... (kolejnym) – rozwijanie sieci skojarzeń, pogłębianie ścieżki pamięci (zapamiętywanie) oraz zaawansowaną reorganizację pamięci.

Ogólnie, w działaniach pamięciowych wyróżniają się dwa mechanizmy: powtarzanie podtrzymujące oraz przetwarzanie pogłębiającego. Pierwszy mechanizm nie prowadzi do głębszego poziomu przetwarzania, a jedynie utrwała znaną ścieżkę pamięciową. Mechanizm drugi, wykorzystując rozmaite operacje na danej informacji, tworzy nowe połączenia (skojarzeniowe). Przy takim pogłębianiu (pamięci/wiedzy) system pamięci pracuje nad elaboracją całości materiału oraz poszczególnych relacji. W ten sposób im głębiej przetworzona jest informacja, tym bardziej podatna jest ona na porządkowanie i reorganizację (por. Klein i Kihlstorm [147]).

<sup>11</sup>W teorii głębokość przetwarzania może być nieskończona – np. prze nieustanne powtarzanie.

<sup>12</sup>Co skutkuje głębszym zapamiętaniem analizowanego zjawiska.

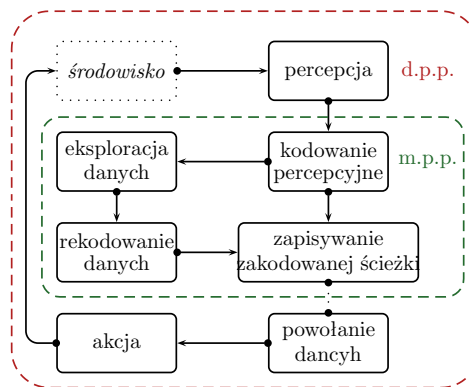
## 2.4. Pamięć – procesy

Pamięć stanowi zbiór procesów myślowych, do których należy [287]:

- zapamiętywanie
- przechowywanie
- odtwarzanie/przywołanie.

Wśród powyższych procesów przechowywanie ma najprostszą postać, zaś pozostałe procesy są bardziej złożone. Do powyższego zestawu należą też inne ważne, złożone operacje, takie jak na przykład dodawanie nowych aspektów do posiadanej wiedzy (tzw. aktualizacja kontekstu). Już choćby z tego wynika, że powyższa lista procesów pamięciowych jest niekompletna. Tulving [306] dostrzegł możliwość podania bardziej szczegółowych operacji. Przykładowo, w trakcie procesu kodowania informacji potrzebne są też inne pamięciowe odniesienia do niej (uzyskiwane w wyniku *eksploracji informacji*). Ponadto, w zjawisku rekodowania informacji wyodrębnić można: wyszukiwanie informacji, jej modyfikację oraz ponowne zapisywanie. W podobny sposób można spojrzeć na system przywoływania informacji, gdzie wyróżniają się: przeszukiwanie oraz rozpoznawanie [177], które są dość elementarne z punktu widzenia implementacji/IT. Warto podkreślić, że zaawansowane techniki zapamiętywania, takie jak *mind-mapy*, czy mnemotechniki, wymagają znacznie bardziej złożonej obróbki niż standardowe zapamiętanie. Co z kolei może być podstawą do wyróżnienia kolejnych (sub-)procesów [219].

W modelu Tulvinga uwzględniane są tzw. pętle pamięciowe [306], które są widoczne na rys 2.11. Wśród nich znajduje się mała i duża pętla pamięciowa. Mała pętla związana jest z procesami percepcji i zapamiętywania informacji, a także z ich analizą (w kontekście posiadanej wiedzy). Natomiast w ramach dużej pętli pamięciowej dokonuje się analizy dostępnych informacji oraz wewnętrznej dedukcji (kontekstów).



Rysunek 2.11: Fazy procesów pamięciowych.

### 2.4.1. Zapamiętywanie

Proces zapamiętywania odnosi się tylko do pamięci długotrwałej [193]. W przypadku pamięci sensorycznej mowa jest raczej o rejestrowaniu zakodowanych bodźców (w sposób uzależniony od

zmysłów), zaś w przypadku pamięci krótkotrwałej – ze względu na jej ograniczoność – nie należy mówić o zapamiętywaniu, gdyż mamy tu do czynienia co najwyżej z powtarzaniem materiału. Na zapamiętywanie ma oczywiście wpływ forma materiału informacyjnego. Teorie dotyczące kodowania informacji zostały przedstawione wcześniej w sekcji 2.1.2.

W przypadku zapamiętywania obiektów w postaci szeregu znaków warto mieć na uwadze prawo Foucaulta:

$$t = k \cdot l^2 \quad (2.1)$$

gdzie  $t$  jest czasem uczenia się jednego szeregu,  $l$  jest długością szeregu pojedynczych elementów do zapamiętania, zaś  $k$  jest parametrem zależnym od danej jednostki lub osobnika [93]. Prawo to wskazuje na kwadratowy związek pomiędzy długością zapamiętywanej listy a czasem zapamiętywania takiego elementu.

Przy zapamiętywaniu należy też brać pod uwagę takie czynniki [193, 219], jak:

- liczba powtórzeń materiału
- rozmiar materiału – prawo Foucaulta (2.1)
- rozłożenie powtórzeń w czasie, zarówno w kontekście całej listy, jak i ekspozycji pojedynczych elementów
- organizacja materiału, a w szczególności efekt *grupowania kategoryjnego*, przypisujący do zapamiętywanej listy strukturę wyższego rzędu (kategorie)
- opracowanie materiału – dodawanie nowych informacji do wcześniej zapamiętanych
- sensowność materiału
- zgodność kontekstu zapamiętywania i odtworzenia
- pobudzenie emocjonalne
- efekt specyficzności kodowania.

Wyżej wymienione czynniki mają wpływ na szybkość zapamiętywania informacji i dotyczą zarówno nowych, nieznanych wcześniej faktów, jak i modyfikacji już zapamiętanych informacji.

Z reguły wiedza wcześniej zdobyta pomaga w procesie zapamiętywania informacji, czy to poprzez kojarzenie, czy zastosowanie dodatkowych procedur do zapamiętywania. Jednak zdarza się, że wcześniejsza wiedza przeszkadza przy zapamiętywaniu. Zjawisko to jest powszechne np. w przypadku dobrze wyćwiczonych procedur. Aby zmienić dobrze znaną i często używaną sekwencję, czyli po prostu zmodyfikować używaną procedurę, należy włożyć dużo więcej wysiłku niż w przypadku wyuczania się nowej informacji (obiektu, procedury). Zjawisko to nazywa się *interferencją proaktywną* [313].

Z kolei analizując zjawisko zapamiętywania z punktu widzenia neurologii, można zauważyć, że zapamiętywanie związane jest z trwałą zmianą w komórkach nerwowych mózgu. Badania przeprowadzone przez Stevens [288] ukazały, że wstrząs elektryczny zaaplikowany w krótkim czasie po nauczaniu się nowej wiedzy, usuwa ją. W przypadku aplikowania takiego wstrząsu po dłuższym czasie, wiedzy tej już nie tracimy. Biologiczny proces zapamiętywania nazywany jest *konsolidacją śladu pamięciowego* [219].

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

- metodę obrazów interaktywnych (do sekwencji obiektów układa się jakąś historyjkę)





- kategoryzację
- system słów-wieszaków (dodawanie do znanych historii/sekwencji nowego kontekstu)
- metodę miejsc (którym dopisuje się kontekst)
- mind-mapy (schematy, których pseudo-blokom przypisuje się zapamiętywane obiekty).

### 2.4.2. Przechowywanie

Wbrew powszechnej opinii, przechowywanie informacji nie jest procesem statycznym. W zależności od typu pamięci, proces przechowywania może wyglądać bardzo różnie [193].

W pamięci krótkotrwałej informacje przechowywane są dzięki operacji powtarzania. Może to być związane zarówno z zamkniętymi obwodami neuronowymi, jak i wewnętrznymi, świadomymi i werbalizowalnymi powtórzeniami [238]. Koncepcja zamkniętych obwodów neuronowych przypomina zachowaniem sztuczną neuronową sieć Hopfielda [118]. W obu przypadkach nowa informacja przepływa przez wszystkie neurony, dopóki sieć się do niej nie dostosuje. Wtedy informacja jest albo zapominana, albo zapamiętywana w pamięci długotrwałej – w procesie konsolidacji informacji. Przy czym zaburzenie tego procesu uniemożliwia zapis (w pamięci długotrwałej). Z kolei wielokrotne (świadome) powtarzanie materiału pozwala na wydłużenie czasu przechowywania informacji w pamięci krótkotrwałej. Według Craika i Lockharta [60] istnieją dwie opcje powtarzania materiału: nastawienie na utrzymanie i na strukturyzację.

Do przechowywania informacji w pamięci długotrwałej (LTM) służą różne mechanizmy pamięciowe (w zależności od jej typu). Inaczej przechowywane są schematy poznawcze, a inaczej zdarzenia w pamięci epizodycznej. Proces przechowywania jest nierozzerwalnie związany z operacjami zapamiętywania i zmiany nowych treści pamięciowych. Informacje te przed wprowadzeniem do pamięci LTM muszą być dopasowane do tkwiących już w niej struktur, tj. podlegać prostej *asymilacji* [287], bez modyfikacji przechowywanych informacji. Za modyfikację aktualnych schematów poznawczych odpowiedzialny jest odrębny mechanizm *akomodacji*: Na przykład „...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*”<sup>13</sup>. Przy zapamiętywaniu nowych treści, albo adekwatnie modyfikowane są zapamiętane informacje, albo tworzone nowe struktury poznawcze. Pamięć długotrwała przechowuje informacje w sposób dynamiczny, dopasowując je do nowych, napływających treści. Stąd wynika owo zjawisko *interferencji retroaktywnej* [313], które polega na ‘nakładaniu się’ materiału wynikającego z procesu uczenia. Ucząc się dwóch partii materiału w sekwencji, partia uczona później jest dużo bardziej ‘wyrazista’ niż materiał wcześniejszy. Zjawisko to występuje tym silniej, im większe jest podobieństwo między obiema partiami materiału [218].

Nie można jednoznacznie stwierdzić, czy zmiany zapamiętanej informacji zachodzą pod wpływem czasu, czy określonych procedur dostosowywania się (do nowej sytuacji) [193]. Z procesem przechowywania informacji powiązany jest też proces zapominania (który jest skądinąd naturalny i użyteczny). Istnieje kilka teorii dotyczących zapominania. Główne nurty w psychologii mówią o zanikaniu lub nadpisywaniu śladu pamięciowego informacji, bądź powstawaniu

<sup>13</sup>Wikipedia.org

innej niemożliwości wydobycia informacji z pamięci. Koncepcja zaniku śladu pamięciowego, pochodząca od Ebbinghausa, tłumaczy zanik informacji brakiem jej wywołania lub zbyt długim czasem pomiędzy jej kolejnymi wywołaniami [80]. Stąd wniosek, że informacja nieużywana, nieprzypominana wystarczająco często, może być utracona. Z kolei według koncepcji Tulvinga, informacja staje się nieosiągalna<sup>14</sup> wskutek utraty kontekstowego dostępu do niej [305].

Prędkość zapominania informacji zależy też od rodzaju pamięci. Eksperymenty dotyczące zapominania, w pamięci deklaratywnej [80], pamięci semantycznej [22], oraz pamięci epizodycznej [175], dowiodły, że krzywa zapominania przyjmuje kształt eksponencjalny<sup>15</sup>. Ponadto, istnieje silna korelacja pomiędzy istotnością i liczbą przypomnień zapamiętywanej informacji a tempem jej zapominania [24].

### 2.4.3. Przywoływanie

Wśród mechanizmów przywoływania wyróżnia się dwa mechanizmy: odtwarzanie za pomocą *przypominania* oraz *rozpoznawania* [193]. W pierwszym przypadku chodzi o znalezienie konkretnej, sprecyzowanej informacji w pamięci. Natomiast w drugim przypadku (rozpoznawania) należy ustalić prawidłową odpowiedź na pytanie z określonego zbioru odpowiedzi. Pomiedzy tymi mechanizmami zachodzi szereg różnic.

Aktualny stan badań w zakresie różnic pomiędzy przypominaniem a rozpoznawaniem łatwo można wyrazić za pomocą dwóch przeciwstawnych teorii. Teoria zaproponowana przez Watkinisa i Gardinera [320] mówi o tym, że proces przypominania składa się z dwóch faz. Pierwsza faza odpowiada za przeszukiwanie na podstawie zewnętrznych wskazówek, druga zaś polega na rozpoznaniu, czy wyszukana informacja jest właściwa. Natomiast rozpoznawanie obejmuje tylko jedną fazę. Teoria Tulvinga [306] proponuje dwa jednofazowe procesy. Różnica pomiędzy nimi dotyczy liczby wskazówek, na podstawie których przeprowadzane jest przypominanie (mała liczba wskazówek zewnętrznych, z dominacją wskazówek pamięciowych) oraz rozpoznawanie (duża liczba wskazówek zewnętrznych, zwykle więcej niż potrzeba). Ponadto teoria Tulvinga potrafi objasnić 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. Wskazówki wewnętrzne zaś dotyczą kontekstu, wypowiedzi, oraz dodatkowych informacji, uzyskiwanych na przykład poprzez uwzględnienie emocji i nastroju jednostki/agenta (w procesie *top-down*). Ucros dowiódł [312] bowiem, że emocje i nastrój także wpływają na prędkość procesu przywoływania.

## 2.5. Myślenie i rozumowanie

„Myślenie to proces łączenia elementów poznawczej reprezentacji świata w dłuższe ciągi. Tak utworzony ciąg zastępuje realne, obserwowalne zachowanie w rzeczywistym świecie fizycznym lub społecznym, uwalniając od konieczności ponoszenia natychmiastowych skutków działań”

<sup>14</sup>Przywołać tu też można poprzednio opisywane zjawisko *końca języka*.

<sup>15</sup>Powszechnie stosowany w nauce oraz inżynierii sygnałów i systemów.





[219] – taka definicja jest jednak bardzo wieloznaczna. Można w niej znaleźć kontekst dotyczący elementów wyobraźni, procesu wyobrażania, modelowania rzeczywistości, abstrahowania, tworzenia pojęć, formułowania sądów, wnioskowania, rozumowania, rozwiązywania problemów, podejmowania decyzji, czy planowania. W zależności od preferencji, procesy te bywają rozdzielane i osobno omawiane, albo łączone i omawiane jako całościowy proces myślenia. W niniejszej pracy, w odniesieniu do procesu myślenia uwzględniamy tylko jego następujące składowe: rozwiązywanie problemów, podejmowanie decyzji, rozumowanie i planowanie.

Ogólnie myślenie polega na manipulowaniu wiedzą w zwykłym ludzkim systemie poznawczym. W głównym kontekście źródłowym i docelowym myślenie dotyczy zachowania jednostki w środowisku zewnętrznym. Myślenie jest ukierunkowane przede wszystkim na rozwiązywanie problemów, z jakimi dana jednostka się spotyka. Podstawową funkcją myślenia jest próba wirtualnego ‘zastępowania jawnego zachowania’ [290], czyli modelowania i symulacji mechanizmów świata zewnętrznego (np. gry w szachy).

Choć myślenie uznawane jest potocznie za zjawisko świadome i kontrolowane, świadomość myślenia jest jednak dość kontrowersyjna. Pomimo świadomości efektów, człowiek nie jest w zasadzie świadomy przebiegu procesu myślenia [193]. Z kolei kontrola myślenia może być zaprzeczana przez pojawienie się tak zwanych myśli intruzyjnych, czyli wtrąceń [324].

Myślenie można podzielić podobnie jak inne procesy poznawcze. Podstawowym podejściem jest podział według Berlyne’a, który wyróżnia myślenie autystyczne oraz realistyczne [31].

Myślenie **realistyczne**, ukierunkowane jest na jakikolwiek cel, ograniczone regułami rzeczywistości oraz związane z pamięcią długotrwałą agenta. Z kolei myślenie **autystyczne**, które nie posiada żadnego konkretnego celu, daje efekt w postaci rozwoju zdolności myślenia, restrukturyzacji pamięci, weryfikacji dostarczonych wcześniej informacji (w dużej ilości), oraz zaspokojenia innych potrzeb [219].

W myśleniu realistycznym wyróżnia się myślenie produktywne i reproduktywne [272]. Myślenie reproduktywne polega na odtwarzaniu wcześniej poznanych 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 pomimo podobieństwa do myślenia produktywnego, wymaga spełnienia dodatkowych kryteriów [217] – aby myślenie mogło być uznane za twórcze, potrzebna jest pozytywna ocena jego społecznych/wspólnotowych efektów, na przykład pod względem estetycznym, poznawczym, czy inżynierskim. Myślenie twórcze umożliwia też integrację pozostałych rodzajów myślenia. Istnieje także myślenie krytyczne, które dopełnia myślenie realistyczne w kategoriach praktycznej oceny skutków aktywności człowieka, zwierzęcia lub innego podmiotu, czy formy przebiegu takiej aktywności (np. toku rozumowania, testu sprawnościowego, etc.).

Poza różnymi podziałami analizowanych procesów myślowych, powstało też wiele teorii dotyczących określonych odmian zjawiska ‘klasycznego’ myślenia. Wśród nich można wyróżnić teorie myślenia oparte na behawioryzmie (bodziec-reakcja) oraz na podejściu informacyjnym (teoria Barona) [219]. Do takiego poszerzenia ‘myślowego spektrum’ wprowadza się rozumowanie dedukcyjne, indukcyjne, oraz ich dalsze pochodne, takie jak wnioskowanie logiczne, warunkowe, sylogistyczne, rozmyte. Całościowy kształt tych procesów, nazywany *poszerzonym myśleniem*,

obejmuje zarówno myślenie produktywne, jak i reproduktywne – oczywiście w zakresie szerszym niż klasyczny (głównie dzięki sformalizowanym procesom rozumowania).

### 2.5.1. Teoria bodziec-reakcja

W automatyce [7] od dawna stosowane było behawiorystyczne podejście do myślenia, wywodzone z kolei z neobehawiorystycznego trendu w psychologii [31]. Teoria *bodziec-reakcja* polega na postępowaniu według zapamiętanych relacji pomiędzy bodźcami a reakcjami. Możliwość symbolicznego traktowania zarówno bodźców, jak i reakcji ułatwia taki schemat postępowania. Zajście lub przywołanie (uświadomienie sobie) jakiegoś zdarzenia (z pamięci), może bezpośrednio wywołać związany z nim wewnętrzny bodziec emocjonalny oraz pośrednio lub bezpośrednio – zewnętrzną reakcję/interakcję ze środowiskiem. W symbolicznych związkach typu bodziec-reakcja wejściem jest rzeczywisty bodziec, a wyjściem – konkretna reakcja<sup>16</sup>.

### 2.5.2. Teoria Barona

Podejście oparte na przetwarzaniu informacji dotyczy konkretnie koncepcji podejmowania decyzji. Według założeń Barona [25], w procesie takiego myślenia wyróżnia się operacje wyszukiwania i wnioskowania (analogia do myślenia reproduktywnego i produktywnego), które mogą dotyczyć różnorodnych obiektów, przypisywane przykładowo do następujących *klas*:

- *możliwości* – uwzględniających potencjalne wersje rozwiązania problemu<sup>17</sup>
- *dowodów* – dotyczących uzasadnienia szansy osiągnięcia celu
- *celów* – specyfikowanych poprzez podanie kryteriów oceny możliwości rozwiązań.

Sam proces myślenia polega w tym przypadku na znalezieniu (wyszukiwaniu lub wnioskowaniu) odpowiedniego rozwiązania, które spełni określony cel (według dowodów potwierdzających możliwość osiągnięcia jednego lub wielu celów). Proces ten jest adaptacyjny (wariantny), a nie – jednoznacznie zorganizowany. W dowolnym momencie mogą bowiem zostać dodane nowe cele, nowe możliwości lub nowe dowody. Dodatkowym wątkiem w tej teorii jest operacja/klasa *planowania rozwiązywania* mająca na celu rozłożenie w dłuższym czasie zadania wyszukiwania odpowiedniej możliwości.

### 2.5.3. Operacje umysłowe

Do podstawowych operacji umysłowych, czyli przekształceń zastosowanych reprezentacji umysłowych, zaliczają się rozmaite operacje analizy i syntezy [32]. *Analiza* oznacza rozkładanie tych reprezentacji na ‘czynniki pierwsze’ (poprzez objaśnienie złożonego zjawiska za pomocą jego składowych). Z kolei *synteza* zajmuje się składaniem prostych reprezentacji w reprezentacje złożone (wprowadzając np. relacje/interakcje pomiędzy obiektami). Oprócz tego można mówić o operacjach pochodnych, formułowanych na przykład przez Kozielskiego [157], do których zalicza on m.in.: porównywanie (wyszukiwanie podobieństw), abstrahowanie (wyodrębnianie istotnych elementów) i uogólnianie (sprowadzanie do wyższego poziomu abstrakcji). Myśląc o działaniach

<sup>16</sup>Wielokrotne powtórzenie takiej sekwencji służy do zapamiętania/nauczenia się właściwej reakcji.

<sup>17</sup>Sformułowanego wewnątrz umysłu.



umysłowych warto też wspomnieć o prawach *kojarzenia*, używanych głównie podczas myślenia autystycznego [219], takich jak: podobieństwo, kontrast i przechodniość (mediacja), jak również o *regułach transformacji* [31] zdefiniowanych jako:

- transformacja zerowa
- odwracanie
- składanie
- łączenie.

Dodatkowo, przy rozwiązywaniu problemów człowiek często posługuje się *algorytmami* (to znaczy – jednoznaczными i niezawodnymi przepisami na działanie) oraz *heurystykami* (metodami nieformalnymi i uproszczonymi) [219].

#### 2.5.4. Rozumowanie

„Rozumowanie jest procesem formułowania wniosku na podstawie przesłanek” [219], co właściwie oznacza uznawanie za prawdziwą lub fałszywą informację/przekonanie/fakt w oparciu o inne fakty, informacje lub przekonania. Wśród rozmaitych możliwości należy przede wszystkim wyróżnić rozumowanie [181, 219]:

- **dedukcyjne**, tj. wyciąganie wniosków z przesłanek, wśród których można wykazać:
  - rozumowanie warunkowe/zawodne wykorzystujące na przykład reguły potwierdzenia lub zaprzeczenia poprzednika
  - logiczne/niezawodne metody wnioskowania, takie jak tautologie *modus tollendo tollens* oraz *modus ponendo ponens* czy *reguła odrywania* (stoików)
  - rozumowanie sylogistyczne, tj. wnioskowanie na podstawie dwóch przesłanek, zwane także sylogizmem warunkowym (stoików)
  - rozumowanie bezpośrednie, czyli korzystanie wprost z abstrakcyjnych schematów opartych na logice mentalnej/ludzkiej/umysłowej
  - rozumowanie pośrednie, tj. dopasowanie i używanie schematów wykraczających poza logikę, nabytych w trakcie zmagania się z różnymi problemami (np. rozwiązywanie skomplikowanych zadań matematycznych)
  - rozumowanie z uwzględnieniem błędów i osądów, oparte na teorii pragmatyczno-dialektycznej wnioskowania
- **indukcyjne**, tj. tworzenie wniosków na podstawie zgromadzonych przykładów poprzez:
  - testowanie hipotez, czyli najpierw postawienie<sup>18</sup> hipotezy, a następnie empiryczne sprawdzanie skuteczności jej działania
  - rozumowanie przez analogię, tzn. wyszukiwanie (podobnej) relacji pomiędzy obiektami, a następnie odwzorowanie jej na inne obiekty
- rozumowanie probabilistyczne związane z oszacowywaniem prawdopodobieństwa poszczególnych opcji oraz wyborem najbardziej prawdopodobnej opcji

<sup>18</sup>Tworzenie hipotez może podlegać tendencjom.

- abdukcyjne, rozumiane jako bezpośrednie przeciwieństwo dedukcji (dedukcja wsteczna), tj. poszukiwanie pewnego zbioru będącego przyczyną faktów
- redukcyjne, w którym na podstawie wniosku wywodzona jest przyczyna
- nieformalne, kiedy opierając się na rozumowaniu dedukcyjnym poszerza się przesłanki o dodatkowe informacje<sup>19</sup>.

Podsumowując – na proces rozumowania głównie składają się operacje: wnioskowania, sprawdzania, dowodzenia oraz wyjaśniania.

## 2.6. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono ogólnie rozumianą psychologię poznawczą jako dziedzinę, na podstawie której można skutecznie opierać się przy projektowaniu systemów sterowania *autonomicznymi* robotami. Pokazano zidentyfikowane elementy odpowiadające za wstępne przetwarzanie informacji, tj. systemy percepcji człowieka. W skrócie omówiono też zarządzanie zasobami poznawczymi, za które odpowiadają mechanizmy uwagi. Ponadto przedstawiono dwa podejścia do interpretacji pamięci: magazynowe i procesowe, które mogą mieć zastosowanie w inżynierii systemów. Na koniec skrótowo zaprezentowano sposoby i mechanizmy procesu myślowego człowieka. Przedstawiona i omówiona wiedza nie wyczerpuje tematyki objętej psychologią poznawczą, ale jedynie pobieżnie pokazuje najważniejsze elementy w kontekście systemów automatyki i robotyki, w ich autonomicznym lub tak zwanym „inteligentnym” wydaniu.

---

<sup>19</sup>Może zniekształcać reprezentację problemu.



---

## TEORIE MOTYWACYJNE CZŁOWIEKA

Motywacja do działania jest jednym z najstarszych aspektów filozofii rozpatrywanych już przez starożytnych filozofów. Wychodząc z założenia trójdzielności duszy (popędliwość, pożądlivość, rozsądek), Platon zakładał, że każda część duszy z osobna ma swoje własne cele (często nawet przeciwstawne), które człowiek stara się zrealizować [245]. Z kolei, dużo później Machiavelli postulował, że motywacja człowieka sprowadza się do osiągnięcia potęgi lub władzy oraz statusu wyższego od innych [184]. Współcześnie, na teorii motywacji koncentruje się raczej psychologia niż filozofia. Stąd wywodzą się różnego rodzaju teorie psychologiczne dotyczące motywacji [186]. W kontekście formuły przyjętej w niniejszej pracy nie wszystkie teorie są przydatne, dlatego poniżej przedstawimy jedynie te podejścia, które z dużym prawdopodobieństwem mogą być wykorzystane przy konstruowaniu systemów autonomicznych.

### 3.1. Psychologiczne teorie motywacji

Teoria motywacji wyróżnia komponenty związane z mechanizmami, takimi jak popędy, potrzeby, itp., które są omówione bardziej szczegółowo w dalszej części niniejszego rozdziału. Z kolei pobudki do działania w ogólności zalicza się do jednej z czterech kategorii motywacji [186]:

- homeostatycznej – jakkolwiek zmiana równowagi w środowisku wewnętrznym zwiększa skłonność do działania
- behawiorystycznej – każdy bodziec (zewnętrzny) lub powstający popęd (wewnętrzny) powoduje skłonność do działania
- poznawczej, która jest wewnętrznie posadowiona i wynikająca z przetwarzania informacji
- humanistycznej, której źródła (motywacji) też jest ulokowane wewnątrz ‘umysłu’.

Każdą z poniżej przedstawionych teorii motywacji można zaklasyfikować do jednej z powyższych czterech kategorii.

### 3.1.1. Motywacja ewolucyjna

Ewolucyjne podejście do motywacji wywodzi się wprost od Karola Darwina, według którego motywacja rozumiana jest jako „gotowość do wykonania pewnego ewolucyjnie utrwalonego wzorca” [290]. Podstawowym pojęciem motywacyjnym jest tu instynkt lub popęd. Aktywność osobnika sterowana jest przez zakodowany genetycznie mechanizm, który uruchamiany jest w skutek popędu i wynikających z niego bodźców wyzwalających [178]. Kompletny mechanizm zarządzający aktywnością jednostki obejmuje trzy etapy:

1. narastanie siły popędu
2. pobudzenie organizmu poprzez bodźce wyzwalające (do zareagowania)
3. rozładowanie popędu (dzięki bezpośrednim lub pośrednim skutkom reakcji).

Warto wspomnieć, że przy przemożnej sile popędu i braku bodźca wyzwalającego wystąpić może tzw. aktywność jałowa<sup>1</sup>. Aby zabezpieczyć się przed tym zjawiskiem formułuje się zasadę *podwójnej kwantyfikacji*, postulującą uruchamianie reakcji na podstawie przekroczenia pewnego progu przez sumę sił popędu i pobudzenia. Oczywiście ewolucyjne podejście do teorii motywacji dotyczy wszystkich istot żyjących (nie tylko ludzi).

### 3.1.2. Motywacja psychodynamiczna

Zgodnie z psychodynamiczną teorią motywacji Zygmunta Freuda, człowiekiem rządzą trzy immanentne i wrodzone popędy: seks, przetrwanie i śmierć. Według nich człowiek kształtuje swoje działania – jednakże w sposób nieświadomy. Popęd w tej teorii charakteryzowany jest przez takie cechy, jak [290]:

- źródło – stan organizmu
- impet – wielkość napięcia
- przedmiot pożądania – kierunek popędu.

Kontrowersyjne wydaje się zdefiniowanie tylko trzech popędów u człowieka, stąd też inni autorzy dodają do tego kolejne popędy [119, 291]:

- bezpieczeństwo
- idealizowanie się
- przyjemność.

### 3.1.3. Podejście behawiorystyczne

Behawiorystyczna teoria motywacji zakłada trzy podstawowe pojęcia [290]:

- popęd – niedobór czynników pozytywnych lub nadmiar negatywnych
- wzmocnienie – wszystko, co zwiększa prawdopodobieństwo tej samej reakcji co popęd
- przynęta – obiekt ‘gwarantujący’ redukcję popędu.

Wśród popędów wyróżnia się popędy pierwotne (wrodzone) i nie wymagające nauki/treningu oraz popędy wtórne, wynikające z nabytego doświadczenia. Gotowość do bezpośredniej

<sup>1</sup>Lub niewłaściwa forma/próba rozładowania popędu.



reakcji na popęd (lub pośredniej – na przynętę) jest ściśle powiązana z wielkością nagrody (przewidywanym stopniem zaspokojenia popędu), regularnością i częstością<sup>2</sup> jej otrzymywania oraz bliskością/osiągalnością celu [187]. Warto zauważyć, że pojawienie się w polu widzenia przynęty może zarówno zwiększać popęd, jak i go redukować [102].

Teoria behawiorystyczna jest mocno posadowiona na teorii wzmocnień Skinnera [277], w którą wpisane jest przekonanie, że zachowanie człowieka zależy od poprzednich skutków podejmowanych przez niego akcji. Innymi słowy, wybór reakcji zależy od jej wpływu (pośredniego lub bezpośredniego) na system motywacyjny człowieka. Pozytywne wzmocnienie następuje, gdy konsekwencją zachowania jest pożądaný *wtórny bodziec*. Z kolei osłabienie (negatywne wzmocnienie) ma swoje źródło w zanikaniu oczekiwanego bodźca (potencjalnie zmniejszającego popęd). Skinner uważa, że popędy pierwotne nie wymagają wzmocnienia, ponieważ zostały już kompletnie *wbudowane* w czasie ewolucji [278].

#### 3.1.4. Poznawcza koncepcja motywacji

Przyjmując, że źródłem motywacji jest aktywnie przetworzona informacja ze środowiska – można wnioskować, że brak informacji jest stanem negatywnym. Z drugiej strony, wytrącenie człowieka z równowagi poznawczej skutkuje podjęciem akcji mającej na celu powrót do utraconego stanu równowagi. Główną przyczyną podejmowania akcji jest bowiem dysonans poznawczy, kiedy informacje ze środowiska nie pasują do informacji zapisanych w pamięci. Taki dysonans, wywołujący skutki podobne do popędu, może być zredukowany w oparciu o umysłową reprezentację wiedzy – co oznacza, że wystarczy dostosować się do nowej wiedzy, a niekoniecznie zmieniać od razu swoje środowisko. Ponadto, człowiek znajduje motywację do działania w przypadku jednej z możliwych deprivacji<sup>3</sup> sensorycznych, takich jak: zaburzenie percepcji lub procesów myślowych, halucynacja, czy skutki przeżywania negatywnego napięcia [89].

Jednym z klasycznych przykładów systemu motywacyjnego opartego na koncepcji poznawczej jest system OCC (Ortonego, Clora i Collinsa) [232]. Wyróżnione w nim zostały trzy grupy, które poddawane są ludzkiej ocenie poznawczej:

- zdarzenia – poddawane subiektywnej ocenie względem aktualnie wyznaczonych celów
- postacie – z subiektywną oceną uzależnioną od emocji lub realnego wpływu na zdarzenia
- obiekty – traktowane czysto subiektywnie.

#### 3.1.5. Teorie potrzeb

Potrzeba psychiczna jest w ogólności stanem motywacyjnym traktującym o braku czegoś, a zatem skłaniającym człowieka do podejmowania akcji zmierzającej do zapełnienia tej luki. Teorie motywacyjne oparte na potrzebach należą do psychologii humanistycznej.

<sup>2</sup>Jak regularnie i często dostaje się rzeczoną nagrodę (w odpowiedzi na podjętą akcję).

<sup>3</sup>Pozbawienia czucia – od ang. *deprive*.



### Potrzeby Murraya

W systemie potrzeb Murraya [214] potrzeba jest siłą organizująca procesy poznawcze w celu zmiany sytuacji (napięcia). Potrzeby, choć są uniwersalne dla wszystkich ludzi, mają u nich różne priorytety. Osobowość wynikającą z hierarchii potrzeb można zdefiniować za pomocą czterech determinant [92]: konstytucyjnej, sytuacyjnej, przynależnościowej (grupowej) i aspiracyjnej (w kategoriach celu życiowego).

Murray wyróżnia dwa typy potrzeb (analogiczne do popędów behawiorystycznych): pierwotne (biologiczne) i wtórne (psychologiczne) [214]. Wśród nich zidentyfikowano listy potrzeb przynależnych do pięciu następujących grup:

- ambicji, dotyczącej osiągnięć (np. wysokiego statusu społecznego), działalności twórczej, oraz imponowania innym
- materializmu, tj. porządku, przechowywania, budowania i posiadania
- siły, czyli dominacji, poniżania innych, agresji, autonomii, szacunku, opozycji, obrony statusu (bezpieczeństwa) oraz unikania zła (winy, krzywdy, upokorzenia)
- uczuć: afiliacji, seksu, izolowania się, niesienia pomocy innym, zaspokajania własnych potrzeb przez kogoś innego, doznawania aprobaty i uznania ze strony innych, radości i zabawy, uległości, poniżania się oraz ekshibicjonizmu (uzewnętrzniania swojej osobowości)
- wymiany informacyjnej, obejmującej doświadczanie zmysłowych zdarzeń, rozumienie, ciekawość, poszukiwanie odpowiedzi, jak również ekspozycję (dostarczanie informacji innym).

Powyższa lista nie jest zamknięta, gdyż oprócz wymienionych potrzeb, każda jednostka może mieć szereg własnych, indywidualnych potrzeb.

### Potrzeby Masłowa

Najbardziej znaną koncepcją humanistyczną dotyczącą motywacji jest piramida potrzeb Masłowa [194, 196], który założył, że ludzkie potrzeby dzielą się na potrzeby niedoboru, tzw. D-potrzeby (ang. *deficiency needs*), oraz wzrostu, tzw. B-potrzeby (ang. *being needs*).

Do typu D należą następujące (w narastającej ważności/hierarchii) grupy potrzeb:

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

W ramach typu B rozróżnić można potrzeby:

5. szacunku, a dokładniej – samo-szacunku
6. samo-doskonalenia, tj. rozumienia, wiedzy, poznania świata oraz osiągania własnych celów
7. samo-transcendencji, obejmującej samo-rozwoj i poszerzanie własnych możliwości [195].

Istotnym założeniem teorii Masłowa [196] jest waga poszczególnych klas. Człowiek bowiem dąży do zaspokojenia wszystkich potrzeb w odpowiedniej kolejności, przy czym najpierw zaspakajane są potrzeby znajdujące się najniżej w piramidzie Masłowa (rys. 3.1). Kiedy wszystkie





potrzeby z danej klasy/poziomu zostaną spełnione, najważniejsze stają się potrzeby z następnego, wyższego poziomu. Potrzeby typu B są zaspokajane, dopiero kiedy wszystkie potrzeby typu D są spełnione, a zwłaszcza kiedy ich zaspokajanie będzie opanowane w stopniu mistrzowskim<sup>4</sup>.



Rysunek 3.1: Piramida potrzeb Masłowa (w wersji uproszczonej).

Zauważmy, że humanistyczna teoria motywacji zakłada częściową dowolność w wyborze potrzeb. Choć bowiem wszystkie potrzeby domagają się jednoczesnego zaspokojenia (zwłaszcza w obrębie jednej klasy), to człowiek dokonuje wyboru, które z nich należy zaspokoić. Pokazane na rys. 3.1 potrzeby mają charakter orientacyjny, gdyż jak wspomniano powyżej, każdy człowiek ‘wypracowuje’ sobie własny zestaw potrzeb; co z kolei wpływa na jego odmienne zachowanie, w tym wybór innego zestawu reakcji, które zaspokajają te potrzeby.

### 3.1.6. Teoria pragnień

Kolejna wizja motywacji oparta jest na instynktownych pragnieniach, które usystematyzował James [137], widząc napędy ludzkiego zachowania w postaci trzynastu pragnień:

- oszczędzania – jako żądza gromadzenia i kolekcjonowania dóbr
- budowy – chęć budowania i pragnienie sukcesu (osiągnięć)
- ciekawości – pragnienie rozwoju intelektualnego i nauki
- ekspozycji – żądza przykuwania uwagi
- rodziny – chęć wychowania dzieci
- polowania – pragnienie zdobywania jedzenia
- porządku – chęć czystości i organizacji
- zabawy – zamiłowanie do rozrywki i aktywności towarzyskiej
- seksu – poszukiwanie przyjemności i pragnienie reprodukcji
- wstydu – chęć uniknięcia wyobcowania
- bólu – pragnienie zapobiegania sytuacji sprawiającej ból
- stada – chęć przynależności i kontaktu socjalnego
- zemsty – agresywna żądza rewanżu.

<sup>4</sup>Tzn. kiedy nawet drobne niezaspokojenie może być błyskawicznie korygowane za pomocą ustalonej reakcji.

Najnowsze badania [255] wskazują na istnienie innego zestawu podstawowych pragnień kierujących działaniem człowieka, takich jak:

- akceptacja
- ciekawość
- jedzenie
- rodzina
- honor (lojalność)
- idealizm (sprawiedliwość społeczna)
- niezależność
- porządek
- aktywność fizyczna
- siła (wpływ własnej woli)
- romans
- gromadzenie
- kontakty społeczne
- spokój (bezpieczeństwo)
- zemsta.

Warto zauważyć, że w obu ww. przypadkach pojęcie pragnienia jest podobne, oraz że łatwo jest odnieść te pragnienia do teorii potrzeb. Główną kwestią jest jednak brak uporządkowania w przeciwieństwie do koncepcji Masłowa [196].

### 3.2. Teorie emocji

Drugim, choć nie mniej ważnym systemem napędzającym człowieka są emocje, które powstały na drodze ewolucji [301]. Ukształtowały się one dość wcześnie, jako odpowiedź na coraz to bardziej różnicowane problemy i zagrożenia ze strony środowiska. Pomimo rozmaitych teorii, nieraz kontrowersyjnych, aktualnie panuje przekonanie, że nie tylko ludzie i zwierzęta człokształtne operują emocjami. Problemem powszechnie dyskutowanym jest niemożliwość informowania przez zwierzęta o swoim stanie emocjonalnym. Według badań z dziedziny biologii i neurobiologii, emocje posiadają nie tylko ssaki (mleczne stałocieplne kręgowce), ale także ptaki, a nawet pszczoły [26]. Niezwykle ważne są badania nad naczelnymi, ponieważ zwierzęta te są najściślej spokrewnione z ludźmi. Szczególnie interesujące są goryle, które potrafią komunikować się z ludźmi oraz nawet definiować swój stan emocjonalny [102].

Emocje bardzo wcześnie zostały zdefiniowane przez filozofów. Już Platon wspomina o emocjach jako podrzędnym aspekcie życia ludzkiego, któremu należy się przeciwstawiać (racjonalizm). Podobnie Arystoteles twierdził, że emocje upośledzają możliwość realnej oceny sytuacji przez człowieka. Jednakże później [5, 6] zaczął on głębiej postrzegać emocje, zauważając, że emocje wywołane przez ten sam gest mogą być różne (i wręcz przeciwne) w zależności od sytuacji i wewnętrznych przekonań [229]. Podobny pogląd przewijał się poprzez kolejne wieki, np. w przekonaniach stoików, Kartezjusza, czy Kanta. Epoką, w której dobrze oceniono emocje (jako pozytywny czynnik motywujący), było oświecenie (reprezentowane np. przez Hume'a).



Pierwsze próby klasyfikacji różnych rodzajów emocji podjął się René Descartes [68]. Wyróżnił on sześć podstawowych emocji: zastanowienie, pożądanie, radość, miłość, nienawiść oraz smutek. Wszystkie one są ściśle związane z reakcją fizyczną organizmu. Descartes jednoznacznie rozgraniczył emocje (personalne, duchowe), percepcje (dotyczące zewnętrznego świata), oraz pasje (wewnętrzne pragnienia).

Z kolei Karol Darwin [66] w XIX wieku, w ramach swojej teorii ewolucji, zasugerował, że emocje mają znaczenie adaptacyjne (w kontekście przystosowywania się do zmiennego środowiska) oraz komunikacyjne (w kontekście socjologicznym). Co więcej, zauważył też emocje u zwierząt. Pomijając ekspresję emocji, Darwin opisał także emocje jako przydatne mechanizmy utrwalone ewolucyjnie, bądź indywidualnie, opierające się refleksach. Chociaż emocje kwalifikują się do stworzonych prehistorycznie mechanizmów przetrwania, obecnie niektóre działania emocjonalne, takie jak śmiech lub płacz, mogą tracić swoje pierwotne znaczenie dla przetrwania, ale nadal ułatwiają komunikację międzyludzką [229]. Z kolei w opinii Jamesa [135] emocje, wyrażające się różnym *natężeniem* oraz *barwą*, stanowią głównie fizyczny skutek, będący odpowiedzią organizmu na różnorakie sytuacje.

Podjęcie fizjologiczne sugeruje, że emocje wykształciły się z procesów homeostazy. Jak poprzednio wspomniano, według teorii cybernetycznej *homeostat* stanowi podsystem mający na celu „utrzymywanie systemu autonomicznego w równowadze funkcjonalnej” [198]. Aby taki stan osiągnąć, homeostat przeciwdziała przepływowi informacji i energii, które zmniejszają potencjalny wpływ na środowisko. Innymi słowy, emocje mają na celu doprowadzenie człowieka do stanu skutecznego reagowania na bodźce przychodzące z otaczającego go środowiska. Można przy tym założyć, że gdy ilość informacji wymagającej przetworzenia jest zbyt duża, emocje mogą być podstawą zarówno do selekcji informacji, jak i do wyboru właściwej reakcji.

Wśród wielu znanych współcześnie, psychologicznych definicji emocji warto wyróżnić następujące propozycje [229]:

- James [134]: „...cielesne zmiany wynikające bezpośrednio z postrzegania ekscytujących faktów w rzeczywistości oraz samo poczucie tych zmian, które występują, to 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.”
- Arnold [10]: „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.”
- Lutz [182]: „Emocje są własnym pierwotnym idiomem, który określa i negocjuje swoje relacje społeczne w porządku moralnym.”

- Tooby & Cosmides [301]: „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.”
- Lazarus [167]: „Emocje są zorganizowanymi psychofizycznymi reakcjami skojarzonymi z nowymi faktami dotyczącymi aktualnego środowiska.”
- Ekman [81]: „Emocje są postrzegane poprzez ewolucję ich wartości adaptacyjnych w kontaktach z podstawowymi 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.”
- Frijda [96]: „Emocje (...) to przede wszystkim mody odnoszące się do środowiska: stany gotowości do angażowania się, bądź nie angażowania się w interakcję ze środowiskiem.”
- Plutchik [248]: „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.”
- Mayers [197]: „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 oraz pobudzić naszą akcję. Nasze serce rusza z kopyta. Nasze tętno przyspiesza. Wszystkie nasze zmysły są w najwyższej gotowości.”

Na potrzeby tej pracy przyjmujemy następującą krótką definicję emocji:

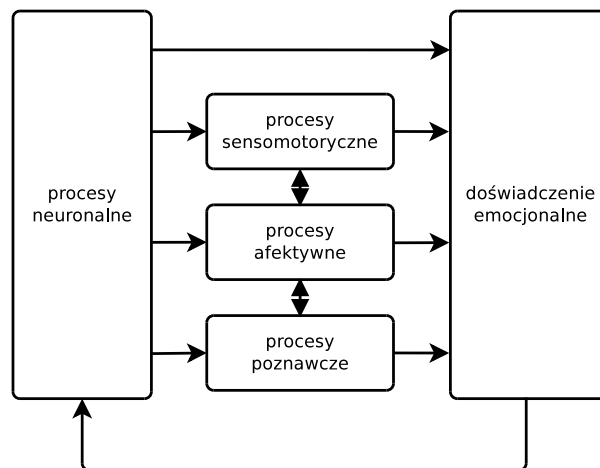
**Definicja 3.1.** *Emocje to stany wewnętrzne związane zarówno z obiektami zewnętrznymi, jak i wielkościami wewnętrznymi (uczuciami), które pozwalają podejmować szybkie i skuteczne decyzje adekwatne do danej sytuacji.*

### 3.2.1. Powstawanie emocji

Główny kierunek w badaniu mechanizmów powstawania emocji związany jest z emocjonalną oceną aktualnej sytuacji na podstawie przeszłych zdarzeń oraz innych aspektów pamięciowych [290]. Według tego podejścia ocena poznawcza (ang. *appraisal*) wyznaczana jest na podstawie przydatności obserwowanego zjawiska (zdarzenia, obiektu) z punktu widzenia własnych celów (interesu) [165]. W ocenie poznawczej wyróżniono dwie fazy: pierwotną i wtórną. Pierwotny mechanizm oceny poznawczej determinowany jest przez fakt pojawienia się emocji oraz jej wartościowość. tj. *de facto* najpierw określa się, czy zjawisko zgodne jest z celami człowieka, a następnie ocenia, jaki jest wpływ (pozytywny czy negatywny) na owe cele. Mechanizm wtórny determinuje możliwość reakcji na zjawisko (związanej z celem i oceną pierwotną) oraz przewidywane konsekwencje podjęcia określonej reakcji. Mimo tego rozróżnienia, sam proces oceny poznawczej jest zintegrowany i spójny. Nie przesądza jednak o wystąpieniu emocji [165]. Z tego też powodu model ten jest mocno krytykowany – nie określa bowiem, w którym momencie występuje emocja, ani czym dokładnie jest ona wywołana.

Z drugiej strony, podejście *oddolne* (biologiczne) mówi głównie o działaniu układu limbicznego oraz substancji wpływających na odczuwanie emocji [290], za które odpowiedzialne są obszary mózgu bezpośrednio połączone z układem limbicznym, w szczególności zaś z ciałem migdałowatym [168]. W rozpoznawanie emocji zaangażowana jest prawa półkula kory nowej, blisko powiązana z ciałem migdałowatym. Jednak za doświadczanie oraz ekspresję emocji odpowiada przednia część mózgu, i to w zależności od znaku tego odczucia/afektu: prawa strona dotyczy negatywnych emocji, zaś lewa – pozytywnych. Do substancji, które mają wpływ na emocje, należą neuroprzekaźniki, hormony oraz neuromodulatory [290].

Biorąc pod uwagę teorie ewolucyjne oraz zasadę duplikowania funkcji, również mechanizmy wywoływania emocji powinny mieć kilka równoległych ‘implementacji’. Mechanizm oceny poznawczej jest tylko jedną z możliwości tłumaczących powstawanie emocji. Według Izarda istnieje kilka koncepcji powstawania emocji, które oparte są głównie na czterech procesach: neuronalnym, sensomotorycznym, motywacyjnym oraz poznawczym [132].



Rysunek 3.2: Procesy aktywacji emocji [132].

Na rys. 3.2 pokazano uporządkowane procesy aktywacji. Proces neuronalny jest wymagany do odczucia jakiegokolwiek emocji [132]. Ponadto, bez odbioru zewnętrznych bodźców, potrafi on także (sam z siebie) wywoływać reakcje emocjonalne, takie jak [290]:

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

Procesy neuronalne najszybciej generują emocje. System sensomotoryczny odpowiada głównie za reakcje ekspresyjne: sylwetkę, napięcie mięśni, czy wyraz twarzy. System ten służy do realizacji (dodatniego) sprzężenia zwrotnego: np. przy ekspresji emocji, automatycznie wzrasta jej natężenie [66]. System ten może też wzbudzać nowe emocje: np. przebywanie w pozycji skulonej daje podstawę do wygenerowania wniosku o własnym smutku; również samo napięcie niektórych mięśni może automatycznie wywoływać inne emocje [290]. Systemy motywacyjne

(afektywne) z kolei analizują możliwość generowania emocji z powodu niezaspokojenia potrzeb lub innych, bardziej bezpośrednich przesłanek motywacyjnych (np. gorzki smak). Również ten proces (tj. emocje) może skutkować kolejnymi afektami. Koncepcja ta jest częściowo zgodna z teorią oceny poznawczej opartą na generowaniu emocji na podstawie poprzednich doświadczeń i powiązaniu ich z aktualną sytuacją. System poznawczy umożliwia przypominanie sobie sytuacji, jak również – auto-generowanie emocji [290]. Izard [132] zaproponował system dynamiczny, w którym każda składowa może wpływać na inne podukłady.

### Pierwotność poznania, czy emocji?

Teoria oceny poznawczej (ocenna) zakłada pierwotność poznania nad emocją – tj. że zanim pojawi się emocja, musi dojść do procesów poznawczych pozwalających na ocenę sytuacji [165]. Zdarzyć się może, że określone zdarzenie wywoła skrajnie przeciwne emocje, w zależności od ułożenia przyczyn tego zdarzenia. Obserwując takie zjawisko przeprowadzono eksperymenty świadczące, iż w procesie powstawania emocji uczestniczy też proces oceny poznawczej [290].

Z drugiej strony ewolucyjny opis emocji oraz inne definicje przeczą takiemu pogładowi. Gdyby emocja była całkowicie uzależniona od oceny poznawczej, utrudniałoby to podjęcie natychmiastowej akcji w sytuacji krytycznej, np. ucieczki przed drapieżnikiem [130]. Potwierdzeniem aspektu niezależności emocji od poznania są emocje pierwotne występujące we wczesnym rozwoju, oparte na procesach neuronalnych bądź sensomotorycznych [247]. Subiektywne odczucie emocji pierwotnych polega na niezaspokojeniu podstawowych potrzeb (fizjologicznych), co ma charakter ewolucyjny i typowy dla wszystkich ludzi.

Elementy poznania i emocji są wzajemnie niezależne. *Efekt ekspozycji* [290] potwierdza tę tezę. Obojętny bodziec podawany z dużą częstotliwością staje się po pewnym czasie bodźcem preferowanym (nawet kiedy pojawia się na tyle krótko, że unika oceny poznawczej).

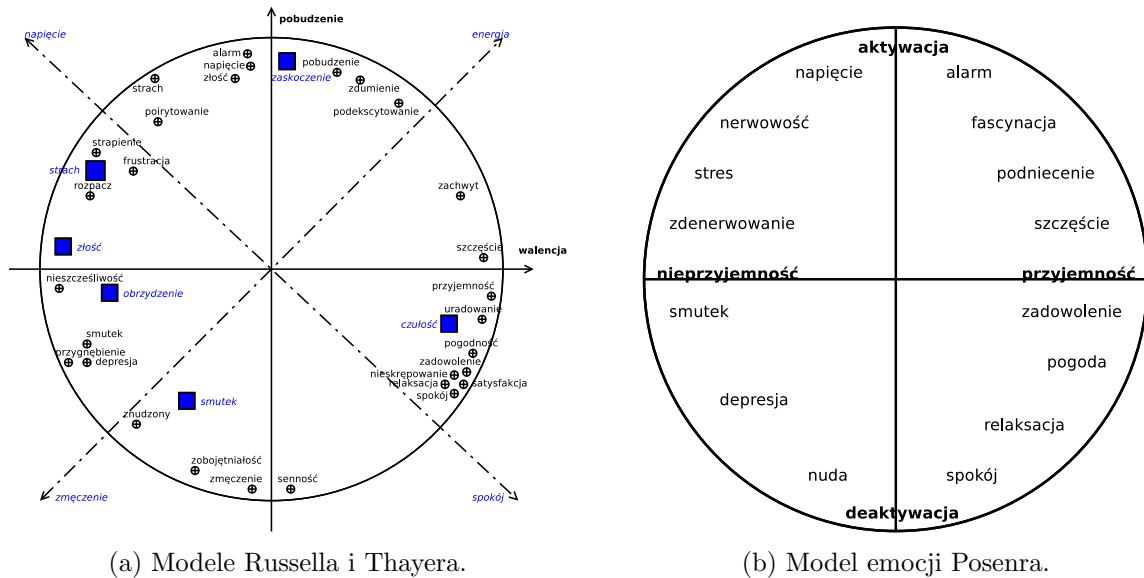
Trzecie podejście do pierwotności zjawisk postuluje, że emocje pojawiają się przed oceną poznawczą. Emocji nie da się ‘zawiesić’, tak jak pewnych procesów poznawczych<sup>5</sup>. Pomijając ww. rozumowanie ewolucyjne, istnieją również argumenty czysto ‘zdroworozsądkowe’. Zdarza się przecież miewać przeczucia (odczucia lub emocje) dotyczące zupełnie nowego obiektu, niespotkanego wcześniej. Związane jest to z nadawaniem emocji, ale z pominięciem oceny poznawczej [332]. Również wspomniane wcześniej zjawisko torowania (sekcje 2.1.3 i 2.3.5) potwierdza (przynajmniej w pewnym sensie) pierwotność emocji nad poznaniem [115].

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 [333]. Zanim mózg przeanalizuje obiekt, a czasem nawet przed rejestracją wrażenia, a obiekt może być rozpoznany i pojawić się może emocja z nim związana. Z drugiej strony teoria ocenna emocji dowodzi, że emocje powstają po zajściu odpowiednich procesów poznawczych [166] i są wtórne względem procesów kognitywnych. Taki rodzaj emocji może wystąpić nawet po procesie myślenia, bez bodźców zewnętrznych. Emocje w tym przypadku dotyczą głównie wybranych uczynków, samego siebie, bądź zdarzeń z przeszłości.

<sup>5</sup>Zjawisko medytacji zen polega na zawieszeniu wszystkich procesów poznawczych (patrzeć, a nie widzieć).



## 3.2.2. Modele psychologiczne emocji



(a) Modele Russella i Thayera.

(b) Model emocji Posenra.

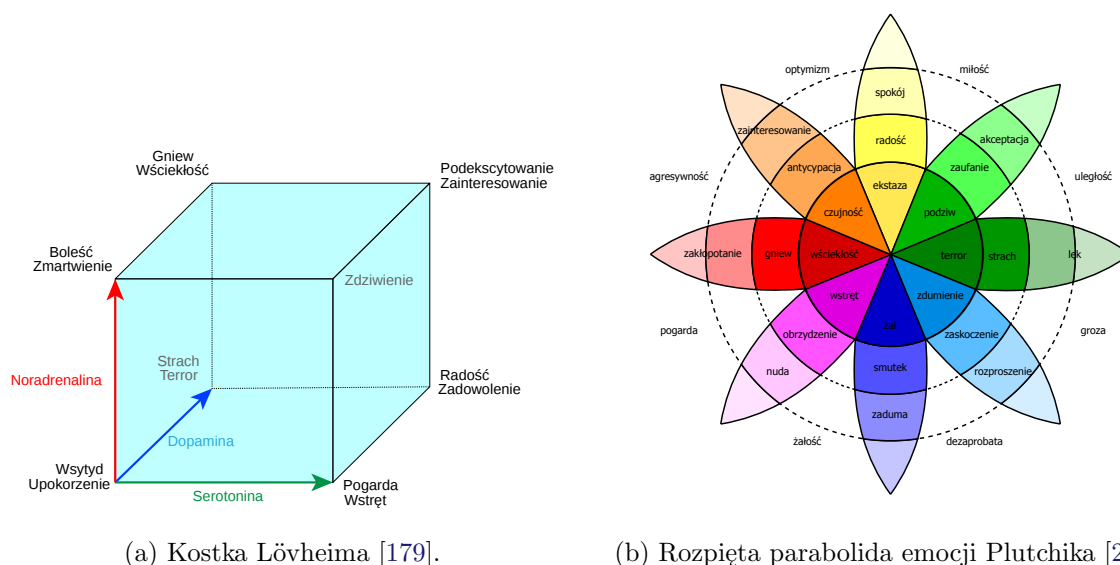
Rysunek 3.3: Diagramy wielowymiarowej emocji. Po lewej: symbol  $\oplus$  i prosta czarna czcionka oznacza emocje w modelu Russella [263], natomiast czcionka pochyłona niebieska i symbol  $\blacksquare$  reprezentuje model Thayera [298]. Po prawej: Model emocji Posenra *et al.* [249], tzw. (ang. *circumplex*).

Najpopularniejszym opisem psychologicznym emocji są modele dające się zobrazować na płaszczyźnie albo w przestrzeni wielowymiarowej. Taki pierwotny opis stanowi model przedstawiony przez Wundta [329], z wymiarami oznaczonymi jako: przyjemność, pobudzenie, relaksacja. Model ten wyewoluował następnie jako model przyjemność-uwaga-stopień aktywacji [268].

Jednym z ciekawszych rozwiązań jest model emocji Russella [263], który przedstawia emocje w dwuwymiarowej przestrzeni. Choć osie współrzędnych kartezjańskich opisano jako pobudzenie i wartościowość, model najlepiej przedstawia się w postaci polarnej (rys. 3.3a). Wersja podstawowa wykorzystuje tylko 8 emocji, podczas gdy rozszerzony model, oparty na badaniach eksperymentalnych, pokazuje aż 28 emocji. Jak większość teorii, również i ten model ewoluował w czasie. Najbardziej aktualny schemat zwany *circumplex* [249] przedstawiono na rys. 3.3b. Podobny model zaproponował Thayer [298], jednak parametry emocjonalne zostały tam nazwane inaczej: spokój-napięcie i znużenie-energia (rys. 3.3a).

Model Bradleya z kolei opiera się na założeniu, że emocja składa się z sumy dwóch 'wektorów' [36]. 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 [260]. Modelem podobnym do wyżej opisanego jest PANA (ang. *Positive Activation - Negative Activation*). Twórcy modelu sugerują dwa osobne systemy aktywujące emocje progowo, w zależności od wartościowości emocji [321]. Stany o wysokim pobudzeniu rozróżniane są ze względu na ich walencję, z kolei przy niskim pobudzeniu, walencja staje się neutralna.





(a) Kostka Lövheima [179].

(b) Rozpięta parabolida emocji Plutchika [248].

Rysunek 3.4: Wielowymiarowe modele emocji (prawa autorskie: Wikimedia Commons).

Analizując zagadnienie emocji z punktu widzenia biologii, Lövheim [179] przedstawił model oparty na trzech neuroprzekaźnikach: serotoninie, dopaminie i noradrenalinie (rys. 3.4a). Każdy skrajny punkt sześcianu rozpinającego emocje oznacza najwyższą intensywność emocji, zaś stany pośrednie wskazują na cząstkowość występującej emocji.

Podobnie do Russella postąpił Plutchik [248]. Stworzył on trójwymiarową reprezentację emocji (rys. 3.4b), opartą na 8 emocjach podstawowych. Emocje podstawowe u Plutchika interpretowane są poprzez natężenie (danej) barwy. Mieszanina emocji podstawowych tworzy emocję pochodną (np. z radości i akceptacji wynika miłość). Cała reprezentacja ma kształt paraboloidy, która po rozwinięciu (rys. 3.4b) bardzo przypomina model Russella.

W języku angielskim mamy 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 podstawowego spektrum zalicza się rozmaite emocje. Zestawienie emocji podstawowych pokazano w tab. 3.1 [232].

### 3.2.3. Parametryzacja emocji

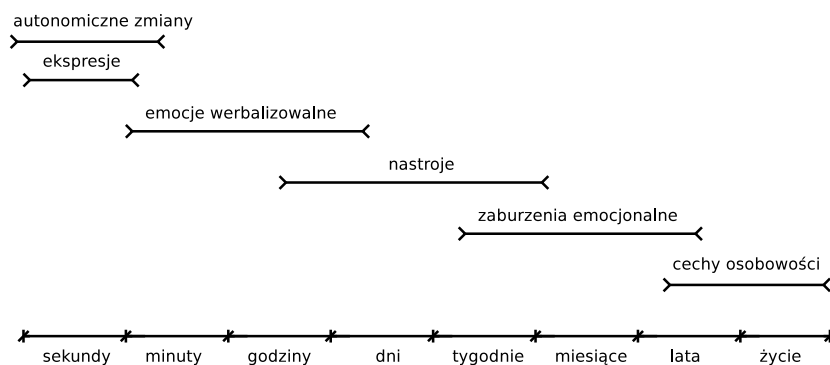
Na podstawie powyższych modeli sformułować można kilka ogólnych wniosków dotyczących sposobu opisu emocji.

Grupy podobnych emocji, jak na przykład spokój, radość i ekstaza, można dogodnie opisać jedną **barwą**, gdyż mają one podobny wydźwięk. Takie postępowanie oznacza w praktyce uogólnianie emocji do określonych wersji 'podstawowych'. Po pogrupowaniu emocji według barw i utworzeniu sekwencji z takich emocji podstawowych, łatwiej jest analizować kontekst emocjonalny i przewidywać reakcję.

Tabela 3.1: Zestawienie emocji podstawowych [232].

Referencja	Emocje	Podstawa kategoryzacji
[9]	gniew, niechęć, odwaga, przygnębienie, pragnienie, rozpacz, strach, nienawiść, nadzieja, miłość, smutek	Stosunek do działania
[82]	gniew, wstręt, strach, radość, smutek, zaskoczenie	Mimika
[95]	pragnienie, szczęście, zainteresowanie, zaskoczenie, poczucie niepewności, smutek	Gotowość do działania
[109]	wściekłość, niepokój, radość	Neurologia
[131]	gniew, pogarda, wstręt, niepokój, lęk, poczucie winy, zainteresowanie, radość, wstyd, zaskoczenie	Neurologia
[133]	radość, smutek, lęk/zaskoczenie, oraz złość/oburzenie	Mimika
[134]	strach, smutek, miłość, wściekłość	Cielesne zaangażowanie
[202]	gniew, wstręt, duma, strach, uległość, delikatność, poczucie niepewności	Odniesienie do instynktów
[212]	ból, przyjemność	Nienauczalne stany emocji
[228]	gniew, wstręt, lęk, radość, smutek	Język
[235]	nadzieja, strach, wściekłość, panika	Neurologia
[246]	akceptacja, strach, zaskoczenie, smutek, obrzydzenie, gniew, antycypacja, radość	Relacja z biologicznymi procesami
[300]	złość, zainteresowanie, pogarda, wstręt, strach, radość, wstyd, zaskoczenie	Gęstość stymulacji neuronowej
[322]	strach, miłość, wściekłość	Neurologia
[325]	szczęście, smutek	Niezależność

Ponadto, emocjom można przypisać również inne wielkości, które je charakteryzują. Praktycznym parametrem opisującym emocję jest jej **natężenie**, tj. poziom jej pobudzenia ('energia' lub stopień aktywacji). Wyraża on intensywność wpływu emocji na jednostkę (człowieka lub robota). Dzięki temu, w ramach jednej grupy emocjonalnej o podobnym wydzźwięku (ustalonej barwie) wyróżnić można odmienne stany (intensywność) tej samej emocji (podstawowej).



Rysunek 3.5: Podział zjawisk emocjonalnych ze względu na czas trwania [229].

Ważnym parametrem, pominiętym w powyższych modelach, jest czas trwania emocji, co pokazano na rys. 3.5. Waha się on od kilku sekund do kilku tygodni, a czasami nawet do miesięcy. Stany emocjonalne sięgające miesięcy lub dłużej są albo cechami osobowości, albo zaburzeniami emocjonalnymi. Biorąc pod uwagę ten parametr wyróżnić można następujące typy stanów emocjonalnych [229]:

- 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
- ekspresje: zmiany równie krótkie co autonomiczne, skojarzone z obiektami, powiązane z teorią oceną emocji
- ‘klasyczna’ emocja, która 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
- 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.

### 3.3. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale opisano najważniejsze odkrycia psychologiczne dotyczące motywacji, które determinują wewnętrzny stan gotowości do działania i stanowią główną podstawę ludzkich działań i zachowań. Wyróżniono przy tym podejścia klasyczne związane z potrzebami, popędami i pragnieniami, opierające się na dziedzinach psychologii humanistycznej i psychodynamicznej oraz behawioryzmie. Przedstawiono coraz częściej wykorzystywany, alternatywny i uproszczony mechanizm motywacji człowieka w postaci systemu emocjonalnego, który w określonych warunkach potrafi zagwarantować szybką reakcję. Pobieźnie przeanalizowano zagadnienie pierwotności emocji i poznania. Dokonano również przeglądu powszechnie znanych modeli emocjonalny oraz sposobów ich parametryzacji. Na zakończenie pokazano całe spektrum głównych emocji oraz podział emocji ze względu na czas trwania.

---

## PRZEGLĄD ZASTOSOWAŃ ANTROPOIDALNYCH

W przypadku rzeczywistych implementacji robotów budowanych na podobieństwo człowieka, zwłaszcza z uwzględnieniem poznanych teorii traktujących o psychologii człowieka, najpierw należy zdefiniować podstawowe wymagania, jakie powinien spełniać taki robot, aby mógł funkcjonować autonomicznie (w mniejszym lub większym stopniu). Badania dotyczące systemów opartych na podobieństwie do człowieka obejmują wiele aspektów – począwszy od modelowania neuronów, a skończywszy na autonomicznych robotach humanoidalnych. W niniejszym rozdziale przedstawimy wybrany zakres tematyczny, obejmujący rozwiązania technologiczne z ostatnich lat dotyczące szerokiego spektrum autonomiczności w kontekście robotyki. Na początku przedstawione zostanie zagadnienie robotów humanoidalnych, zarówno pod względem sprzętowym, jak i aspektów autonomiczności i antropoidalności. Roboty humanoidalne jako urządzenia tworzone na podobieństwo człowieka mają również podobny (choć wciąż niewystarczający) zakres możliwości ruchowych. Po krótkim przedstawieniu platform sprzętowych i ich możliwości, szerzej zaprezentujemy koncepcję systemów kognitywnych – w szczególności obliczeniowych systemów emocji i architektur kognitywnych. Zarówno architektury poznawcze, jak i obliczeniowe systemy emocji oparte są na omówionych wcześniej teoriach z zakresu psychologii.

### 4.1. Roboty antropoidalne

Nowoczesne roboty różnią się między sobą budową w zależności od ich przeznaczenia. Wraz z postępowaniem nauki i technologii obserwuje się coraz większy zakres autonomii budowanych systemów. Patrząc na to historycznie, można wnioskować, że w ten nowoczesny sposób wdrażają się zasady cybernetyki, która od dawna postulowała rozwiązywanie problemów technicznych – w szczególności w modelowaniu i sterowaniu (automatyce i robotyce) – przez naśladowanie przyrody i żywych istot, w tym człowieka. Powstają liczne projekty mające na celu budowę robotów imitujących muchę, węża, muła, lub geparda, albo konstrukcję rozmaitych humanoidalnych stworzeń. Ta ostatnia dziedzina jest rozwijana niezwykle intensywnie. Humanoidy potrafią

już chodzić po drabinie, otwierać drzwi oraz przede wszystkim komunikować się **werbalnie** z człowiekiem. W nauce i technice upowszechniają się też wszelkiego rodzaju aspekty *Human System Interaction*, *Human Robot Interaction*, *Natural Language Processing*, etc.

Ze względu na rodzaj napędu, wyróżnić można kilka typów robotów mobilnych [257]:

- roboty kołowe – służące głównie do realizacji prostych zadań i poruszające się raczej po powierzchni płaskiej (np. typu *line-follower*)
- roboty gąsienicowe – potrafiące jeździć po trudnym naturalnym terenie (np. w celu rozpoznawania i detonowania ładunków wybuchowych)
- roboty kroczące (w tym humanoidalne) – działające w skomplikowanym środowisku zarówno industrialnym, jak i naturalnym (służące do wyspecjalizowanych celów)
- roboty o napędzie hybrydowym – przeznaczone do określonych zastosowań (np. roboty gąsienicowo-kroczące do poruszania się po rozległych powierzchniach biurowych).

Warto zauważyć intensywny rozwój branży związany z produkcją specjalistycznych robotów kroczących, które mogą na przykład chodzić po schodach lub drabinach.

Wśród opracowanych koncepcji sterowania robotami humanoidalnymi warto wyróżnić projekty, które mają poboczny cel polegający na modelowaniu i naśladowaniu ludzkich zachowań. Przyczyny takiego podejścia bywają różne, jednak w większości tego typu projektów podkreśla się przesłanki socjologiczne. Roboty przypominające w zachowaniu człowieka są postrzegane przez ludzi jako bardziej przyjazne i interesujące oraz są akceptowalne przez ogół społeczeństwa [143]. Zauważmy, że takie podejście stosowane jest dość powszechnie w rozmaitych dziedzinach życia, na przykład w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie konstruuje się autonomiczne samochody, którym przypisuje się cechy człowiecze (imię, płeć, etc.). Coraz popularniejsze staje się także nadawane wyglądu człowieka jakimkolwiek maszynom z cechami autonomiczności.

Z drugiej strony, w określonych przypadkach wygląd robota humanoidalnego może budzić całkowicie negatywne emocje. Zjawisko takie, zobrazowane na rys. 4.1, nie jest do końca wyjaśnione. Można je tłumaczyć zaszłością ewolucyjnymi<sup>1</sup>, lękiem przed śmiercią<sup>2</sup> lub innymi socjologicznymi aspektami [211].

Istnieje również podejście systemowo-modelowe (oparte na paradygmatach cybernetycznym i psychologicznym), które uwzględnia i modeluje różne aspekty psychologii człowieka. Celem tego podejścia jest chęć zarówno poszerzenia wiedzy psychologicznej (w zakresie modelowania), jak i wypracowania doskonalszych mechanizmów auto-adaptacji.

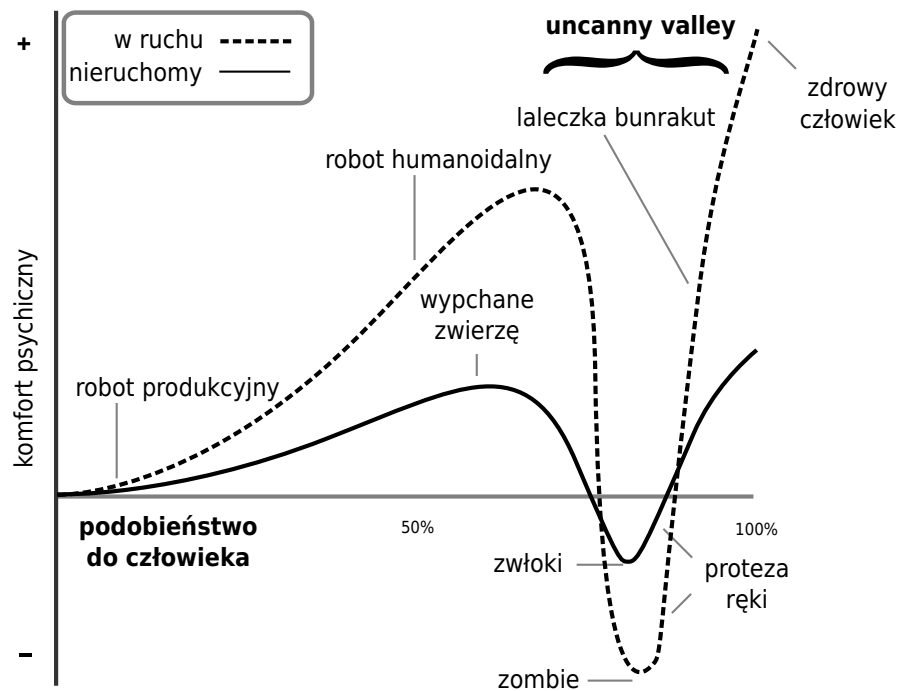
#### 4.1.1. Przegląd robotów humanoidalnych

Większość robotów humanoidalnych jest nastawiona na zadania poznawcze: poczynając od rozpoznawania obiektów i interakcji z nimi, poprzez zagadnienie wyznaczania trajektorii aktuatorów (w kontekście jakości), a kończąc na zaawansowanych strategiach behawioralnych. Tab. 4.1 przedstawia zestawienie cech [152] najpopularniejszych i najsłynniejszych robotów humanoidalnych, opisanych dalej w niniejszej pracy.

<sup>1</sup>Selekcja zdrowotna, polegająca na odsuwaniu się od osobnika o niezdrowym lub chromym wyglądzie.

<sup>2</sup>Podobieństwo do rozkładających się zwłok.





Rysunek 4.1: Zjawisko powszechnie zwane jako dolina dziwactwa (ang. *Uncanny Valley*) (prawa autorskie Wikipedia Commons).

Tabela 4.1: 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	Chwywanie	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
NAO	25	2	3	TAK	NIE	TAK	TAK
FLASH	49	1	4	IP	NIE	TAK	TAK

**AcYut** ‘Ten który nie upada’ lub ‘niezniszczalny’ (w Sanskrycie) jest nazwą odnoszoną do serii robotów humanoidalnych budowanych przez Centrum Robotyki i Systemów Inteligentnych Instytutu Technologii i Nauki (w pobliżu New Dehli)<sup>3</sup>. Robot ten posiada 28 *stopni swobody* (DoF), potrafi poruszać się na dwóch nogach, a w celu postrzegania bodźców ma zainstalowane czujniki, takie jak kamera Firefly MV oraz 6 stopniowe IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*). Wykorzystywany jest w badaniach nad technologiami teleoperacji oraz sposobami sterowania zaawansowanymi robotami kroczącymi [2].

**Affetto** jest robotem-dzieckiem produkcji japońskiej, posiadającym bardzo realistyczny wygląd oraz rozmiary dwulatka. Umożliwia wyrażanie różnych min na sztucznej twarzy. Jego sztuczna skóra przypomina ludzką, a pneumatyczne siłowniki umożliwiają zarówno dotyk, jak i ograniczony nacisk. Robot ten jest przystosowany do badań nad rozwojem poznawczym dziecka oraz relacjami socjologicznymi pomiędzy dzieckiem a rodzicami [129].

**ASIMO** (ang. *Advanced Step in Innovative MObility*) symbolizuje serię robotów wyprodukowanych przez firmę Honda Motor Company, które stanowią pionierskie wydanie wśród robotów humanoidalnych (robot taki ma ok. 120 cm, waży 63 kg). Celem ASIMO w zakresie robotyki humanoidalnej są przyszłościowe rozwiązania w postaci robotów wspomagających człowieka w jego codziennych czynnościach<sup>4</sup>. ASIMO ma 34 stopnie swobody, może chodzić po schodach, a nawet biegać z prędkością do 6 km/h [297]. Jego chwytaki są przystosowane do trzymania przedmiotów o różnych kształtach. Oprócz różnego rodzaju zadań autonomicznych, ASIMO jest dodatkowo przystosowany do sterowania za pomocą myśli [33].

**Baxter** jest para-humanoidalnym robotem produkcyjnym z ramionami o 7 DoF, wyposażonym w system wizyjny, sonar, oraz ekran, na którym można wyświetlać np. emocje. Pozwala naukowcom na badanie interakcji pomiędzy robotem a człowiekiem, manipulacji, oraz zaawansowanych metod sterowania i percepcji, a ponadto służy rozwojowi metod uczenia pod nadzorem i sterowania [65].

**CHARLI** (ang. *Cognitive Humanoid Autonomous Robot with Learning Intelligence*) jest pierwszym ‘prawdziwym’ robotem humanoidalnym (ze względu na wygląd) zbudowanym w USA. Zaprojektowany i zbudowany w Virginia Tech University, CHARLIE posiada 25 DoF i waży 12.4 kg (tylko!). Wyposażony w trzyosiowe żyroskopy i akcelerometry, kamery oraz enkodery pozycji stawów, wykorzystywany jest w prowadzeniu badań nad zaawansowanymi metodami chodzenia dwunożnego (odpornymi na zakłócenia). Robot ten jest używany również w konkursach robo-piłki, może chodzić z prędkością 1.4 km/h, a nawet tańczyć [160].

**HRP** (ang. *Humanoid Robot Prototype*) opisuje serię robotów (aktualna wersja to HRP-4) konstruowanych przez firmę Kawada Industries we współpracy z National Institute of Advanced Industrial Science and Technology już od 1999 roku. Roboty HRP zostały stworzone do współpracy z ludźmi. Projekt robotów HRP ma służyć lepszemu dopasowaniu do warunków pracy, zarówno od strony mechanicznej (poprzez zwiększenie liczby stopni swobody i zmniejszenie wagi, np.), jak i ściśle systemowej (elektroniczna platforma, systemy percepcji i interakcji, itp.). Robot taki ma udźwig 0.5 kg, 34 DoF i waży 39 kg. Jego płyta bazowa zaopatrzona

<sup>3</sup>Centre for Robotics and Intelligent Systems at Birla Institute of Technology and Science, Birla, Pilani.

<sup>4</sup>Tak sformułowany cel jest *de facto* paradygmatem robotyki socjalnej [97, 99, 145, 271, 334].



jest w mikrokomputer Pentium M, funkcjonujący na systemie operacyjnym typu Linux wraz z funkcjonalnością technologii RT (ang. *Real Time*). HRP-4C jest nietypowym robotem, gdyż ma kształt kobiety-androida z wagą również podobną (43 kg). Potrafi poruszać się w sposób przypominający chód człowieka, mówić, a nawet śpiewać. Podobnie jak u Affecto, jego cechą charakterystyczną są mimiczne możliwości twarzy (z 8 DoF) [141].

**Kismet** prezentuje jedynie głowę robota, która jest najlepszym elementem wyrażającym emocje na zewnątrz. Robot ten został opracowany i zbudowany na MIT pod koniec lat 90-tych. Kismet jest dostosowany do naturalnej komunikacji międzyludzkiej, zwłaszcza uwzględniającej język ciała i różnego rodzaju elementy motywacyjne człowieka. Dzięki wyposażeniu w zespół sensorów realizujących zmysły wizyjne, słuchowe oraz proprioceptyczne (głębokie), robot mógł być używany w badaniach dotyczących zachowań podczas interakcji z człowiekiem (HSI) oraz przede wszystkim do wypracowania mechanizmów uczenia [37].

**Kobian** został opracowany przez WASEDA University w Tokyo na podstawie doświadczenia z wcześniejszymi konstrukcjami własnymi. Jego podstawowym celem jest interakcja z ludźmi i pomoc w codziennych czynnościach. Robot posiada aż 68 stopni swobody, z czego 24 przeznaczonych jest na mimikę twarzy. Dzięki tak skonstruowanej ‘twarzy’ robot jest w stanie wyrazić 7 podstawowych emocji o różnych stopniach natężenia. Aktualne badania związane z tym robotem dotyczą różnic kulturowych w postrzeganiu emocji oraz możliwości ich ekspresji nie tylko za pomocą mimiki [304]. Wyposażenie w dwie kamery umożliwia Kobianowi analizę środowiska przy użyciu wizyjnego stereo [155]. Dzięki temu potrafi się on orientować i poruszać w przyjaznym środowisku. Możliwości ekspresyjne robota znalazły uznanie w japońskim społeczeństwie, 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 tej samej serii RoNa) pełni funkcję opiekunki osób starszych, potrafi przenosić ciężkie rzeczy, reagować na polecenia, a nawet transportować osobę, którą się opiekuje. Docelowo robot ten ma mieć 23 DoF oraz duży udźwig (rzędu dorosłej osoby). Głównym jego celem jest niesienie pomocy, podnoszenie osób, które nie mogą wstać, oraz kładzenie do łóżka lub wanny. Robot wyposażony jest dodatkowo w możliwość bezpośredniej telekomunikacji z lekarzem [121].

Robot **Simon** został zaprojektowany przez zespół z Georgia Institute of Technology. Nie jest on jednak w pełni humanoidem, posiada bowiem tylko część ‘ciała’, od pasa w górę. Nie przeszkadza to jednak w jego zastosowaniach w zakresie badań nad zagadnieniem uczenia maszyn. Nauczanie w tym przypadku obejmuje ekstrakcję (wydobywanie) zachowań ze środowiska oraz interakcję z ludzkim nauczycielem. Aby ułatwić komunikację, robot został wyposażony w zestaw elastycznych aktuatorów<sup>5</sup>. Podobnie jak ludzie, Simon może swoimi dłońmi ścisnąć w różnym stopniu przedmioty z otoczenia. Dla realizacji celów komunikacyjnych zastosowano odpowiednie rozwiązania programistyczne oraz głowę zaopatrzoną w funkcję wyrażania emocji. Dzięki temu wszystkiemu robot może uprawiać gry wymagające werbalnej interakcji (gdyż ‘Simon mówi’), a ponadto rozpoznawać, kiedy następuje jego tura [52] (por. też nowsze wyniki w zakresie mediacji: [97, 334]).

<sup>5</sup>Silników z bardzo małym stopniem sztywności.

**ASRA C1** stworzona przez firmę Asratec 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 (konceptcja sterowania przez wzrok), joysticka, a także na działanie w trybie kopiowania ruchów. Robot ten posiada 35 stopni swobody, akcelerometr, żyroskop, sensory magnetyczne, kamerę oraz kamerę Kinect, które umożliwiają mu rozpoznawanie ruchów człowieka podczas interakcji. Ciekawostką jest fakt, że robot posiada ukryte dodatkowe kończyny górne, które są pomocne przy przenoszeniu obiektów (ale niestety muszą być one sterowane ręcznie przez nadzorcę robota).

**Telenoid** jest bardzo nietypowym robotem. Został zaprojektowany przez Osaka University and Advanced Telecommunications Research Institute International jako korpus humanoidalny z wyrażającą emocje głową. Jego głównym celem jest efektywne emulowanie<sup>6</sup> obecności człowieka – w trybie zdalnego sterowania przez operatora. Badania dowiodły, że z socjologicznego punktu widzenia jest on efektywny w ‘wywoływaniu’ obecności drugiej osoby i w ten sposób jest pomocny zarówno osobom starszym, jak i dzieciom [330]. Ze względu na określone zastosowania, robot posiada jedynie 9 DoF, waży 3 kg i zbudowany jest z materiału doskonale symulującego ludzką skórę. Prace prowadzone nad robotem Telenoid mają także na celu takie wysterowanie ruchów robota, aby sprawiały one całkowicie naturalne wrażenie [128].

**Valkiria** jest robotem humanoidalnym następnej generacji, zdolnym do wykonywania zadań wymagających dużej dynamiki, a także dużej precyzji działania<sup>7</sup>. Valkiria, konstruowana 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 podjęty 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), i potrafi 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 sporą liczbę innych sensorów.

**EMIEW 2** jest robotem produkowanym przez firmę Hitachi i przystosowanym do środowiska biurowego, w szczególności zaś do podążania za człowiekiem. Pełni on rolę biurowego asystenta, który porusza się z prędkością do 6 km/h. Ze względu na takie środowisko pracy, robot został wyposażony w 14-kanalową macierz mikrofonów, tak aby precyzyjnie mógł określać kierunek dźwięku oraz – dzięki filtrom usuwającym szum – rozpoznawać wydawane polecenia [292]. EMIEW 2 posiada także radar laserowy, pozwalający na mapowanie przestrzeni dookoła niego. Jego dość osobliwie zaprojektowane nogi pozwalają na trzy tryby robocze [120]:

- odwróconego wahadła, tj. postaci wyprostowanej (umożliwiającej rozwijanie względnie dużych prędkości)
- lekkiego przykucnięcia (z użyciem hamulca w postaci ‘szponu’), które stanowi przygotowanie do przejścia w inny tryb
- postaci kłęczącej, charakteryzującej się dużą stabilnością (lecz zmniejszoną prędkością).

<sup>6</sup>Symulowanie w świecie i czasie rzeczywistym.

<sup>7</sup>Co jest od dawna domeną automatyki.



(a) NAO

(b) NAO Torso

Rysunek 4.2: Roboty NAO, Aldebaran Robotics (prawa autorskie: J. Kemtchuaing, Aldebaran).

**S-One** (Schaft) też jest robotem japońskim, jednak w odróżnieniu od robotów przedstawionych wcześniej jest humanoidem w znacznie mniejszym stopniu. Robot waży 95 kg i ma wzrost około 130 cm. S-One zajął pierwsze miejsce w DARPA Robotics Challenge Trials w 2013 roku, przechodząc 27 prób na 32 możliwe. Dzięki wyspecjalizowanemu oprogramowaniu, robot potrafi poruszać się w nieznanym i niestabilnym terenie, chodzić po drabinie oraz otwierać drzwi. Dodatkowo dzięki użyciu silników chłodzonych cieczą, S-One podnosi względnie większe ciężary. Chwytniki firmy Robotiq zostały wykorzystane jako manipulatory służące do przechwytywania różnego rodzaju kształtowników. Robot S-One nie posiada jednak cech autonomiczności i musi być zdalnie sterowany przez użytkownika.

**NAO** jest robotem humanoidalnym (rys. 4.2a) produkowanym seryjnie – choć głównie dla celów edukacyjnych. Dzięki małym rozmiarom doskonale sprawuje się przy nauce programowania dla celów robotyki. Robot posiada 25 stopni swobody oraz wyposażony jest w 2 kamery, 4 mikrofony, sonar i szereg czujników dotykowych. Dzięki tak bogatej gamie sensorów oraz odpowiedniemu oprogramowaniu, możliwe jest pisanie programów sterujących robotem zarówno prostych (robotyka behawioralna), jak i zaawansowanych (sztuczna inteligencja). NAO potrafi też rozpoznawać dźwięk i syntezować mowę. W oparciu o platformę NAO można tworzyć rozmaite rozwiązania z zakresu zaawansowanego rozpoznawania obiektów za pomocą dotyku, systemów emulowania i wyrażania emocji oraz ulepszonych sposobów chodzenia [105, 158]. Robot NAO uczestniczył również w projektach dotyczących terapii dzieci cierpiących na autyzm [274]. Prostsza i tańsza modyfikację NAO stanowi robot **NAO Torso**, działający analogicznie (rys. 4.2b), jednak bez możliwości chodzenia.

**FLASH** jest robotem humanoidalnym rodzimej produkcji. Pod pewnymi względami emuluje on wygląd i zachowanie człowieka, a zwłaszcza mimikę jego twarzy. Nie jest on podobny do Kismet, który posiada odrębne moduły twarzy (jak usta lub oczy). Robot FLASH posiada głowę EMYS (ang. *Emotive Head of a Social Robot*) umożliwiającą okazywanie emocji [145, 334] oraz korpus osadzony na dwukołowej platformie poruszającej się na zasadzie odwróconego wahadła. Dzięki możliwości wyrażania emocji FLASH nadaje się do zadania porozumiewania się z ludźmi, a na pewno jest przez nich dobrze postrzegany.

**Sophie** to robot stworzony przez Hanson Robotics, który przywołujemy na koniec niniejszego przeglądu. Robot ten jako pierwszy w historii otrzymał obywatelstwo państwowe (Arabia



Rysunek 4.3: Robot FLASH; prawa autorskie (Jan Kędziński, Politechnika Wrocławska).

Saudijska, 2017). Sophie potrafi rozpoznawać mowę, nawiązywać kontakt *wzrokowy*. Potrafi także prowadzić konwersację. Jej wypowiedzi na tematy dotyczące przejścia władzy przez roboty już zapisały się w historii robotyki. Mimo wszystko, niektórzy nazywają Sophie jedynie *chatterbotem z twarzą*, który potrafi zaimplementować około 20 ekspresji oraz prowadzić dialog, generowany w oparciu o drzewo decyzyjne. Sophie jest zatem raczej postacią medialną, niż ucieleśnioną sztuczną inteligencją, która nie ma jeszcze szans na szersze zaistnienie.

#### 4.1.2. Specyfikacje projektu robota humanoidalnego

Pomimo wielu udanych projektów badawczych dotyczących robotów humanoidalnych, nie udało się jeszcze stworzyć jednostki, która skutecznie służyłaby człowiekowi w różnych warunkach. Ze względu na złożoność środowiska, idealnym przykładem jest robot w pełni humanoidalny, tj. sylwetką przypominający człowieka, który ma za sobą długą ewolucję. W szczególności robot taki powinien opanować kroczenie (ze względu na różnorodność podłoża) oraz chwytanie (np. narzędzi). Ponadto, biorąc pod uwagę przykłady robotów przedstawione powyżej, można już pokusić się o konstruowanie humanoidalnych platform robotycznych, wdrażających systemy oparte na modelu psychologii człowieka.

Uwzględniając stan techniki, specyfikę zmysłów człowieka można stwierdzić, że robot powinien być wyposażony w dwie kamery systemu stereowizji o dużej rozdzielczości oraz przynajmniej jeden lidar<sup>8</sup> wspomagający stereowizję oraz mapowanie środowiska. Zakładając kroczący napęd robota oraz wyrażanie emocji (w celu niewerbalnego porozumiewania się), robot powinien posiadać około 48 stopni swobody, z czego przynajmniej 10 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 pewien zmysł propriocepcji. Spośród pozostałych narządów czucia, robot powinien mieć zmysł słuchu (np. matrycę mikrofonów) oraz umiejętność wydawania dźwięków i artykulowania mowy (co posiada więk-

<sup>8</sup>Choć człowiek nie posiada lidarów.

szość przedstawionych robotów). W celu wykrywania upadku oraz innych gwałtownych ruchów, potrzebny jest sensor IMU, po jednym na każdą kończynę i głowę.

Oczywiście rdzeniem systemu powinna być jednostka centralna, która pozwala wdrożyć jedną z przedstawionych poniżej architektur kognitywnych (poznawczych) oraz podejmować w czasie rzeczywistym decyzje i realizować reakcje odpowiednio do zaistniałej sytuacji. Aby takie funkcjonowanie było możliwe, konieczne jest stworzenie mikrosystemów obsługujących wyodrębnione obszary albo użycie superkomputera (jednak wtedy z kolei prędkość bezprzewodowego przesyłu danych będzie stanowiła istotne ograniczenie). Aktualnie są jeszcze technologiczne trudności z jednoczesną<sup>9</sup> obsługą stereowizji i analizą dźwięków. Dodatkowo potrzeba odpowiedniego systemu operacyjnego oraz dużych mocy obliczeniowych, aby zapewnić realizację wszystkich funkcji wykonawczych i społecznych robota w oparciu o wybrany obliczeniowy system emocji oraz przyjęte założenia (np. uwzględniające wymagania HSI).

Podsumowując, robot humanoidalny powinien być wyposażony w sprzęt oraz mikrosystemy obsługujące każdy z następujących obszarów: 2 kamery stereowizji, LIDAR służący do mapowania otoczenia, mechanizmy mimiki z 10 DoF, system chwytania z 18 DoF, ~20 DoF korpus robota, enkodery i/lub czujniki Halla służące do odczytu pozycji stawów, 2 matryce mikrofonów lub dedykowane sondy pozwalające na wykrycie kierunku dźwięku, źródło dźwięku, ~5 IMU, jednostka centralna z odpowiednią mocą obliczeniową, wspomaganą przez NPU (ang. *Neural Processing Unit*), adekwatne źródło zasilania, system kognitywno-decyzyjny oraz system emocjonalny wspierający podejmowanie decyzji (np. w warunkach zagrożenia).

## 4.2. Obliczeniowe systemy emocji

Istnieje wiele autonomicznych systemów, w których zachowanie lub motywacje agenta kierowane są przez emocje. Nazywane są one w skrócie *obliczeniowymi systemami emocji*. Mnogość takich systemów wymaga wprowadzenia porządkującego je podziału [267], np. ze względu na:

- teorię psychologiczną, na podstawie której zostały opracowane: tj. systemy ewolucyjne, somatyczne, oraz kognitywne (ocenne)
- komponenty uczestniczące w tworzeniu emocji: kognitywne (zewnętrzne bodźce), fizjologiczne (wewnętrzne bodźce), motywacyjne (wewnętrzne bodźce psychologiczne)
- fazy, które występują w procesie emocjonalnym: niskopoziomowa ewaluacja emocji (tworzenie emocji podstawowych opartych na prostych bodźcach), wysokopoziomowa ewaluacja emocji (budowa emocji pochodnych z użyciem pamięci), modyfikacja priorytetów (potrzeb/celów), wdrażanie akcji, planowanie zachowania, wdrażanie zachowania oraz komunikacja (cel wypracowywania emocji)
- rodzaje występujących emocji: lingwistyczne/binarne (tylko etykiety), ostre (etykieta oraz wartość), rozmyte (przynależność do zbioru).

<sup>9</sup>Ze względu na złożoność obliczeniową stosowanych algorytmów przetwarzania.

### 4.2.1. Przegląd wybranych systemów

Dominującą teorią, na której oparte są systemy obliczeniowe emocji, jest teoria kognitywnej oceny [107, 165], którą szczegółowo opisano w sekcji 3.2.1. Według niej, emocje powstają po ocenie poznawczej aktualnie postrzeganych obiektów, sytuacji oraz zdarzeń. Ocena ta kształtuje się na podstawie relacji pomiędzy postrzeganymi elementami a indywidualnymi przekonaniem, pragnieniami lub intencjami, tj. BDI (ang. *Beliefs, Desires, Intentions*), którą określa się jako relację personalno-środowiskową (ang. *personal-environmental relationship*). Systemy oparte na ocenie poznawczej nie biorą jednak pod uwagę możliwości wystąpienia emocji, zanim zostanie rozpoznane jakieś zjawisko (obiekt, zdarzenie, czy sytuacja), a ponadto wymagają względnie większej mocy obliczeniowej. Ponieważ agent najpierw mentalnie rozpoznaje ‘coś’, następnie przeszukuje pamięć, tak aby to ‘coś’ skojarzyć z określonymi emocjami. Wskutek tego emocje, generowane przez taki system, tracą walor czasu rzeczywistego (nie mogą być wygenerowane natychmiast po pojawieniu się zjawiska), co jest sprzeczne z ogólnym pojęciem emocji.

Wśród wielu systemów opartych na teorii oceny poznawczej wymienić należy systemy: CCBI [192], EMILE [106], TABASCO [284], ActAffAct [253], FLAME [83], EMA [107], ParleE [45], FearNot! [74], Thespian [203], Peactidm [190], Wasabi [27], AR [84], Cathexis [316], MAMID [123], Affect and Emotions [269]. Część z nich jest słabo powiązana z psychologią, u innych dominuje ścisły opis matematyczny. Niestety większość psychologów unika obliczeniowych modeli emocji, nie wyciąga z nich wniosków, ani nie sprawdza teorii, które za nimi stoją. Tymczasem obliczeniowe systemy emocji cały czas się rozwijają oraz tworzone są nowe implementacje uwzględniające różne bazy danych, jak np. Twitterowy sentiment [144]. Aby pokazać specyfikę obliczeniowych systemów emocji, poniżej opiszemy kilka wybranych systemów, które reprezentują szeroką gamę aspektów związanych z obliczeniowymi systemami emocji.

#### ActAffAct

*Acting Affectively affecting Acting* jest architekturą emocjonalną dla agenta funkcjonującego jako aktor. Głównym zadaniem jest zwiększenie wiarygodności postaci, chatterbotów, czy innych wirtualnych agentów [253] w grach komputerowych. System ten oparty jest na schematach walencyjnych emocji w teorii oceny kognitywnej. 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 tym może odczuwać nadzieję i strach. Sposób działania systemu można opisać jako przejście pomiędzy fazami percepcji, oceny poznawczej, systemu decyzyjnego RAT (ang. *Relational Action Tendency*) oraz systemu wykonawczego. Faza percepcji polega na translacji informacji zewnętrznej w postać użyteczną dla oceny poznawczej, a na tej podstawie tworzone są emocje, dzięki którym RAT może rekonfigurować aktualnie wykonywane akcje i zachowania. ActAffAct jest zatem systemem decyzyjnym opartym na określonych sytuacjach, nie zaś zorientowanym na jeden cel. ActAffAct implementuje się z prostym scenariuszem w wirtualnej aplikacji, uwzględniającym grupę agentów i obiektów. Agent taki poprzez odczuwanie różnych emocji (generowanych na podstawie sytuacji) wybiera adekwatny do aktualnej sytuacji cel oraz reakcję zbliżającą go do osiągnięcia tego celu.





ActAffAct używa emocji w postaci etykiet (bez jakiejkolwiek wartości). System oparty jest na modelu BDI, w którym akcje agenta oparte są na zaimplementowanych przekonaniach (tj. *osobowości* jaką dany agent powinien uosabiać, np. ‘łotra’). ActAffAct obejmuje wszystkie fazy procesu emocjonalnego. Wśród komponentów, które uczestniczą w tworzeniu emocji, wyróżnić można komponenty kognitywne oraz motywacyjne; brak komponentów fizjologicznych jest oczywisty z powodu wirtualizacji agenta.

## FLAME

FLAME (ang. *Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions*) jest obliczeniowym systemem emocji opartym na modelu Ortony’ego [232], biorącym pod uwagę ocenę emocjonalną zdarzeń [83]. 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-Assiliania [188]. Opierając się na ocenie poznawczej zdarzeń, tworzone są emocje, na podstawie rozmytej pożądalności oraz reguł zaprezentowanych przez Ortony’ego [232]. Przykładowo radość jest skutkiem pożądanego zdarzenia, podczas gdy smutek generowany jest w przypadku zdarzenia niepożądanego.

Ze względu na rozmycie systemu emocje pojawiają się zespołowo (na przykład wstyd, gniew lub strach towarzyszą smutkowi). Takie grupy emocji są filtrowane. Filtracja w systemie FLAME odbywa się w oparciu o proste reguły (np. duża radość może eliminować smutek). Dodatkowo FLAME posiada podsystem przerywający emocje oparty na elementach motywacyjnych, takich jak potrzeby. Dzięki temu agent może wykonywać ważniejsze zadania (np. zaspakajając głód), niż wdrażać zachowania implikowane emocjami.

Na podstawie przefiltrowanych emocji wyznaczane jest zachowanie agenta, które selekcjonowane są również w sposób ‘rozmyty’, poprzez (rozmyte) reguły: np. **Jeśli** gniew jest wysoki **i** naczynie zostało zabrane **to** zachowaniem jest szczekanie. System uczy się za pomocą jednej z czterech zaimplementowanych metod: warunkowania (powiązanie obiektu z emocją), uczenia ze wzmocnieniem (zmiana oszacowania wpływu zdarzeń na cele), probabilistycznego podejścia do nauki wzorców zachowań, oraz heurystycznego uczenia (które zachowania zadowolają 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.

Reasumując, w systemie FLAME, opartym na teorii oceny poznawczej, komponenty zaangażowane w tworzenie emocji obejmują jedynie komponenty kognitywne. Komponenty motywacyjne, mimo ich implementacji w systemie, nie wpływają na ‘odczuwane’ emocje, które służą tylko do wyboru akcji agenta (nie modyfikując jego celów, ani potrzeb). Oparcie systemu FLAME na rozmytych emocjach powiększa intuicyjność oraz ułatwia wnioskowanie.





## EMA

EMA (ang. *EMotion and Adaptation*) jest złożonym systemem emocjonalnym, który wykorzystuje wiele zmiennych ocennych (z których wynika przedmiotowa ocena emocjonalna). Wśród nich wyróżnia się [107, 108]:

- trafność – czy zdarzenie wymaga uwagi lub akcji
- pożądalność – czy zdarzenie pokrywa się z celami agenta
- przyczynowość/wina – czy agent jest odpowiedzialny za zdarzenie
- możliwość – jak bardzo prawdopodobne było zdarzenie
- przewidywalność – czy zdarzenie było przewidywalne na podstawie 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 energii 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 [84], gdzie każda z 24 emocji posiada swoją intensywność. Uwzględniają one wymienione wcześniej zmienne ocenne w kontekście pewnej perspektywy. Przykładowo nadzieja pojawia się z wiary, że coś dobrego może się zdarzyć (pożądalność  $>0$  i możliwość  $<1$ ).

Ze stanu emocji wyprowadza się *strategie radzenia sobie*, (ang. *coping*) wg Lazarusa [167], które działają w odwrotną stronę niż ocena poznawcza: identyfikują przyczyny emocji oraz podtrzymują je lub modyfikują (BDI). Należą do nich strategie [108]:

- 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, zmniejszeniu użyteczności pożądanego stanu
- przesunięcie winy (odpowiedzialności) za działania na jakiś inny czynnik
- 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, w celu odegrania prostego scenariusza [223]. Scenariusz opisuje agenta w sytuacji/momentie spotkania pewnego ptaka, który może zaatakować albo uciec. Symulacja przeprowadzona przez autorów potwierdza zasadność systemu EMA, ale pozostawia pewien niedosyt związany z jej prostotą (w relacji do znacznej złożoności koncepcji EMA).



EMA jest systemem z rozbudowaną możliwością interpretacji bodźców zewnętrznych. Emocje występujące w nim są ostre oraz posiadają określoną wartość i przypisaną etykietę. W tworzeniu emocji uczestniczą komponenty motywacyjne i kognitywne. System ten umożliwia planowanie zachowania oraz jego wdrażanie.

### ParleE

ParleE stanowi obliczeniowy model emocji przygotowany dla wirtualnego agenta komunikacyjnego działającego w środowisku wieloagentowym. Opiera się na teorii oceny kognitywnej Ortony'ego [232]. Wykryte zdarzenia oceniane są na podstawie nauczonych wcześniej zachowań i probabilistycznego algorytmu planującego. System składa się z pięciu zasadniczych bloków. Blok EAC (ang. *Emotion Appraisal Component*) ocenia zdarzenie pod kątem osobowości agenta, planu i modeli innych agentów oraz generuje wektor impulsów emocjonalnych. Plan, tj. 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 inne aspekty, takie jak elementy motywacyjne, osobowość, czy zachowanie innych agentów. System uwzględnia 10 emocji o różnym natężeniu, tworzonych według odpowiednich reguł. Uwzględniony jest też model osobowości Rousseau [259].

System ParleE został wdrożony w postaci agenta konwersacyjnego o nazwie Obie, który komunikuje się z użytkownikiem poprzez interfejs tekstowy i modelowaną trójwymiarowo mimikę oraz posiada trzy opcje osobowości: neutralną, optymistyczną i wrażliwą. Przykładowy scenariusz przedstawiony przez autorów można opisać następująco: „Obie idzie do sklepu i kupuje chleb. Obie przynosi do domu chleb. Użytkownik zjada chleb Obiego.” [45]. Oczywiście każda z trzech osobowości Obiego pozwala na inną emocjonalną reakcję: *Neutralna* wersja Obiego złości się, *optymista* ignoruje zdarzenie i nadal jest szczęśliwy, a *wrażliwy* Obie jest bardzo zły.

ParleE korzysta z ostrej formy emocji, zaś składniki, które ją tworzą, należą zarówno do motywacyjnych, jak i poznawczych aspektów. Ponadto ten system, jako jeden z nielicznych, uwzględnia również osobowość i przewidywane zachowanie innych agentów.

### 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 (zwykle malejąca wraz z upływem czasu)
- moment wystąpienia emocji.



Przy tworzeniu emocji system FearNot! uwzględnia parametry agenta związane z jego nastrojem i pobudzeniem. Przy dużym pobudzeniu, agent odczuwa emocje intensywniej, podczas gdy nastrój agenta zwiększa lub zmniejsza możliwość pozytywnych lub negatywnych emocji [242].

Korzystając z modelu OCC, emocje tworzone są na podstawie poznawczej oceny aktualnej sytuacji, która powiązana jest z planami agenta. Z tego powodu na emocje wpływają również realizowane działania (które mogą generować nadzieję, strach lub satysfakcję). Stworzone w ten sposób emocje wskazują, jakie akcje lub obiekty wymagają zaangażowania największej uwagi agenta. Wiedza ta jest następnie uwzględniana 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 strategie takie, jak: akceptacja (np. efektu reakcji o niepożądanym działaniu), myślenie życzeniowe, planowanie, czy wykonywanie akcji.

FearNot! jako wirtualna aplikacja opowiadająca historyjki, służy przeciwdziałaniu przemocy wśród dzieci. Wiedza (pamięć, historia) w tej aplikacji wzrasta dzięki interakcji pomiędzy użytkownikiem a wirtualnym agentem – co określa się jako podejście *wschodzących narracji*. Dzięki temu, użytkownicy FearNot! mogą skutecznie nauczyć się odpowiedniego zachowania [90].

System FearNot! reprezentuje wszechstronne i złożone podejście do budowy obliczeniowych systemów emocji, gdyż na emocje wpływają komponenty kognitywne, motywacyjne, i reaktywne. System ten umożliwia też zmianę interpretacji emocji. Głównym celem emocji jest umiejętne sterowanie zachowaniem agenta oraz jego komunikacją z innymi agentami.

### FAtiMA Modular

FAtiMA (ang. *Fearnot AffecTIve Mind Architecture*) to rozwinięcie projektu FearNot!. FAtiMA jest architekturą emocjonalną przeznaczoną do sterowania wirtualnym agentem autonomicznym [73]. Cykl przetwarzania informacji w FAtiMA można przedstawić za pomocą czterech faz: percepcji, oceny poznawczej, planowania akcji (zgodnie z określonym celem), oraz wdrożenia akcji. Etapy te są bardzo podobne do wspomnianego poprzednio uniwersalnego modelu BDI opisanego przez Reisenzeina [254].

Proces oceny poznawczej w systemie FAtiMA oparty jest na teorii Scherera [267], którą można opisać jak następuje. Przyrostowy proces oceny składa się z sekwencji komponentów oceniających. Na podstawie procesu oceny poznawczej powstają zmienne ocenne, które stanowią podstawę procesu podejmowania decyzji. Agent FAtiMA również uwzględnia model OCC, gdzie zmienne ocenne posiadają określony wpływ na różne emocje, jak to wskazano w tab. 4.2.

Podsumowując, architektura FAtiMA prezentuje dość spójną koncepcję ostrych wartości emocji zmieniających się w czasie. W systemie tym emocje są tworzone przy użyciu wnioskowania OCC oraz teorii ocennej Scherera. Afekty te kwalifikują się do emocji powstających 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 ekspresje agenta lub też jako reakcja agenta na bodźce.

Tabela 4.2: Odniesienie emocji do zmiennych ocennych według teorii OCC [73].

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

## WASABI

WASABI (ang. *Affect Simulation Architecture for Believable Interactivity*) jest przykładem systemu obliczeniowego, w którym emocje zostały zamodelowane w ciągłej trójwymiarowej przestrzeni [28], zbudowanej według współrzędnych PAD, przyjemność-podniecenie-dominacja (ang. *pleasure-arousal-dominance*) [262]. W przestrzeni PAD zdefiniowane są obszary, które posiadają określoną etykietę z zakresu emocji podstawowych. Emocje wtórne zaś (takie jak ulga lub nadzieja) powstają w wyniku wyższych procesów kognitywnych.

Cały system tworzą dwa równoległe procesy: emocjonalny i kognitywny. Proces emocjonalny generuje wektor emocji na podstawie ocenianych impulsów i wyzwalaczy otrzymanych zarówno ze środowiska zewnętrznego, jak i modułu poznawczego. Moduł poznawczy, który może także wytwarzać sygnały emocji złożonych, oparty jest na modelu BDI (ang. *Belief-Desire-Intention*) i architekturze ACT-R (ang. *Adaptive Control of Thought—Rational*). Moduł ten odpowiada za przekazywanie do wykonania pojedynczej akcji, bądź ich sekwencji. Moduł łączący emocje oraz akcje służy zadaniu generowania mowy z uwzględnieniem emocji.

WASABI został użyty jako obliczeniowy system emocji w wirtualnym przewodniku MAX. W zaimplementowanym systemie symulacji przypisano agentowi możliwość posiadania własnych emocji, które mogą mieć swój wyraz w trakcie przeprowadzanej rozmowy. Na przykład, kiedy MAX analizuje środowisko w kontekście wykrycia (koloru) skóry, każda taka nowa osoba będzie wywoływać pozytywny impuls emocjonalny w przestrzeni PAD. Skutkuje to zabarwioną emocjonalnie reakcją agenta. Symulacja ta była prezentowana w trakcie rozmaitych imprez, targów i wydarzeń publicznych [27].

System WASABI nie jest w pełni oparty na kognitywnej ocenie sytuacji. Poza otrzymywaniem ocenionych zewnętrznych bodźców, system może też sam zmienić emocję (np. ze względu na upływ czasu). W tworzeniu emocji uczestniczą zatem komponenty kognitywne oraz czas. Jednak tu emocje nie pełnią takiej roli, jak w wyżej omówionych systemach. Mają one na celu jedynie zmianę emocjonalną sposobu wypowiedzi agenta, a nie modyfikację jego zachowanie. Korzystając z przyjętej ciągłości przestrzeni emocji, w dowolnym momencie agent posiada określoną wartość emocjonalną.



## Cathexis

Cathexis jest systemem, który jako pierwszy uwzględnił hipotezę związaną z markerami somatycznymi [64], która zakłada, że decyzje, które są wykonywane w okolicznościach podobnych do poprzednich doświadczeń, a których wynik mógł być potencjalnie szkodliwy lub korzystny, indukują somatyczne znaczenie (niebezpieczeństwa lub przewagi). Służy ono do szybszego decydowania w takich okolicznościach. System Cathexis, zaimplementowany na robocie Yuppy, składa się z pięciu modułów: percepcji, akcji, zachowania, emocji oraz motywacji [315].

Moduł percepcji odpowiada za odbiór i przetwarzanie danych sensorycznych, które następnie docierają do modułów zachowań i emocji. Moduł motywacyjny składa się z czterech potrzeb: energii (baterii), temperatury (otoczenia), zmęczenia (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<sup>10</sup>. Emocje podstawowe pojawiają się jako odpowiedź na poszczególne bodźce ze środowiska. Dodatkowo moduł emocjonalny uwzględnia emocje wtórne, powiązane z obiektami, na podstawie innych teorii [64]. Moduł zachowań generuje – na podstawie emocji oraz motywacji – najbardziej adekwatne reakcje, które następnie są wdrażane przez moduł akcji.

System Cathexis wbudowany w mobilnego robota Yuppy [314] reprezentuje emocjonalne ‘zwierzątko’ domowe. Jego potrzeby (drugi aspekt motywacyjny) sformułowano w następujących postaciach: ładowanie, temperatura, zmęczenie i ciekawość. O zachowaniach Yuppy’ego decydują zatem emocje i potrzeby – Cathexis wybiera odpowiednie zachowanie ze zbioru reakcji w zależności od odczuwalnych potrzeb i emocji (np. Yuppy może ‘szukać kości’).

System Cathexis oparty jest trzech teoriach: ewolucyjnej oraz oceny somatycznej i kognitywnej. W tworzeniu (ostrzych) emocji uczestniczą komponenty kognitywne, fizjologiczne oraz motywacyjne. System planuje oraz wdraża swoje zachowania odnosząc się do niskopoziomowej i wysokopoziomowej emocji.

## Rozmyty obliczeniowy model emocji i afektu AERFS

System AERFS (ang. *Artificial Emotion Recurrent Fuzzy System*), zaproponowany przez Schneidera i Adamy’ego, jest jednym z nielicznych, które wykorzystują logikę rozmytą jako metodę generowania emocji [269]. Emocja przedstawiona jest jako punkt na płaszczyźnie, której wymiarom przypisano znaczenie pobudzenia oraz wartościowości. System ten opiera się na rekursywnym systemie rozmytym, w którym emocja w aktualnej chwili jest tworzona na podstawie emocji z poprzedniej chwili oraz innych/aktualnych bodźców – co można przedstawić za pomocą (klasycznej) transformacji [1]:  $U \times X \rightarrow X$ . Zaproponowany przez Schneidera [269] obliczeniowy system AERFS oparty jest także na homeostacie motywacyjnym inspirowanym teorią Psi [76].

AERFS zaimplementowano w prostym środowisku symulacyjnym, w którym uwzględniono obecność źródeł energii oraz drapieżników. Agent ma dotrzeć do określonego celu używając jak najmniej energii oraz omijając drapieżniki (które *gryzą*). Uzyskane wyniki symulacji pokazują, że prosty rekursywny system rozmyty działa dobrze w połączeniu z prostymi emocjami.

<sup>10</sup>Np. według teorii Plutchika [247], z radości i strachu powstaje poczucie winy.

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

### Emotion forecasting (FCM)

Salameron [265] sugeruje użycie FCM, rozmytych map kognitywnych (ang. *Fuzzy Cognitive Maps*), jako narzędzia do przewidywania emocji. Emocje oparte są na modelu Thayera [298], który bierze pod uwagę pobudzenie (podekscytowanie lub znudzenie) i wartościowość emocji (pozytywną bądź negatywną). Model skonstruowano na podstawie analizy nastroju oraz koncepcji bio-psychologicznej. Emocje mogą tu przyjmować jedną z dwunastu wartości: podekscytowanie, uszczęśliwienie, zadowolenie, relaksację, spokój, uspokojenie, senność, znudzenie, smutek, nerwowość, gniew, irytację, zaś każda z emocji może być reprezentowana przez jedną z trzech wartości: słaba, średnia i silna – co daje w rezultacie 36 możliwych emocji.

FCM są narzędziem służącym do gromadzenia i reprezentacji wiedzy w celu wnioskowania rozmyto-neuronowego. System został omówiony na prostym przykładzie oczekiwania w przyszłości. Rolę wejścia grają cztery bodźce (w tym długość kolejki), w warstwie ukrytej znajdują się elementy interpretowane jako oczekiwanie i nerwowość, które z kolei generują wyjście w postaci wartościowości i pobudzenia. Na podstawie dobranych wag przejścia pomiędzy warstwami, system generuje emocje w każdym określonym przypadku.

System FCM używa komponentów kognitywnych i motywacyjnych. Może być przypisany do ocennej teorii emocji. Nie używa emocji rozmytych – a jedynie nadaje nazwy określonym przedziałom zmiennej emocjonalnej.

### KARO

KARO jest systemem łączącym w sobie elementy logiki modalnej, logiki dynamicznej i operatorów motywacyjnych [205]. Modeluje on emocje w języku logicznym, wyróżniając operatory wiedzy, przekonań, działań, możliwości i pragnień. System wykorzystuje cztery *zawieszane* (odcięte od zewnątrz) emocje, związane z postawami (i ich źródłem):

- szczęście (dzięki realizacji celów)
- smutek (z powodu nieudanych prób osiągnięcia celów)
- gniew (powodowany długą realizacją aktywnego planu)
- strach (wynikający z konfliktu celów lub niebezpieczeństwa).

System KARO wykorzystuje praktyczną, podobną do BDI notację emocji, a w tym przybliżonym opisie kładzie duży nacisk na dynamikę stanów psychicznych i skutków jego działania.

W odniesieniu do omówionej na wstępie klasyfikacji systemów emocjonalnych, KARO wykorzystuje poznawcze i motywacyjne elementy przy tworzeniu emocji (jako etykiet), a następnie modyfikuje w stosunku do nich priorytety agenta. System nie opiera się na teoriach ewolucyjnej, somatycznej czy kognitywnej, jednak wprowadza pewne elementy teorii OCC (tzn. najbliższej mu do teorii oceny poznawczej).



## MAMID

MAMID realizuje rozszerzony cykl przetwarzania [124, 254]. Od uniwersalnego modelu agenta BDI różni go dołączone procesy uwagi (filtracja i procesy selekcji) oraz oczekiwań (jako dodatkowy proces). MAMID wspiera również pamięć długoterminową, w której przechowywane są przekonania i zasady agenta. System jest wysoko sparametryzowany. Ponadto wydaje się być dość uniwersalny z punktu widzenia spektrum możliwych zastosowań.

Emocje w systemie MAMID tworzone są przy użyciu danych zewnętrznych, ich wewnętrznych interpretacji, pragnień, priorytetów i indywidualnych cech agenta. Emocje posiadają własną wartościowość i stan afektywny (jedną z czterech emocji: strach, gniew, smutek i radość). System może reprezentować *specyfikację* jednostki, jej emocje, pamięć i pewne parametry poznawcze – wykorzystywane przy wyborze najbardziej odpowiedniej reakcji.

System MAMID realizuje założenia poznawczej teorii oceny emocji, wykorzystuje poznawcze i motywacyjne komponenty oraz potrafi tworzyć emocje<sup>11</sup> w postaci wartości ostrych.

### 4.2.2. Porównanie wybranych systemów

Syntetyczne zestawienie obliczeniowych modeli emocji podano w tab. 4.3. Trudno jest porównać ze sobą powyższe systemy emocji ze względu na ich różnorodność oraz brak wystarczająco wszechstronnej i uniwersalnej miary. Nie łatwo jest też porównać ich działanie. Każdy z omawianych systemów wnosi coś jednak do rozwoju obliczeniowych systemów emocji<sup>12</sup>. Z powyższego przeglądu można jednak wyciągnąć następujący wniosek: niemal wszystkie obliczeniowe modele emocji używają oceny poznawczej jako podstawy teoretycznej. Jest to nieco kontrowersyjne, ponieważ teoria oceny poznawczej nie jest jedyną właściwą przy budowie systemu emocji. Kolejny wniosek związany jest z obserwacją, że w takich systemach zarówno ostre, jak i rozmyte reprezentacje logiczne mogą być wykorzystane efektywnie. Nie jest jednak wskazane używanie tylko lingwistycznych pojęć (samych etykiet) jako jedynej formy emocji. Warto też zauważyć, że obliczeniowe modele emocji wykorzystuje się coraz częściej do rozpoznawania emocji na podstawie obrazu, według mimiki twarzy (np. w systemie Affectiva), oraz na podstawie tekstu (jak wspomniany powyżej system oparty na sentymencie).

## 4.3. Komputerowe systemy decyzyjne

Przedstawione poniżej opracowanie dotyczące systemów decyzyjnych zostało zaprezentowane w [153]. Dziedzina sztucznej inteligencji AI (ang. *Artificial Intelligence*) podejmuje się poszukiwania rozwiązań wielu zaawansowanych problemów, wśród których można wyróżnić: wnioskowanie, reprezentację wiedzy, uczenie maszynowe, przetwarzanie języka naturalnego, percepcję maszynową, etc. Poszukiwane rozwiązania mają na celu przyczynienie się do budowy systemu funkcjonującego jak człowiek. W takich badaniach zastosować można różnego rodzaju podejścia: cybernetyczne (postulujące podążanie za odwzorowywaniem naturalnych zjawisk i procesów

<sup>11</sup>Są to niestety tylko cztery emocje.

<sup>12</sup>Z innej jednak strony, nie widać niestety jakiegokolwiek wpływu na rozwój dziedzin humanistycznych.





Tabela 4.3: Porównanie systemów obliczeniowych emocji.

System	Teoria	<i>Sterownik</i>	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

[243]), statystyczne (prowadzące do konstrukcji wyrafinowanych narzędzi matematycznych, typu *czarna skrzynka*, tj. *black-box*, rozwiązujących różnorakie problemy przetwarzania sygnałów [225]), symboliczne (inaczej *top-down* lub *neats*, używające logiki modelowania matematycznego odgórnego/wysokopoziomowego, przetwarzania wiedzy lub uczenia maszynowego [224]), sub-symboliczne (zwane *bottom-up* lub *scruffies*, polegające na wykorzystaniu *małoskalowych* modeli, jak neuron, do tworzenia oddolnych/niskopoziomowych rozwiązań wielkiej skali [43]).

Oprócz powyższego podziału, należy wspomnieć o paradygmacie *silnej sztucznej inteligencji* AGI (ang. *Artificial General Intelligence*), który zakłada, że maszyna może wykonywać wszystkie zadania człowieka (biorąc pod uwagę jego umiejętności umysłowe). AGI zakłada także możliwość sztucznego wykształcenia poczucia *świadomości*. W opozycji do AGI jest paradygmat *słabej sztucznej inteligencji* całkowicie odrzucający możliwość opanowania wszystkich zadań umysłowych, jakich dokonuje człowiek, a w szczególności osiągnięcia świadomości przez maszynę lub sztucznego agenta.

Wspomniane gałęzie AI odnoszą się do modelowania umysłu człowieka, żadne jednak nie spełnia całkowicie swoich założeń. Dlatego też przy praktycznie podejmowanych próbach peł-



nego zamodelowania umysłu człowieka, warto uwzględnić zarówno podejście symboliczne (odgórne), jak i podejście sub-symboliczne (oddolne). Jak bowiem pokazuje doświadczenie, oba podejścia wzajemnie dobrze się uzupełniają<sup>13</sup>. Ponadto zarówno podejścia pod-symboliczne, jak i symboliczne mogą wykorzystywać narzędzia opracowane w ramach statystyki matematycznej. Dopiero takie synergiczne połączenie ma szansę na adekwatne odzwierciedlenie sposobu myślenia człowieka.

*Ucieleśniona inteligencja* (ang. *Embodied Intelligence – EI*) stanowi holistyczne, tj. całościowe podejście<sup>14</sup>, które jest rozszerzeniem koncepcji i projektów cybernetycznych z lat 50-tych, w których dążono do odwzorowania w prosty sposób analizowanego zjawiska *inteligencji* na ‘niskim poziomie’ [42, 43]. Początkowe rozważania [243] dotyczyły np. budowy *homeostatu*, urządzenia zachowującego stabilność mimo zewnętrznych zaburzeń (1946), czy *tortois’a*, robota podążającego do odpowiedniego poziomu naświetlenia (1953). Okazało się bowiem, że emulując za pomocą prostych elementów<sup>15</sup> zupełnie podstawowe funkcje, osiągnąć można całkiem obiecujące rezultaty. Na podstawie takich właśnie próbnich projektów rozwinęła się gałąź zwana *robotyką zachowawczą* [7].

Warto podkreślić, że pomimo względnej prostoty tej koncepcji, wymagane tu procedury – takie jak wyszukiwanie optymalnej trajektorii, czy rozpoznawanie obiektów w środowisku – stanowią ogromne wyzwanie, wiążące się z koniecznością opracowania bardzo złożonych operacji przetwarzania danych/sygnalów, podczas gdy procedury wnioskowania i rozumowania można wdrożyć w stosunkowo prostej postaci (z ewolucyjnego punktu widzenia) [209]:

Kodowane w dużych, silnie rozwiniętych sensorycznych i motorycznych częściach ludzkiego mózgu to wynik miliarda lat doświadczeń z naturą otaczającego świata oraz tego, jak w nim przetrwać. Celowy proces, który nazywamy rozumowaniem, jest najcieńszą okleiną ludzkiej myśli, skuteczną tylko dlatego, że poparta jest przez znacznie starszą i dużo potężniejszą, choć zazwyczaj nieświadomą, wiedzę sensomotoryczną. Wszyscy jesteśmy wspaniałymi olimpijczykami w obszarach percepcyjnych i ruchowych, i to na takim poziomie, że uznajemy rzeczy bardzo trudne za łatwe. Myślenie abstrakcyjne jest jednak nowym trikiem, być może nie starszym niż 100 tysięcy lat. Jeszcze tego nie opanowaliśmy. To nie jest też samoistnie trudne; tak się po prostu tylko wydaje, kiedy to o tym myślimy.

Wydaje się naturalne, że aby skutecznie zamodelować mechanizmy działania ludzkiego umysłu, należy sięgać po stosowne wyniki zarówno w dziedzinie wcielonej inteligencji, zachowawczej robotyki, jak i podejść odgórných. Najpierw jednak należy jasno wyznaczyć określony cel, którym jest osiągnięcie inteligentnego zachowania przez system, agenta lub robota [285]. Mając to na uwadze, należy zatem jasno zdefiniować zarówno *inteligencję*, jako ostateczny cel do osiągnięcia, jak i samo *ucieleśnienie*.

<sup>13</sup>Oba też wywodzą się z podejścia cybernetycznego.

<sup>14</sup>W swoich podstawach przypisywane do sub-symbolizmu.

<sup>15</sup>*Tortois* posiadał jedynie dwa sztuczne neurony.

### 4.3.1. Ucieleśniona Inteligencja

Jedną z pierwszych definicji inteligencji zaproponował Spearman [280]:

...wszystkie gałęzie działalności intelektualnej mają wspólną jedną podstawową funkcję, podczas gdy inne specyficzne elementy tej działalności wydają się w każdym przypadku całkowicie różne od wszystkich pozostałych procesów.

Definicja ta jest jednak zupełnie nieużyteczna w przypadku rozważań nad inteligencją robotów.

Przytoczmy inne definicje opisujące: „Umiejętność radzenia sobie ze złożonością kognitywną” [104] oraz „Zachowanie adaptacyjne ukierunkowanie na cel” [286]. Dzięki nim dostrzec można istotę inteligencji, że jest to zdolność jednostki do aktywnego przetwarzania kognitywnej informacji w celu dostosowywania się do zmiennego środowiska przy dążeniu do realizacji określonych celów własnych. Taką inteligencję prezentuje na przykład robot funkcjonujący sam dla siebie, oraz potrafiący wyszukać sobie źródło energii w celu przetrwania<sup>16</sup>.

W rozmaitych badaniach wyróżnia się inteligencję kognitywną (abstrakcyjną), werbalną, emocjonalną, społeczną, twórczą i wiele, wiele innych. Należy też tutaj wspomnieć o podziale intelektu [112], w którym każda *myśl* może być przypisana do jednego punktu w pewnej dyskretnej przestrzeni o trzech wymiarach, obejmujących konkretne elementy (rys. 4.4):

- operacji: postrzegania, zapisu do pamięci, odczytu z pamięci, kreatywności, rozwiązywania problemu i oceniania
- treści, obejmującej materiał/przedmiot operacji: wizualny, słuchowy, symboliczny, semantyczny i behawioralny
- wytworów (rezultatów): jednostek, klas, relacji, systemów, transformacji oraz implikacji.

Jednak najbardziej popularnym podziałem jest klasyczny podział Spearmana [280], w którym wyróżniona się dwa czynniki inteligencji: czynnik ogólny ( $g$ ), odpowiadający za logiczne rozumowanie i silnie skorelowany z cechami biologicznymi takimi, jak: masa kory przedczołowej, ogólna masa mózgu, współczynnik metabolizmu glukozy w mózgu, oraz czynnik specyficzny ( $s$ ), odpowiadający za konkretne zdolności.

Ucieleśnienie w przypadku człowieka oznacza, że całe postrzeganie świata rzeczywistego jest uzależnione od aspektów fizycznych, tj. zmysłów i sposobów postrzegania przez nie świata. Ucieleśnienie związane jest to z filozofią umysłu, w szczególności problemem ‘ciało-umysł’ dawno sformułowanym przez Kartezjusza [4].

Według Starzyka [285], inteligencja nie mogłaby się rozwinąć bez ucieleśnienia. Również w przypadku agentów wirtualnych, czy zrobotyzowanych – aby mówić o inteligencji, należy ją przede wszystkim umieścić w jakimś środowisku oraz umożliwić dwustronną interakcję. Ucieleśnienie jest zatem definiowane jako:

...mechanizm kontrolowany przez rdzeń inteligencji, który zawiera czujniki i akulatory połączone z rdzeniem za pośrednictwem kanałów komunikacyjnych.

Według tej definicji, ucieleśnienie pozwala na proste rozszerzenie kanału interakcji agenta ze środowiskiem o nowe narzędzia poszerzające percepcję lub umożliwiające dodatkowe czynności.

<sup>16</sup>Przywodzi to na myśl wspomniany wcześniej model *tortois* i podobne teorie cybernetyczne.

### 4.3.2. Przegląd zaawansowanych systemów decyzyjnych

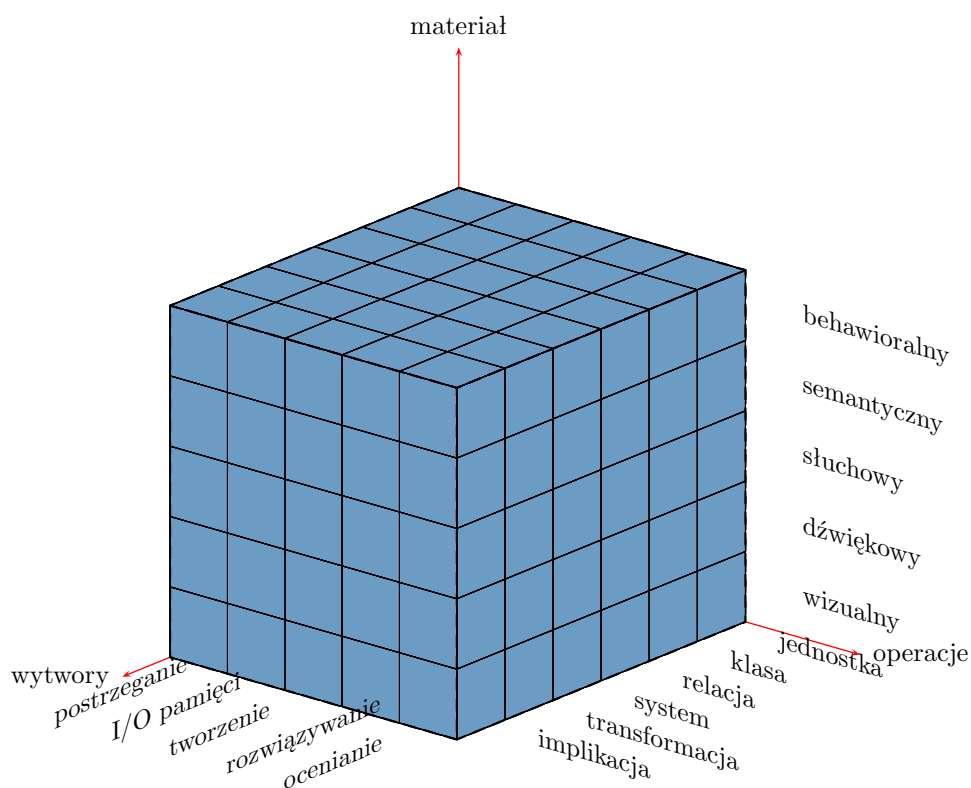
Mimo wielkich możliwości obliczeniowych komputerów, nie można jeszcze stworzyć systemu, który będzie podejmował samodzielnie decyzje adekwatne do sytuacji. Aktualnie powstaje coraz więcej zaawansowanych systemów eksperckich [29] i systemów podejmujących decyzje, opartych na sieciach Bayesowskich [318] i neuronowych [270], które wspomagają podejmowania decyzji przez człowieka – jednak zwykle w bardzo wąskim zakresie.

W ramach problematyki podejmowania decyzji, wyróżnić można dwie ścieżki:

- klasyczną, wyszukującą optymalną decyzję w dobrze zdefiniowanym problemie
- kognitywistyczną, która ma na celu dokonanie rozwiązania problemu rzeczywistego, nie w pełni zdefiniowanego.

Klasyczna teoria decyzji mówi o tym, że decyzje powinny być podejmowane w sposób optymalny. W ten sposób rozwiązuje się zadania z dobrze określonej dziedziny (ang. *well defined problems*). Teoria kognitywistyczna [103] mówi zaś, że prawdziwie *skuteczne* decyzje powinny być podejmowane w świecie rzeczywistym (ang. *real world problems*).

Pierwszy podział procesu decyzyjnego (w relacji do człowieka) został wykonany przez John'a Dewey'a [72]. Według niego można wyróżnić pięć faz w procesie podejmowania decyzji: zdefiniowanie problemu, wskazanie jego charakteru, znalezienie możliwych rozwiązań, ich ocena, oraz wybór właściwego rozwiązania.



Rysunek 4.4: Model intelektu Guilforda.

Opierając się na podejściu GOFER [189], najbardziej uniwersalnym i aktualnym, 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 też inne podejścia do tego podziału [39, 207, 244], kiedy – w największym uproszczeniu – proces podejmowania decyzji wyraża się w trzech fazach [276]:

1. zdefiniowanie problemu podjęcia decyzji
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 motywację skłaniającą do podejmowania działań.

Istnieje spora liczba systemów podejmowania decyzji oparta na ludzkich czynnikach motywacyjnych, albowiem to 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 warto wyróżnić:

- behawioralne [7, 67]
- emocjonalne (opisane powyżej)
- BDI<sup>17</sup> (też powiązane ze wspomnianymi wcześniej systemami emocjonalnymi) [116, 148]
- oparte na potrzebach [117, 227]
- kognitywne, opisane w dalszej części.

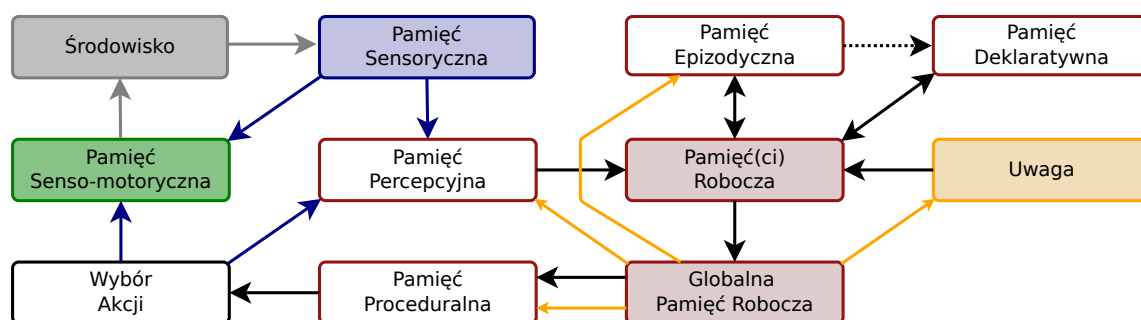
Najbardziej zaawansowanymi systemami spośród wyżej wymienionych są architektury kognitywne, wśród których wyróżniają się takie systemy, które w największym stopniu oparte są na modelach psychologii poznawczej. Przytoczyć można w tym miejscu stronę (BICA), na której figuruje szczegółowe porównanie architektur kognitywnych. Ze względu na dość dużą złożoność takich systemów, poniżej przedstawiamy trzy architektury, najlepiej (subiektywnie) odwzorowujące modele psychologiczne: LIDA, CLARION oraz Soar.

## LIDA

LIDA (ang. *Learning Intelligent Distribution Agent*) (rys. 4.5) jest systemem poznawczym modelującym *poznanie biologiczne*, wprowadzonym przez Franklina [94]. Wdraża on architekturę subsumpcji [43] 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), sposoby nauki, mechanizmy uwagi szczególnej i motywację w formie emocji.

<sup>17</sup>Beliefs-Desires-Intentions.





Rysunek 4.5: Architektura poznawcza LIDA: szare linie reprezentują interakcję ze środowiskiem, niebieskie – niskopoziomowe przetwarzanie, pomarańczowe procesy związane z uczeniem się, natomiast kropkowana strzałka wskazuje konsolidację pamięci.

LIDA opiera się na cyklu kognitywnym, w którym mieści się percepcja, wybór odpowiedniej reakcji (względem postrzeganych elementów środowiska) oraz jej wdrożenie. W skrócie cykl nosi nazwę ‘percepcja-akcja’. Zaawansowane procesy poznawcze, takie jak np. planowanie, składają się z wielu takich cykli. Aspekty motywacyjne w architekturze LIDA składają się z odczuć, które posiadają wartościowość (pozytywną lub negatywną) połączoną z zadowoleniem lub bólem (co wiąże się z aspektem emocjonalnym).

Bodźce, zarejestrowane przez sensory i rozpoznane w oparciu o pamięć sensoryczną, przetwarzane są w pamięci roboczej, z użyciem różnych długoterminowych mechanizmów pamięci (przestrzennej, epizodycznej, deklaratywnej, lub 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 do modelu lub uczenie którejkolwiek pamięci długotrwałej. Wybrana akcja jest wdrażana przez efekторы/aktuatory (za pomocą pamięci senso-motorycznej), co prezentuje rys. 4.5.

## CLARION

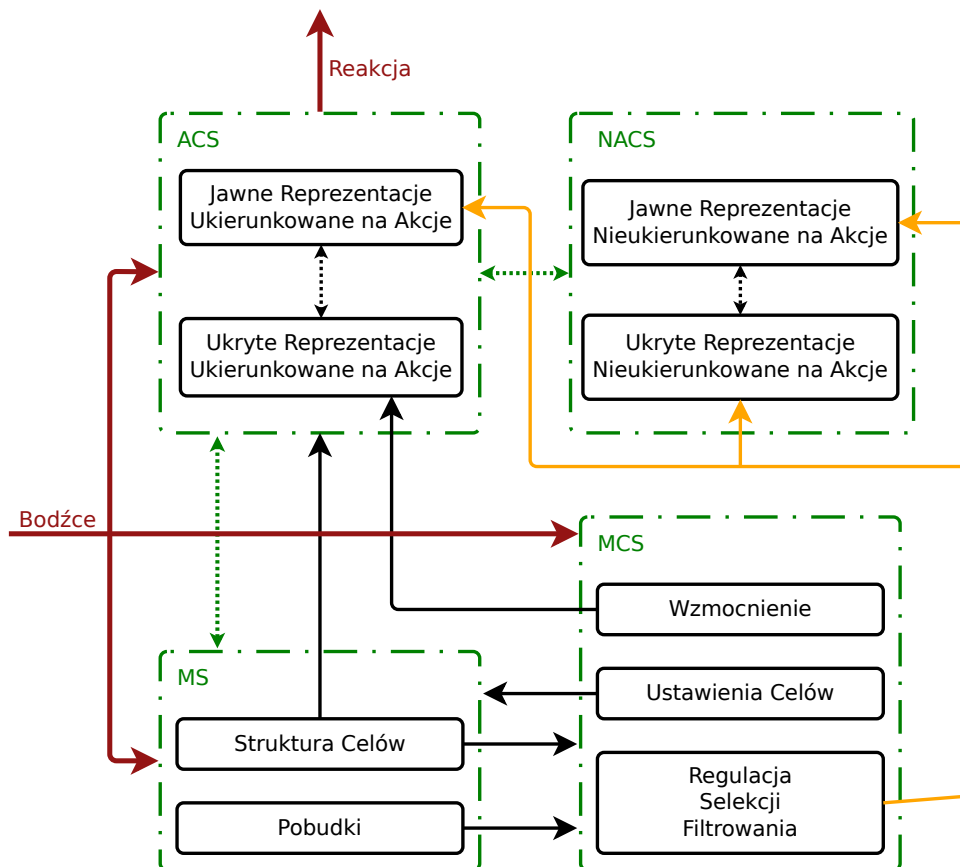
CLARION (ang. *Connectionist Learning with Adaptive Rule Induction On-line*) jest architekturą opracowaną na podstawie psychologii poznawczej i społecznej. Implementuje ona również elementy sztucznej inteligencji oraz systemy *quasi*-inteligentne. Architektura CLARION została zaprojektowana i implementowana w zespole Rona Suna [293, 294], w postaci złożonej z czterech podsystemów:

- ACS (ang. *Action Centered Sub-system*) (system proceduralny)
- NACS (ang. *Non-Action Centered Sub-system*)
- MS (ang. *Motivational Sub-system*)
- MCS (ang. *Meta-Cognitive Sub-system*).

W każdym podsystemie dane/struktury reprezentowane są dualnie: jawnie (ang. *explicit*) na poziomie wyższym i niejawnie (ang. *implicit*) na poziomie niższym (rys. 4.6). CLARION umożliwia autonomiczne uczenie zarówno w podejściu oddolnym (indukcja), jak i odgórnym (dedukcja). W swoich założeniach spełnia przedstawione wcześniej przesłanki ucieleśnionej inteligencji.

Podsystem zorientowany na akcję (ACS) odpowiada za wszelkiego rodzaju reakcje agenta, zarówno zewnętrzne dotyczące środowiska, jak i wewnętrzne. Część ukryta jest zrealizowana jako sieć neuronowa, podczas gdy warstwa jawna stanowi bazę reguł. Drugi podsystem (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 notacji symbolicznej i reguł. NACS modeluje pamięć semantyczną i epizodyczną. Moduł ten używa metod wnioskowania opartego na zadanych rozkładach podobieństw.

W tego typu systemie oczywiście nie brak elementów modelujących motywację (MS), które również można podzielić na jawne i ukryte. Do elementów jawnych (w rodzaju potrzeb wyższego poziomu) należą cele (ang. *explicit goals*) takie, jak: przynależność, uznanie, władza, autonomia, szacunek, uczciwość. Z drugiej strony CLARION używa też motywacji niskiego poziomu (ang. *drive activations*), na które składają się (głównie fizjologiczne) *potrzeby* takie, jak: jedzenie, picie, sen, bezpieczeństwo, czy reprodukcja. Dodatkowo w tym systemie możliwe jest projektowanie wtórnych własnych *potrzeb*.



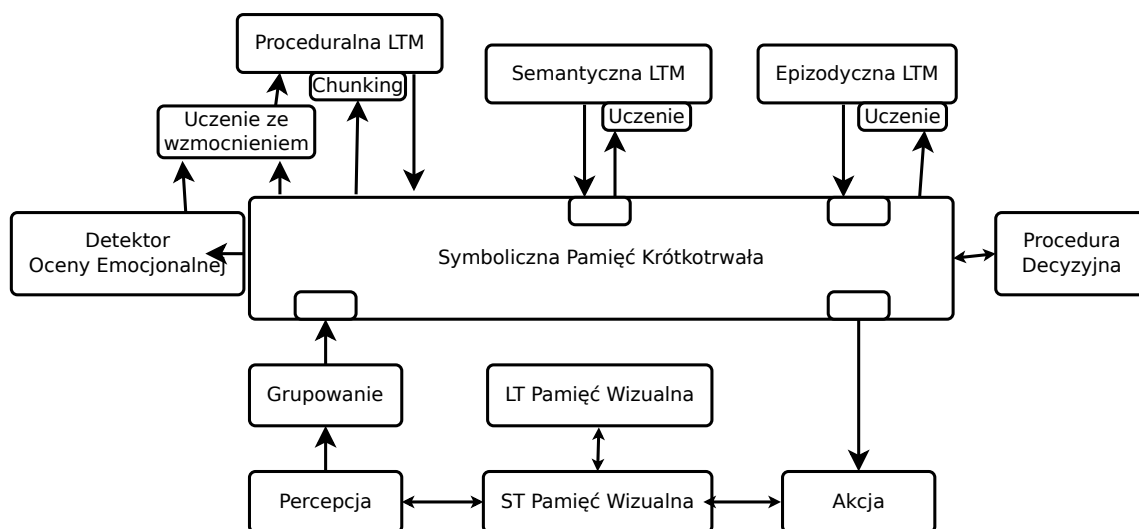
Rysunek 4.6: Architektura kognitywna CLARION: pomarańczowe linie reprezentują procesy uwagi (w ogólności), zielone wymianę danych, podczas gdy czerwone reprezentują interakcję ze środowiskiem.



Podsystem MCS w CLARION realizuje rolę meta-poznawczą. Odpowiada on za *świadomość* wszystkich innych procesów poznawczych agenta, gdyż je reguluje i kontroluje. Dokładniej, wskazuje, które cele są najważniejsze, w jaki sposób należy regulować wzmocnienie przy nauce i filtrować informacje, jak również wybiera sposoby interpretacji, wnioskowania oraz nauki w aktualnej chwili działania systemu.

## Soar

SOAR (ang. *State, Operator And Result*) to architektura kognitywna stworzona przez Lairda, Newella, i Rosenbloom [162, 163]. 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 wypełniał przesłanki ucieleśnienia, powinien reagować ze światem zewnętrznym oraz uczyć się go. Soar spełnia wszystkie te założenia – każda decyzja podejmowana jest w nim na podstawie aktualnej sytuacji, tj. wiedzy opartej na informacji z sensorów. Główną rolę w tej architekturze odgrywają reguły sformowane w postaci systemu eksperckiego.



Rysunek 4.7: System kognitywny Soar (w wersji 9).

Architektura poznawcza Soar złożona jest elementów takich, jak [161]:

- pamięć, przechowująca wiedzę
- moduł przetwarzania (uwaga), mający na celu ekstrakcję, wyznaczenie, mieszanie i zapisywanie wiedzy
- język (semantyczny), służący do przechowywania wiedzy.

Działanie systemu Soar (podobnie jak architektury LIDA), opiera się na cyklu decyzyjnym. Percepcja systemu analizuje 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 wyznaczane są preferencje agenta. Posiadając zbiór możliwych reakcji oraz preferencji (obliczonych na ich podstawie), wybierana jest jedna reakcja, najbardziej właściwa w danej sytuacji, która jest następnie aplikowana przez aktuatory.

Całokształt systemu zilustrowano na rys. 4.7, gdzie pokazano przede wszystkim architekturę poznawczą Soar, natomiast opisany wcześniej cykl decyzyjny oznaczony został jako blok procedury decyzyjnej. W systemie Soar występują emocje, które służą jako wzmocnienie w procesie uczenia (pośrednio poprzez nastrój i uczucia). Uwzględniona została również pamięć semantyczna, która stanowi dodatek do wiedzy proceduralnej. Dzięki temu agent realizuje funkcje przechowywania i odtwarzania informacji o środowisku. Z kolei pamięć epizodyczna zawiera wiedzę, która została uzyskana w trakcie wykonywania własnych akcji, w postaci bezpośredniego zapisu kodu wykonanej akcji i aktualnego (w danej chwili) stopnia spełnienia reguł. Dodatkowym elementem systemu jest długoterminowa pamięć wizualna (krótko- i długo-trwała), która pomaga w operacjach związanych z przetwarzaniem przestrzennym.

#### 4.3.3. 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 koncepcji, jak i mechanizacji. Ze względu na znaczną różnorodność aplikacji, jak i zakres zastosowań omawianych systemów, trudno jest porównać je pod kątem parametrów takich, jak: złożoność obliczeniowa, szybkość reakcji, czy dokładność wykonywania określonych działań (zadań). Idealem byłoby opracowanie sensownego testu dla schematów poznawczych – o podobnych walorach, jak syntetyczny test, służący miarodajnemu porównaniu zachowań ludzkich. Łatwiej jest porównać analizowane architektury kognitywne pod względem budowy oraz sposobu napędzania reakcji, jak to pokazano w tab. 4.4.

Każdy z przedstawionych powyżej systemów uwzględnia pewien sposób modelowania procesów poznawczych człowieka, przez co mniej lub bardziej wyjaśnia się albo dowodzi (przynajmniej częściowo) określonych teorii dotyczących procesów poznawczych. Pozwala to zarówno na ewaluację teorii psychologicznych, jak i na uogólnienie procesów poznawczych dla autonomicznego agenta. Przykładowo, każdy z systemów posiada pewną jednostkę podstawową pamięci, która zawiera informację o obiekcie rzeczywistym. Jednostka taka oraz pamięć semantyczna są niezbędne z punktu widzenia autonomicznego robota. Należy zauważyć, że omawiane powyżej architektury kognitywne mają przede wszystkim wykonywać zadanie podejmowania decyzji w warunkach pracy autonomicznej, czyli dbać bardziej o dobre modelowanie otoczenia jednostki niż o samo wnioskowanie. Systemy te kładą duży nacisk na sposoby opisu środowiska agenta, aby mógł on bezpiecznie i skutecznie wchodzić w interakcję (współdziałać).

W celu najbardziej efektywnego i profesjonalnego porównania powyższych systemów, należałoby każdy z nich zaimplementować na ustalonej platformie autonomicznego robota mobilnego, a następnie przetestować w identycznych warunkach. Dałoby to pewniejsze wyniki niż kompletna komputerowa symulacja (która też może przysporzyć ciekawej wiedzy).

Tabela 4.4: Porównanie architektur kognitywnych.

	LIDA	CLARION	SOAR
struktura	cykle percepcja-akcja	podsystemy jawne oraz ukryte (równoległe)	cykle
bodźce	wewnętrzne oraz zewnętrzne	zewnętrzne	zależne od projektanta
pamięć percepcyjna	Slip-Net (pamięć asocjacyjna)	połączona z pamięcią roboczą	<i>brak danych</i>
podstawowa jednostka pamięci	codlet	kawałek	reguła
pamięć krótkotrwała	(ang. <i>global workspace theory</i> )	ograniczona (wzrokowo-przestrzenna, słuchowa, ...)	symboliczna
struktura pamięci LTM	percepcyjne, epizodyczne, deklaratywne, proceduralne	Non-Action Centered Sub-system (obejmuje wiedzę semantyczną oraz asocjacyjną)	proceduralna, semantyczna, epizodyczna
pobudki do działania	<i>brak danych</i>	podobne do ludzkich potrzeb i celów	emocje
emocje	<i>uczucia</i> (dodatnie lub ujemne)	<i>brak danych</i>	ocenne (nastroj 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

W szczególności, architektury kognitywne powinny być testowane pod kątem:

- percepcji – względem prędkości i trafności rozpoznawania otoczenia agenta
- uwagi – z przypisywaniem ważności obiektom, biorąc pod uwagę bezpieczeństwo agenta oraz decyzje podejmowane przez niego
- podejmowania decyzji – zwłaszcza adekwatności decyzji w warunkach niepewności
- zdolności uczenia się i wyciągania wniosków – czy potrafi agent usunąć błędy realizacji zadań oraz rozbudować swoją *wiedzę* na temat otaczającego środowiska
- mocy obliczeniowej, niezbędnej do poprawnego funkcjonowania systemu.

Ze względu na ograniczenia czasowe i kosztowe, próba pełnego porównania jest nieosiągalna, dlatego powyżej przedstawiono tylko prostą wersję porównania architektur kognitywnych opartą jedynie na parametrach budowy przedstawionych systemów poznawczych.

#### 4.4. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale zawarto pobieżny przegląd zagadnień związanych z budowaniem antropoidalnych (głównie autonomicznych) modeli, robotów i systemów wzorowanych na zachowaniach człowieka. Przegląd ten nie jest kompletny, ani wyczerpujący, choćby z uwagi na ciągły postęp technologiczny, ponieważ nieustannie pojawiają się nowinki techniczne, nowe wyniki badań oraz nowe modele robotów humanoidalnych (np. ROMEO, Aldebaran Robotics).

---

## ZAKOŃCZENIE

Niniejsza praca posiada zasadniczo<sup>1</sup> teoretyczny charakter. Jej głównym celem jest przedstawienie podstawowych zagadnień z zakresu psychologii już wykorzystywanych lub reprezentujących duży potencjał w procesach konstrukcji różnego rodzaju systemów autonomicznych. W pracy przedstawiono elementy psychologii poznawczej, teorii motywacji i teorii emocji. Pokazano również przykłady zastosowań w postaci humanoidalnych robotów lub wirtualnych agentów, a także teoretyczne, choć już stosowane architektury kognitywne.

Szczególony nacisk położono na wybrane elementy psychologii poznawczej, bowiem w naturalny sposób stanowi ona podstawę wszystkich systemów autonomicznych dedykowanych urządzeniom mobilnym oraz w pewien sposób ‘inteligentnym’. W większości przypadków system autonomiczny sprowadza się do odpowiednio oprzyrządowanego systemu komputerowego, posiadającego system operacyjny, sensory i akulatory<sup>2</sup> oraz pamięci, jak również stosowny moduł podejmowania decyzji. Zestaw taki można przełożyć na funkcjonalne moduły percepcji, uwagi, pamięci i myślenia<sup>3</sup>. Wśród szczegółowo opisanych w drugim rozdziale komponentów psychologii poznawczej dominują mechanizmy uwagi oraz reprezentacje pamięciowe. Wewnętrzne zarządzanie *metaprocjami* jest bowiem najważniejszą koncepcją implementowaną w systemach autonomicznych. W ramach omawiania takich procesów przedstawiono szereg teorii służących przetwarzaniu (filtrowaniu) bodźców oraz optymalnej<sup>4</sup> kontroli przepływu informacji.

W pracy przedstawiono też teorie związane z motywacją człowieka oraz jego emocjami. Każdą z teorii motywacji można przypisać do jednego z czterech podstawowych typów: homeostaticznego, behawiorystycznego, poznawczego i humanistycznego, które charakteryzują źródło zmian (sygnałów) utożsamianych z motywacyjnym czynnikiem (popędem, potrzebą, itp.).

---

<sup>1</sup>Zwłaszcza z punktu widzenia inżynierii systemów oraz automatyki i robotyki.

<sup>2</sup>Elementy wykonawcze takie, jak manipulator, sygnalizator, wyświetlacz lub kompletny monitor.

<sup>3</sup>Podstawowych działań humanoidalnych, przypisywanych człowiekowi.

<sup>4</sup>Pozwalającej na oszczędzanie wewnętrznej energii komputera zarządzającego implementowanymi systemami (robotami, agentami).

Większość aspektów oraz zadań związanych z motywacją w robotyce opiera się na behawioryzmie – jest to bowiem najprostsza forma podejmowania decyzji (w parze ‘bodziec-reakcja’). Pojawiają się jednak wyjątki od tej reguły, gdyż na przykład istnieją systemy sterowane potrzebami (z tzw. motywacją humanistyczną). Ponadto, alternatywną podstawę sterowania stanowią mogą również emocje. Przykładowo, w momencie wystąpienia zagrożenia mogą one *przejąć* kontrolę nad systemem i błyskawicznie wywołać odpowiednią reakcję. Podobne podejście od dawna stosuje się w sterowaniu adaptacyjnym pod hasłem sterowania opartego na zmiennej programującej SVC [62, 154].

Powstało wiele obliczeniowych systemów emocji. Część z nich oparta jest koncepcjach oraz teorii zbiorów rozmytych. Są one coraz częściej stosowane w automatyce i robotyce ze względu na swoją prostotę i skuteczność, a także rosnące wymagania dotyczące płynnej (komunikacyjnej) interakcji pomiędzy człowiekiem a robotem.

Na koniec przedstawiono możliwości współczesnych robotów humanoidalnych, które obecnie podlegają coraz bardziej dynamicznemu rozwojowi. Na przykład niektóre z nich potrafią chodzić po drabinach, podczas gdy inne posiadają różne opcje mimiki ‘twarzy’ przydatne w okazywaniu mechanicznych emocji. Pokazano również przykłady architektur kognitywnych oraz systemów obliczeniowych emocji używanych w rzeczywistych aplikacjach. W ten sposób, oprócz realizacji celów teoretycznych, praca obejmuje również pewne aspekty praktyczne.

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Adamy J., Kempf R.: Regularity and chaos in recurrent fuzzy systems. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 140, no. 2, pp. 259–284, 2003.
- [2] Agrawal T., Gopinath D.: Localization using relative mapping technique for mobile soccer robots. — (ed.): *Intern. Conference on Communication and Signal Processing*, pp. 265–269. IEEE 2013.
- [3] Albertazzi L., van Tonder G.J., Vishwanath D.: *Perception Beyond Inference: The Information Content of Visual Processes*. MIT Press 2010.
- [4] Alsop S.: *Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science.*, vol. 26. Springer Science & Business Media 2005.
- [5] Aristotele: *Rhetoric*, Tech. rep. The Internet Classics Archive -350.
- [6] Aristotele: *Poetics*, Tech. rep. The Internet Classics Archive 350 BCE.
- [7] Arkin R.C.: *Behavior-Based Robotics*. MIT Press, Cambridge, MA 1998.
- [8] Armstrong D.M.: What is consciousness? — (ed.): *The Nature of Mind*. Cornell University Press 1981.
- [9] Arnold M.B.: *Emotion and Personality*. Columbia University Press, New York 1960.
- [10] Arnold M.B., Gasson J.A.: *The Human Person. An Approach to an Integral Theory of Personality*. The Ronald Press Company, New York 1954.
- [11] Arons B.: *A review of the cocktail party effect*. MIT Media Lab., Cambridge 1992.
- [12] Ashby W.R.: *Design for a brain; the origin of adaptive behavior*. Wiley, New York 1960.
- [13] Atkinson R.C., Shiffrin R.M.: Human memory: A proposed system and its control processes. — Spence K.W., Spence J.T. (eds.): *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Chapter 2, pp. 89 — 105. New York: Academic Press 1968.
- [14] Atkinson R.C., Shiffrin R.M.: The control of short-term memory. *Scientific American*, vol. 224, no. 2, pp. 82–90, 1971.
- [15] Atmanspacher H.: Quantum approaches to consciousness. — Zalta E.N. (ed.): *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, (summer 2011 edition). Stanford University 2011.
- [16] Averbach E., Coriell A.S.: Short-Term memory in vision. *Bell System Technical Journal*, vol. 40, no. 1, pp. 309–328, 1961.

- [17] Baddeley A.: Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 49A, no. 1, pp. 5–28, 1996.
- [18] Baddeley A.: The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, no. 11, pp. 417–423, 2000.
- [19] Baddeley A.: The psychology of memory. — Baddeley A.D., Kopelman M.D., Wilson B.A. (eds.): *The Essential Handbook of Memory Disorders for Clinicians*, pp. 1–13. John Wiley & Sons, Chichester, UK 2004.
- [20] Baddeley A.D.: Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 18, no. 4, pp. 362–365, 1966.
- [21] Baddeley A.D., Hitch G.: Working memory. — (ed.): *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, vol. 8, pp. 47–89. Academic Press, New York 1974.
- [22] Bahrck H.P.: Fifty years of second language attrition: implications for programmatic research. *The Modern Language Journal*, vol. 68, no. 2, pp. 105–118, 1984.
- [23] Bahrck H.P.: Long-term maintenance of knowledge. — Tulving E., Craik F.I.M. (eds.): *The Oxford Handbook of Memory*, pp. 347–362. New York: Oxford University Press 2000.
- [24] Ballard P.B.: Obliviscence and reminiscence. *British Journal of Psychology*, vol. 1, no. 2, 1913.
- [25] Baron J.: *Thinking and Deciding*, (fourth edition). Cambridge University Press 2008.
- [26] Bateson M., Desire S., Gartside S.E., Wright G.A.: Agitated honeybees exhibit pessimistic cognitive biases. *Current Biology : CB*, vol. 21, no. 12, pp. 1070–1073, 2011.
- [27] Becker-Asano C.: *WASABI: Affect Simulation for Agents With Believable Interactivity*, Ph.D. thesis. Faculty of Technology, University of Bielefeld 2008.
- [28] Becker-Asano C.: WASABI for affect simulation in human-computer interaction. — (ed.): *Proc. International Workshop on Emotion Representations and Modelling for HCI Systems*, 2014.
- [29] Bennett C.C., Doub T.W.: Artificial intelligence in behavioral and mental health care. — Luxton D.D. (ed.): *Artificial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care*, Chapter 2, pp. 27–51. Elsevier 2016.
- [30] Berlyne D.E.: *Conflict, Arousal, and Curiosity*. McGraw-Hill series in psychology, McGraw-Hill 1960.
- [31] Berlyne D.E.: *Structure and direction in thinking*. 2, John Wiley, Oxford, England 1965.
- [32] Blatt S., Stein M.: Efficiency in problem solving. *The Journal of Psychology*, vol. 48, pp. 193–213, 1959.
- [33] Bogue R.: Brain-computer interfaces: control by thought. *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 37, no. 2, pp. 126–132, 2010.
- [34] Boucenna S., Narzisi A., Tilmont E., Muratori F., Pioggia G., Cohen D., Chetouani M.: Interactive technologies for autistic children: A review. *Cognitive Computation*, 2014.
- [35] 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., Gar-



- cia V.: Learning through ferroelectric domain dynamics in solid-state synapses. *Nature Communications*, vol. 8, p. 14736, 2017.
- [36] Bradley M.M., Greenwald M.K., Petry M.C., Lang P.J.: Remembering pictures: pleasure and arousal in memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, vol. 18, no. 2, pp. 379–90, 1992.
- [37] Breazeal C.: Robot in society: friend or appliance? — (ed.): *Agents99 Workshop on Emotion-Based Agent Architectures*, pp. 18–26, Seattle, WA 1999.
- [38] Breland S., McKinney D., Parry D., Peachey C.: NRL designs robot for shipboard firefighting. *Naval Research Laboratory. SPECTRA*, vol. 1, pp. 8–10, 2012.
- [39] Brim N., Orville G., Glass D.C.: *Personality and Decision Processes: Studies in the Social Psychology of Thinking*. Stanford University Press 1962.
- [40] Broadbent D.E.: A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychological Review*, vol. 64, no. 3, pp. 205–215, 1957.
- [41] Broadbent D.E.: *Perception and Communication*. Pergamon Press, London 1958.
- [42] Brooks R.: Intelligence without reason. — (ed.): *Intern. Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 569–595, Sydney 1991.
- [43] Brooks R.A.: Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, vol. 47, no. 1-3, pp. 139–159, 1991.
- [44] Bruner J.S.: *Beyond the Information Given: Studies in the Psychology of Knowing*. W W Norton & Company Incorporated 1973.
- [45] Bui T., Heylen D., Poel M., Nijholt A.: ParleE: an adaptive plan based event appraisal model of emotions. — (ed.): *KI 2002: Advances in Artificial Intelligence*, pp. 1–9. Springer 2002.
- [46] Buller A.: *Sztuczny Mózg: To Już Nie Fantazje*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
- [47] Buschman T., Miller E.: Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, vol. 315, no. 1860, pp. 1860–1862, 2007.
- [48] Buss D.: *Evolutionary Psychology: The New Science of the Mind*, (3rd edition). Pearson 2008.
- [49] Carr T.H., McCauley C., Sperber R.D., Parmelee C.M.: Words, pictures, and priming: on semantic activation, conscious identification, and the automaticity of information processing. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, vol. 8, no. 6, pp. 757–777, 1982.
- [50] Carver L.J., Bauer P.J.: The dawning of a past: the emergence of long-term explicit memory in infancy. *Journal of Experimental Psychology. General*, vol. 130, no. 4, pp. 726–45, 2001.
- [51] Cave K.R., Wolfe J.M.: Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, vol. 22, no. 2, pp. 225–271, 1990.
- [52] Chao C., Thomaz A.: Timing in multimodal turn-taking interactions: control and analysis using timed petri nets. *Journal of Human-Robot Interaction*, vol. 1, no. 1, pp. 4–25, 2012.

- [53] Chen L., Bechkoum K., Clapworthy G.: Equipping a lifelike animated agent with a mind. — (ed.): *Intelligent Virtual Agents Lecture Notes in Computer Science*, Intelligent Virtual Agents, pp. 72–85. Springer 2001.
- [54] Cherry C.E.: Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 25, no. 5, pp. 975–979, 1953.
- [55] Cherry K.: *Theories of Motivation: A Closer Look at Some Important Theories of Motivation* 2014.
- [56] Chomsky N.: A review of B. F. Skinner's verbal behavior. — Jakobovits L.A., Miron M.S. (eds.): *Readings in the Psychology of Language*, pp. 142–143. Prentice-Hall 1967.
- [57] Cohen G., Kiss G., Voi M.E.L.: *Memory: Current Issues*. Open University Press, Buckingham 1993.
- [58] Cowan N.: *Attention and Memory*. Oxford University Press 1995.
- [59] Cowan N.: The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *The Behavioral and Brain Sciences*, vol. 24, no. 1, pp. 87–114, 2001.
- [60] Craik F.I.M., Lockhart R.S.: Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, vol. 11, no. 6, pp. 671–684, 1972.
- [61] Crowder R.G., Morton J.: Precategorical acoustic storage (PAS). *Perception & Psychophysics*, vol. 5, no. 6, pp. 365–373, 1969.
- [62] Czubenko M.: *Antropoidalny Model Inteligentnego Systemu Decyzyjnego Dla Jednostek Autonomicznych*, Ph.D. thesis. Gdańsk University of Technology, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, Gdańsk 2017.
- [63] Czyżewski A., Dalka P., Kunka B., Kupryjanow A., Lech M., Ody P.: Multimodal human-computer interfaces based on advanced video and audio analysis. — Hippe Z.S., Kulikowski J.L., Mroczek T., Wtorek J. (eds.): *Human-Computer Systems*, vol. 300/3 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 87–102. Springer 2014.
- [64] Damasio A.: *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Gosset/Putnam, New York 1994.
- [65] Daniel B., Korondi P., Thomessen T.: New approach for industrial robot controller user interface. — (ed.): *39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, pp. 7831–7836. IEEE 2013.
- [66] Darwin C.: *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. John Murray, London 1872.
- [67] De Silva L., Ekanayake H.: Behavior-based robotics and the reactive paradigm a survey. — (ed.): *Intern. Conference on Computer and Information Technology*, pp. 36–43. , Khulna 2008.
- [68] Descartes R.: *Passions of the Soul*. Hackett Publishing Company, Inc. 1989.
- [69] Descartes R., Lafleur L.J.: *Discourse on Method and Meditations*. The Liberal Arts Press, New York 1960.
- [70] Deutsch J.A., Deutsch D., Lindsay P.H., Treisman A.M.: Comments and reply on "selective attention: perception or response?" *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 19, no. 4, pp. 362–7, 1967.

- [71] Deutsch T., Muchitsch C., Zeilinger H., Bader M., Vincze M., Lang R.: Cognitive decision unit applied to autonomous biped robot NAO. — (ed.): *9th Intern. Conference on Industrial Informatics*, pp. 75–80. IEEE, Caparica, Lisbon 2011.
- [72] Dewey J.: *How We Think*. D.C. Heath & Company, Mineola, N.Y. 1910.
- [73] Dias J., Mascarenhas S., Paiva A.: Fatima modular: towards an agent architecture with a generic appraisal framework. — (ed.): *Emotion Modeling*, vol. 8750 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 44–56. Springer 2014.
- [74] Dias J.A.: *FearNot!: Creating Emotional Autonomous Synthetic Characters for Emphatic Interactions.*, Ph.D. thesis. Lisbon: Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal 2005.
- [75] Domańska Ł.: Zaburzenia uwagi u osób z dysfunkcjami mózgowymi. — Kądziaława A., Herzyk D. (eds.): *Związek Mózg-Zachowanie W Ujęciu Neuropsychologii Klinicznej*, pp. 89–110. Wydawnictwo UMCS, Lublin 1997.
- [76] Dorner D., Hille K.: Artificial souls: motivated emotional robots. — (ed.): *Intern. Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 4, pp. 3828–3832. IEEE 1995.
- [77] Driver J., McLeod P.: Reversing visual search asymmetries with conjunctions of movement and orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 1, pp. 22–33, 1992.
- [78] Drzewiecki M., Kowalczyk Z.: Prototyp biomanipulatora – protezy ręki. — (ed.): *XV Kraj. Konf. Naukow. Biocybernetyka I Inżynieria Biomedyczna.*, Wrocław 2007.
- [79] Duncan J., Humphreys G.: Beyond the search surface: visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 2, pp. 578–588, 1992.
- [80] Ebbinghaus H.: *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*. Teachers College, New York 1885.
- [81] Ekman P.: An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, vol. 6, no. 3-4, pp. 169–200, 1992.
- [82] Ekman P., Friesen W.V., Ellsworth P.: What emotion categories or dimensions can observers judge from facial behavior? — Goldstein A.P., Krasner L. (eds.): *Emotion in the Human Face: Guidelines for Research and an Integration of Findings*, pp. 57–67. Elsevier Science 2013.
- [83] El-Nasr M.S., Yen J., Ioerger T.R.: Flame - fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 219–257, 2000.
- [84] Elliott C.D.: *The Affective Reasoner: A process Model of Emotions in a Multi-Agent System*, Ph.D. thesis. Northwestern University, Chicago 1992.
- [85] Ericsson K.A., Simon H.A.: *Protocol Analysis - Rev'd Edition: Verbal Reports as Data*. A Bradford Book 1993.
- [86] Eysneck M.W., Keane M.T.: *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*, (4th edition). Psychology Press, Hove, East Sussex 2000.
- [87] Fakoor M., Kosari A., Jafarzadeh M.: Humanoid robot path planning with fuzzy markov decision processes. *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 14, no. 5, pp. 300–310, 2016.

- [88] Farina D., Jiang N., Rehbaum H.: The extraction of neural information from the surface EMG for the control of upper-limb prostheses: emerging avenues and challenges. *On Neural Systems . . .*, 2014.
- [89] Festinger L.: *A theory of cognitive dissonance*, vol. 2. Stanford university press 1962.
- [90] Figueiredo R., Dias J., Paiva A.: Shaping emergent narratives for a pedagogical application. *Narrative and Interactive Learning Environments*, pp. 27–36, 2006.
- [91] Fisher R.P., Craik F.I.: Interaction between encoding and retrieval operations in cued recall. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, vol. 3, no. 6, pp. 701–711, 1977.
- [92] Flett G.L.: *Personality Theory and Research: An International Perspective*. Wiley Global Education 2014.
- [93] Foucault M.: Les inhibitions internes de fixation. *Année Psychologique*, vol. 29, pp. 92–112, 1928.
- [94] Franklin S., Madl T., D’Mello S., Snaider J.: LIDA: A systems-level architecture for cognition, emotion, and learning. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, vol. 6, no. 1, pp. 19–41, 2014.
- [95] Frijda N.H.: *The Emotions*. Cambridge University Press 1986.
- [96] Frijda N.H.: The lex talionis: on vengeance. — van Goozen S.H., de Poll N.E.V., Sergeant J.A. (eds.): *Emotions: Essays on Emotion Theory*, p. 352. Lawrence Erlbaum Associates 1994.
- [97] Fukuda H., Kobayashi Y., Kuno Y., Yamazaki A., Ikeda K., Yamazaki K.: Analysis of multi-party human interaction towards a robot mediator. — (ed.): *25th Intern. Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 17–21. IEEE 2016.
- [98] Ge N., Goebel P., Amsuess S.: Evaluating upper-limb emg-prosthesis user performance by combining psychometric measures and classification-rates. — (ed.): *6th Intern. IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, pp. 359–362. IEEE 2013.
- [99] Ge S.S.: Social robotics: integrating advances in engineering and computer science. — (ed.): *Proc. 4th Intern. Conference Electr. Engng, Electron., Comput., Telecom. & Inf. Techn.*, pp. 9–12. 2007.
- [100] Goldman D., Homa D.: 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*, vol. 3, no. 4, pp. 375–385, 1977.
- [101] Gonzalez R., Jacobus J., Amatya A.K., Quartana P.J., Vassileva J., Martin E.M.: Deficits in complex motor functions, despite no evidence of procedural learning deficits, among HIV+ individuals with history of substance dependence. *Neuropsychology*, vol. 22, no. 6, pp. 776–86, 2008.
- [102] Goodall J.: *The Chimpanzees of Gombe: Patterns of Behavior*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, MA 1986.
- [103] Goodwin P., Wright G.: *Decision Analysis for Management Judgment*. Wiley 2009.

- [104] Gottfredson L.: The general intelligence factor. *Scientific American Presents*, vol. 9, no. 4, pp. 24–29, 1998.
- [105] Gouaillier D., Collette C., Kilner C.: Omni-directional closed-loop walk for NAO. — (ed.): *Intern. Conference on Humanoid Robots*, pp. 448–454. 2010.
- [106] Gratch J.: Émile: marshalling passions in training and education. — (ed.): *Proc. 4th Intern. Conference on Autonomous Agents*, Barcelona, Spain 2000.
- [107] Gratch J., Marsella S.: Adomain-independent framework for modeling emotion. *Cognitive Systems Research*, vol. 5, no. 4, pp. 269–306, 2004.
- [108] Gratch J., Marsella S.: Evaluating a computational model of emotion. *Autonomous Agents and Multiagent Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 23–43, 2005.
- [109] Gray J.: Awhole and its parts: behaviour, the brain, cognition and emotion. *Bulletin of the British Psychological Society*, vol. 38, pp. 99–112, 1985.
- [110] Gray J.A., Wedderburn A.A.I.: Shorter articles and notes grouping strategies with simultaneous stimuli. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 12, no. 3, pp. 180–184, 1960.
- [111] Gregory R.L.: *Concepts and Mechanisms of Perception*. Duckworth 1974.
- [112] Guilford J.: Intelligence: 1965 model. *American Psychologist*, vol. 21, no. 1, p. 20, 1966.
- [113] Gunnell K.E., Crocker P.R., Mack D.E., Wilson P.M., Zumbo B.D.: 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*, vol. 15, no. 1, pp. 19–29, 2014.
- [114] Hebb D.O.: *Textbook of Psychology*. Philadelphia: Saunders 1958.
- [115] Henderson J.M.: Identifying objects across saccades: effects of extrafoveal preview and flanker object context. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol. 18, no. 3, pp. 521–530, 1992.
- [116] Hernandez A., El Fallah-Seghrouchni A., Soldano H.: Distributed learning in intentional BDI multi-agent systems. — (ed.): *Proc. 5th Mexican International Conference in Computer Science*, pp. 225–232. IEEE 2004.
- [117] Herve L.G., Sorin M.: A model of cooperative agent based on imitation and maslow's pyramid of needs. — (ed.): *Intern. Joint Conference on Neural Networks*, pp. 1229–1236. IEEE 2009.
- [118] Hopfield J.: Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 79, no. 8, pp. 2554–2558, 1982.
- [119] Horney K.: *The Neurotic Personality of Our Time*. Norton 1937.
- [120] Hosoda Y., Egawa S., Tamamoto J., Yamamoto K., Nakamura R., Togami M.: Basic design of human-symbiotic robot EMIEW. — (ed.): *IEEE/RSJ Intern. Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 5079–5084. IEEE 2006.
- [121] Hu J., Edsinger A., Donaldson N., Solano M., Solochechek A., Marchessault R.: An advanced medical robotic system augmenting healthcare capabilities - robotic nursing assistant. — (ed.): *Intern. Conference on Robotics and Automation*, pp. 6264–6269. IEEE 2011.

- [122] Huang K., Starner T., Do E., Weiberg G., Kohlsdorf D., Ahlrichs C., Leibrandt R.: Mobile music touch. — (ed.): *Proc. 28th Intern. Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, p. 791. ACM Press, New York, New York, USA 2010.
- [123] Hudlicka E.: A computational model of emotion and personality: applications to psychotherapy research and practice. — (ed.): *Proc. 10th Annual Cyber Therapy Conference: A Decade of Virtual Reality*, pp. 1–7. , Basel, Switzerland 2005.
- [124] Hudlicka E.: Modeling the mechanisms of emotion effects on cognition. — (ed.): *Fall Symposium on Biologically Inspired Cognitive Architectures*, pp. 82–86. AAAI 2008.
- [125] Hull C.L.: *Principles of Behavior: An Introduction to Behavior Theory*. D. Appleton-Century Company, Incorporated 1943.
- [126] Hunt A.R., Kingstone A.: Covert and overt voluntary attention: linked or independent? *Cognitive Brain Research*, vol. 18, no. 1, pp. 102–105, 2003.
- [127] Hunt E.: Tay, microsoft’s AI chatbot, gets a crash course in racism from twitter — technology — the guardian 2016.
- [128] Ishi C.T., Liu C., Ishiguro H., Hagita N.: Evaluation of formant-based lip motion generation in tele-operated humanoid robots. — (ed.): *IEEE/RSJ Intern. Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2377–2382. IEEE 2012.
- [129] Ishihara H., Asada M.: “Affetto”: towards a design of robots who can physically interact with people, which biases the perception of affinity (beyond “uncanny”). — (ed.): *Intern. Conference on Robot and Automation Workshop on Art and Robotics: Freud’s Unheimlich and Uncanny Valley*, 2013.
- [130] Izard C.E.: *Patterns of Emotions: A New Analysis of Anxiety and Depression*. Academic Press 1972.
- [131] Izard C.E.: *Human Emotions*. Springer 1977.
- [132] Izard C.E.: Four systems for emotion activation: cognitive and noncognitive processes. *Psychological Review*, vol. 100, no. 1, pp. 68–90, 1993.
- [133] Jack R.E., Garrod O.G.B., Schyns P.G.: Dynamic facial expressions of emotion transmit an evolving hierarchy of signals over time. *Current Biology*, vol. 24, no. 2, pp. 187–92, 2014.
- [134] James W.: What is an emotion? *Mind*, vol. 9, pp. 188–205, 1884.
- [135] James W.: *The Principles of Psychology*. Henry Holt and Company, New York 1890.
- [136] James W.: *The Principles of Psychology*. H. Holt, New York 1918.
- [137] James W.: *Principles of Psychology*. Hardpress Limited 2013.
- [138] Johnston W.A.: The intrusiveness of familiar nontarget information. *Memory & Cognition*, vol. 6, no. 1, pp. 38–42, 1978.
- [139] Kahn, Jr. P.H., Friedman B., Pérez-Granados D.R., Freier N.G.: Robotic pets in the lives of preschool children. *Interaction Studies*, vol. 7, pp. 405–436, 2006.
- [140] Kahneman D.: *Attention and Effort*. Prentice Hall, Englewood Cliffs 1973.
- [141] Kaneko K., Kanehiro F., Morisawa M., Miura K., Nakaoka S., Kajita S.: Cybernetic human HRP-4C. — (ed.): *9th IEEE-RAS Intern. Conference on Humanoid Robots*, pp. 7–14. IEEE 2009.



- [142] Kant I.: What does it mean to orient oneself in thinking? *Berlinische Monatschrift*, vol. 8, pp. 304–330, 1786.
- [143] Kaplan F.: Who is afraid of the humanoid? investigating cultural differences in the acceptance of robots. *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 01, no. 03, pp. 465–480, 2004.
- [144] Karyotis C., Doctor F., Iqbal R., James A., Chang V.: A fuzzy computational model of emotion for cloud based sentiment analysis. *Information Sciences*, vol. 433, pp. 448–463, 2018.
- [145] Kędzierski J., Muszyński R., Zoll C., Oleksy A., Frontkiewicz M.: EMYS—Emotive head of a social robot. *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, no. 2, pp. 237–249, 2013.
- [146] Klaus Oberauer, Heinz-martin Süß, Oliver Wilhelm W.W.W.: The multiple faces of working memory: storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, vol. 31, no. 2, pp. 167–193, 2003.
- [147] Klein S.B., Kihlstrom J.F.: Elaboration, organization, and the self-reference effect in memory. *Journal of Experimental Psychology. General*, vol. 115, no. 1, pp. 26–38, 1986.
- [148] Korecko S., Herich T., Sobota B.: JBdiEmo — OCC model based emotional engine for jaded BDI agent system. — (ed.): *12th Intern. Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*, pp. 299–304. IEEE, Herl'any 2014.
- [149] Kosslyn S.M.: *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. A Bradford Book 1996.
- [150] Kowalczyk Z., Czubenko M.: Intelligent decision-making system for autonomous robots. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 21, no. 4, pp. 621–635, 2011.
- [151] Kowalczyk Z., Czubenko M.: xEmotion – obliczeniowy model emocji dedykowany dla inteligentnych systemów decyzyjnych. *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, vol. 2, no. 17, pp. 60–65, 2013.
- [152] Kowalczyk Z., Czubenko M.: Przegląd robotów humanoidalnych, in polish (overview of humanoid robots). *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, vol. 19, no. 4, pp. 67–75, 2015.
- [153] Kowalczyk Z., Czubenko M.: Embodying intelligence in autonomous and robotic systems with the use of cognitive psychology and motivation theories. — Kacprzyk J., Rutkowski L. (eds.): *Studies in Computational Intelligence*, pp. 101–118. Springer Berlin Heidelberg 2017.
- [154] Kowalczyk Z., Czubenko M.: Emotions embodied in the SVC of an autonomous driver system. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 3744–3749, 2017.
- [155] Kowalczyk Z., Merta T.: Stereo image visualization for VISROBOT system. — (ed.): *18th Intern. Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, pp. 794–799. IEEE, Miedzyzdroje 2013.
- [156] Kowalczyk Z., Tatara M.: Sphere drive and control system for haptic interaction with physical, virtual and augmented reality. *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 27, no. 2, pp. 558–602, 2019.



- [157] Koziński J.: Myślenie i rozwiązywanie problemów. — Tomaszewski T. (ed.): *Psychologia Ogólna*, pp. 91–188. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992.
- [158] Kulk J., Welsh J.S.: Evaluation of walk optimisation techniques for the NAO robot. — (ed.): *11th IEEE-RAS Intern. Conference on Humanoid Robots*, pp. 306–311. IEEE, Bled 2011.
- [159] Lackner J., Garrett M.: Resolving ambiguity: effects of biasing context in the unattended ear. *Cognition*, vol. 1, no. 4, pp. 359–372, 1972.
- [160] Lahr D.F., Hong D.W.: A biomimetic parallelly actuated humanoid robot design. — (ed.): *Proceedings UKC*. UKC, Raleigh, NC 2009.
- [161] Laird J.: Extending the soar cognitive architecture. — Wang P., Goertzel B., Franklin S. (eds.): *Proceedings of the Artificial General Intelligence*, vol. 171, pp. 224–235. IOS Press 2008.
- [162] Laird J.: *The Soar Cognitive Architecture*. MIT Press 2012.
- [163] Laird J., Mohan S.: A case study of knowledge integration across multiple memories in soar. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, vol. 8, pp. 93–99, 2014.
- [164] Lavie N.: Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, vol. 21, no. 3, pp. 451–68, 1995.
- [165] Lazarus R.S.: *Emotion and Adaptation*. Oxford University Press, USA, New York 1991.
- [166] Lazarus R.S.: The cognition–emotion debate: A bit of history. — Dalglish T., Power M.J. (eds.): *Handbook of Cognition and Emotion*, pp. 3–19. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK 1999.
- [167] Lazarus R.S., Lazarus B.N.: *Passion and Reason: Making Sense of Our Emotions*. Oxford University Press 1994.
- [168] LeDoux J., Phelps E.: Emotional networks in the brain. — Lewis M., Haviland-Jones J.M., Barrett L.F. (eds.): *Handbook of Emotions*, Chapter 10, pp. 159–180. Guilford Press 1993.
- [169] Lehrl S., Fischer B.: The basic parameters of human information processing: their role in the determination of intelligence. *Personality and Individual Differences*, vol. 9, no. 5, pp. 883–896, 1988.
- [170] Lettvin J., Maturana H., McCulloch W., Pitts W.: What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the IRE*, vol. 47, no. 11, pp. 1940–1951, 1959.
- [171] Levin D.T.: *Thinking and Seeing: Visual Metacognition in Adults and Children*, (1st edition). A Bradford Book 2004.
- [172] Levine M.W.: *Levine and Shernier's Fundamentals of Sensation and Perception*, (3rd edition). OUP Oxford 2000.
- [173] Lewicki A.: *Procesy Poznawcze I Orientacja W Otoczeniu*. PWN, Warszawa 1960.
- [174] Lindsay P.H., Norman D.A.: *Human Information Processing: Introduction to Psychology*. Academic Press Inc, Warszawa 1977.
- [175] Linton M.: Memory for real-world events. — Norman D.A., Rumelhart D.E. (eds.): *Explorations in Cognition*, pp. 376–404. Freeman, San Francisco 1975.
- [176] Locke J.: *The Two Treatises of Civil Government*, Tech. rep. Awnsham Churchil 1689.



- [177] Loftus G.R., Loftus E.F.: *Human Memory: The Processing of Information*. John Wiley & Sons 1976.
- [178] Lorenz K.: *On Aggression*. Psychology Press 2002.
- [179] Lövheim H.: A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters. *Medical Hypotheses*, vol. 78, no. 2, pp. 341–8, 2012.
- [180] Luck S.J., Vogel E.K.: The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, vol. 390, no. 6657, pp. 279–81, 1997.
- [181] Łukasiewicz J.: *Poradnik Dla Samouków: O Nauce*. A. Heflich i St. Michalski, Warszawa 1915.
- [182] Lutz C., White G.M.: Anthropology of emotions. *Annual Review of Anthropology*, vol. 15, pp. 405–436, 1986.
- [183] Lytton W.W., Seidenstein A.H., Dura-Bernal S., McDougal R.A., Schürmann F., Hines M.L.: Simulation neurotechnologies for advancing brain research: parallelizing large networks in NEURON. *Neural Computation*, vol. 28, no. 10, pp. 2063–2090, 2016.
- [184] Machiavelli N.: *The Prince*. Bantam Classics 1984.
- [185] Mackworth N.H.: Some factors affecting vigilance. *Advancements in Science*, vol. 53, pp. 389–393, 1957.
- [186] Madsen K.: *Modern Theories of Motivation: A Comparative Metascientific Study*. John Wiley & Sons 1974.
- [187] Malewski A.: *O Nowy Kształt Nauk Społecznych: Pisma Zebrane*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1975.
- [188] Mamdani E., Assilian S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [189] Mann L., Harmoni R., Power C.: The GOFER course in decision making. — Brown J., Brown R. (eds.): *Teaching Decision Making to Adolescents*. Routledge Taylor and Francis Group, New Jersey, London 1991.
- [190] Marinier R., Laird J., Lewis R.: A computational unification of cognitive behavior and emotion. *Cognitive Systems Research*, vol. 10, no. 1, pp. 48–69, 2009.
- [191] Markram H.: The blue brain project. *Nature Reviews. Neuroscience*, vol. 7, no. 2, pp. 153–60, 2006.
- [192] Marsella S.C.: Interactive pedagogical drama: carmen's bright IDEAS assessed. — Rist T., Aylett R.S., Ballin D., Rickel J. (eds.): *Intelligent Virtual Agents*, vol. 2792 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 1–4. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2003.
- [193] Maruszewski T.: *Psychologia Poznania*. Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2001.
- [194] Maslow A.: *Motivation and Personality*. Harper & Row, New York 1970, revised by R Frager, J Fadiman, C McReynolds.
- [195] Maslow A.: Critique of self-actualization theory. *The Journal of Humanistic Education and Development*, vol. 29, no. 3, pp. 103–108, 1991.
- [196] Maslow A.H.: A Theory of human motivation. *Psychological Review*, vol. 50, pp. 370–396, 1943.

- [197] Mayers D.G.: Emotions, stress, and health. — Mayers D.G. (ed.): *Psychology*, pp. 497–527. Worth Publishers, New York 2010.
- [198] Mazur M.: *Cybernetyka I Charakter*. Plus Minus, PIW, Warszawa 1976.
- [199] McCarthy J., Minsky M.L., Rochester N., Shannon C.E.: A Proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, vol. 27, no. 4, 2006.
- [200] McCloskey M., Macaruso P.: Representing and using numerical information. *American Psychologist*, vol. 50, no. 5, pp. 351–363, 1995.
- [201] McCulloch W.S., Pitts W.: A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, no. 4, pp. 115–133, 1943.
- [202] McDougall W.: *An Introduction to Social Psychology*. Luce, Boston 1926.
- [203] Mei S., Marsella S.C., Pynadath D.V.: Thespian: modeling socially normative behavior in a decision-theoretic framework. — (ed.): *Proc. 6th Intern. Conference on Intelligent Virtual Agents*, Marina del Rey 2006.
- [204] Mendiburu B.: *3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema From Script to Screen*. CRC Press 2012.
- [205] Meyer J.J.C.: Reasoning about emotional agents. *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 6, pp. 601–619, 2006.
- [206] Miller G.A.: The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, vol. 63, no. 2, pp. 81–97, 1956.
- [207] Mintzberg H., Raisinghani D., Théorêt A.: The structure of 'unstructured' decision processes. *Administrative Science Quarterly*, vol. 21, no. 2, pp. 246–275, 1976.
- [208] Monsell S.: Control of mental processes. — Bruce V. (ed.): *Unsolved Mysteries of the Mind: Tutorial Essays In*, pp. 93–148. Erlbaum (UK) Taylor & Francis, Hove, UK 1996.
- [209] Moravec H.: *Mind Children. The Future of Robot and Human Intelligence*. Harvard University Press 1988.
- [210] Moray N.: Attention in dichotic listening: affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 11, no. 1, pp. 56–60, 1959.
- [211] Mori M., MacDorman K., Kageki N.: The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 19, no. 2, pp. 98–100, 2012.
- [212] Mowrer O.H.: *Learning Theory and Behavior*. Wiley, New York 1960.
- [213] Mulligan N.: Memory: implicit versus explicit. — Nadel L. (ed.): *Encyclopedia of Cognitive Science*, pp. 1114–1120. Nature Publishing Group, London 2003.
- [214] Murray H.: *Explorations in Personality*. Oxford University Press, New York 1938.
- [215] Najder K.: Wprowadzenie do teorii pamięci. — Materska M., Tyszka T. (eds.): *Psychologia I Poznanie*, pp. 129–163. PWN, Warszawa 1997.
- [216] Navon D.: Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, vol. 9, no. 3, pp. 353–383, 1977.
- [217] Nęcka E.: *Proces Twórczy I Jego Ograniczenia*, (2nd edition). Oficyna Wydawnicza Impuls, Kraków 1995.
- [218] Nęcka E.: Procesy uwagi. — Strelau J. (ed.): *Psychologia: Podręcznik Akademicki*, Chapter 16, pp. 77–97. Gdańskie Towarzystwo Psychologiczne 2004.

- [219] Nęcka E., Orzechowski J., Szymura B.: *Psychologia Poznawcza*. PWN, Warszawa 2008.
- [220] Neisser U.: *Cognitive Psychology*. Appleton-Century-Crofts, New York 1967.
- [221] Neisser U.: *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. W. H. Freeman and Company 1976.
- [222] Neisser U.: Multiple systems: A new approach to cognitive theory. *European Journal of Cognitive Psychology*, vol. 6, no. 3, pp. 225–241, 1994.
- [223] Newell A.: *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press 1994.
- [224] Newell A., Simon H.A.: *Human Problem Solving*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1972.
- [225] Norvig P.: On chomsky and the two cultures of statistical learning. *On-Line Essay in Response to Chomsky's Remarks in [3 ...]*, 2011.
- [226] Nosal C.S.: *Psychologiczne Modele Umysłu*. PWN, Warszawa 1990.
- [227] Novak E.: Toward a mathematical model of motivation, volition, and performance. *Computers & Education*, vol. 74, pp. 73–80, 2014.
- [228] Oatley K., Johnson-laird P.N.: Towards a cognitive theory of emotions. *Cognition & Emotion*, vol. 1, no. 1, pp. 29–50, 1987.
- [229] Oatley K., Keltner D., Jenkins J.: *Understanding Emotions*, (2nd edition). Blackwell Publishing 2012.
- [230] Ogiela L., Ogiela M.R.: Fundamentals of cognitive informatics. — (ed.): *Advances in Cognitive Information Systems*, vol. 17 of *Cognitive Systems Monographs*, Chapter 2, pp. 19–49. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2012.
- [231] Öhman A.: The psychophysiology of emotion: an evolutionary-cognitive perspective. *Advances in Psychophysiology*, vol. 2, pp. 79–127, 1987.
- [232] Ortony A., Turner T.J.: What's basic about basic emotions? *Psychological Review*, vol. 97, no. 3, pp. 315–31, 1990.
- [233] Paivio A.: *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press 1990.
- [234] Paivio A., Csapo K.: Picture superiority in free recall: imagery or dual coding? *Cognitive Psychology*, vol. 5, no. 2, pp. 176–206, 1973.
- [235] Panksepp J.: Toward a general psychobiological theory of emotions. *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 5, no. 03, p. 407, 1982.
- [236] Pavlov I.P.: *Lectures on Conditioned Reflexes*. New York : International Publishers, New York 1928.
- [237] Perry B.D.: The memories of states: how the brain stores and retrieves traumatic experience. — Goodwin J., Attias R. (eds.): *Splintered Reflections: Images of the Body in Trauma*. Basic Books 1999.
- [238] Peterson L.R., Peterson M.J.: Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, vol. 58, pp. 193–198, 1959.
- [239] Petri H., Govern J.: *Motivation: Theory, Research, and Application*, (6th edition). Cengage Learning 2012.
- [240] Pettifor E.: *Endel Tulving's Monohierarchical Multimemory Systems Model*, Tech. rep. Department of Psychology, Simon Fraser University 2000.

- [241] Piaget J.: *Psychology and Epistemology*. An Orion Press book, Grossman 1971.
- [242] Picard R., Picard R.: *Affective Computing*. MIT Press, Cambridge, MA 1997.
- [243] Pickering A.: *The Cybernetic Brain*. The University of Chicago Press 2011.
- [244] Pijanowski J.: The role of learning theory in building effective college ethics curricula. *Journal of College and Character*, vol. 10, no. 3, pp. 1–14, 2009.
- [245] Plato: *The Republic*. Penguin Books Limited 2012.
- [246] Plutchik R.: A general psychoevolutionary theory of emotion. — Plutchik R., Kellerman H. (eds.): *Emotion: Theory, Research, and Experience*, vol. 1, pp. 3 – 33. Academic, New York 1980.
- [247] Plutchik R.: *The Psychology and Biology of Emotion*. Harper Collins College Publishers 1994.
- [248] Plutchik R.: The nature of emotions. *American Scientist*, vol. 89, p. 344, 2001.
- [249] Posner J., Russell J.A., Peterson B.S.: The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, vol. 17, no. 3, pp. 715–34, 2005.
- [250] Posner M.I.: Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 32, no. 1, pp. 3–25, 1980.
- [251] Posner M.I., Boies S.J., Eichelman W.H., Taylor R.L.: Retention of visual and name codes of single letters. *Journal of Experimental Psychology*, vol. 79, no. 1, pp. 1–16, 1969.
- [252] Przybylski A.K., Rigby C.S., Ryan R.M.: Amotivational model of video game engagement. *Review of General Psychology*, vol. 14, no. 2, pp. 154–166, 2010.
- [253] Rank S., Petta P.: From actaffect to behbehbeh: increasing affective detail in a story-world. — Cavazza M., Donikian S. (eds.): *Virtual Storytelling. Using Virtual Reality Technologies for Storytelling*, vol. 4871 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 206–209. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2007.
- [254] Reisenzein R., Hudlicka E., Dastani M., Gratch J., Hindriks K., Lorini E., Meyer J.J.C.: Computational modeling of emotion: toward improving the inter- and intradisciplinary exchange. *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 4, no. 3, pp. 246–266, 2013.
- [255] Reiss S.: *Who Am I? : The 16 Basic Desires That Motivate Our Behavior and Define Our Personality*. Berkley Pub 2002.
- [256] Robbins T.W., Anderson E.J., Barker D.R., Bradley A.C., Fearnough C., Henson R., Hudson S.R.: Working memory in chess. *Memory & Cognition*, vol. 24, no. 1, pp. 83–93, 1996.
- [257] Rodríguez Á.G.G., Rodríguez A.G.: Mobile robots. — Rodríguez N.E.N. (ed.): *Advanced Mechanics in Robotic Systems*, pp. 41–57. Springer, London 2011.
- [258] Rosenblatt F.: The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, vol. 65, no. 6, pp. 386–408, 1958.
- [259] Rousseau D.: Personality in computer characters. — (ed.): *AAAI Workshop on Entertainment and AI / A-Life*, pp. 38–43. AAAI, Portland, Oregon 1996.



- [260] Rubin D.C., Talarico J.M.: A comparison of dimensional models of emotion: evidence from emotions, prototypical events, autobiographical memories, and words. *Memory (Hove, England)*, vol. 17, no. 8, pp. 802–8, 2009.
- [261] Rumelhart D.E., Lindsay P.H., Norman D.A.: A process model for long-term memory. — Tulving E., Donaldson W. (eds.): *Organization of Memory*, Chapter 13, p. 423. Academic Press, Oxford, UK 1972.
- [262] Russell J., Mehrabian A.: Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of Research in Personality*, vol. 11, no. 3, pp. 273–294, 1977.
- [263] Russell J.A.: A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 39, no. 6, pp. 1161–1178, 1980.
- [264] Ryle G.: *The Concept of Mind*. Barnes and Noble, New York 1949.
- [265] Salmeron J.L.: Fuzzy cognitive maps for artificial emotions forecasting. *Applied Soft Computing*, vol. 12, no. 12, pp. 3704–3710, 2012.
- [266] Saunders R.: Towards autonomous creative systems: A computational approach. *Cognitive Computation*, vol. 4, no. 3, pp. 216–225, 2012.
- [267] Scherer K.R., Banziger T., Roesch E.: *A Blueprint for Affective Computing: A Sourcebook and Manual*. Oxford University Press, Inc. 2010.
- [268] Schlosberg H.: Three dimensions of emotion. *Psychological Review*, vol. 61, no. 2, pp. 81–88, 1954.
- [269] Schneider M., Adamy J.: Towards modelling affect and emotions in autonomous agents with recurrent fuzzy systems. — (ed.): *Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, pp. 31–38. IEEE, San Diego, CA 2014.
- [270] Seepanomwan K., Caligiore D., Cangelosi A., Baldassarre G.: Generalisation, decision making, and embodiment effects in mental rotation: A neurobotic architecture tested with a humanoid robot. *Neural Networks*, vol. 72, pp. 31–47, 2015.
- [271] Sefidgar Y.S., MacLean K.E., Yohanan S., Van Der Loos H.F.M.H., Croft E.A., Garland E.J.: Design and evaluation of a touch-centered calming interaction with a social robot. *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 7, no. 2, pp. 108–121, 2016.
- [272] Selz O.: *Zur Psychologie Des Produktiven Denkens Und Des Irrtums: Eine Experimentelle Untersuchung (2)*, Tech. rep. F. Cohen 1922.
- [273] Sergent J.: Face perception and the right hemisphere. — Weiskrantz L. (ed.): *Thought Without Language*, pp. 108–131. Oxford University Press 1987.
- [274] Shamsuddin S., Yussof H., Ismail L.I., Mohamed S., Hanapiah F.A., Zahari N.I.: Initial response in HRI- a case study on evaluation of child with autism spectrum disorders interacting with a humanoid robot NAO. *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1448–1455, 2012.
- [275] Shettleworth S.J.: Varieties of learning and memory in animals. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, vol. 19, no. 1, pp. 5–14, 1993.
- [276] Simon H.A.: *The New Science of Management Decision*. Prentice Hall PTR 1960.
- [277] Skinner B.: *The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis*. BF Skinner Foundation 1990.



- [278] Skinner B.: *About Behaviorism*. Vintage 2011.
- [279] Sokolov E.N.: The modeling properties of the nervous system. — Cole M., Maltzman I. (eds.): *A Handbook of Contemporary Soviet Psychology*, pp. 671–704. Basic Books 1969.
- [280] Spearman C.: "General intelligence," objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, vol. 15, no. 2, pp. 201–292, 1904.
- [281] Sperling G.: The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, vol. 74, no. 11, pp. 1–29, 1960.
- [282] Squire L.R.: Mechanisms of memory. *Science (New York)*, vol. 232, no. 4758, pp. 1612–9, 1986.
- [283] Srinivasa N., Cruz-Albrecht J.M.: Neuromorphic adaptive plastic scalable electronics: analog learning systems. *IEEE Pulse*, vol. 3, no. 1, pp. 51–56, 2012.
- [284] Staller A., Petta P.: Introducing emotions into the computational study of social norms: A first evaluation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 4, no. 1, pp. 1–11, 2001.
- [285] Starzyk J.A.: Motivation in Embodied Intelligence. — Zemliak A. (ed.): *Frontiers in Robotics, Automation and Control*. InTech, Rijeka 2008.
- [286] Sternberg R.J., Salter W.: *Handbook of Human Intelligence*. Cambridge University Press, UK: Cambridge 1982.
- [287] Sternberg R.J., Sternberg K., Mio J.: *Cognitive Psychology*, (6th edition). Wadsworth, Cengage Learning 2012.
- [288] Stevens M.: Hypothesis-testing in elderly as a function of task concreteness and memory condition. *Dissertation Abstracts Internal*, vol. 41, 1981.
- [289] Strachey J.: *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud*. The Hogarth press, London 1957.
- [290] Strelau J.: *Psychologia: Podręcznik Akademicki*. Gdańskie Towarzystwo Psychologiczne 2004.
- [291] Sullivan H.: *The Interpersonal Theory of Psychiatry*. Routledge 2013.
- [292] Sumiyoshi T., Togami M., Obuchi Y.: ASR for human-symbiotic robot "EMIEW2" with mechanical noise and floor-level noise reduction. — (ed.): *12th Annual Conference of the Intern. Speech Communication Association*, pp. 3141–3144, Florence, Italy 2011.
- [293] Sun R.: Moral judgment, human motivation, and neural networks. *Cognitive Computation*, vol. 5, no. 4, pp. 566–579, 2013.
- [294] Sun R., Helie S.: Psychologically realistic cognitive agents: taking human cognition seriously. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 25, no. 1, pp. 65–92, 2013.
- [295] Szondi L.: *Experimentelle Triebdiagnostik: Text-Band*. H. Huber 1947.
- [296] Tadeusiewicz R.: *Sieci Neuronowe*, (2nd edition). Akademicka Oficyna Wydaw. RM 1993.
- [297] Tajima R., Honda D., Suga K.: Fast running experiments involving a humanoid robot. — (ed.): *Intern. Conference on Robotics and Automation*, pp. 1571–1576. IEEE 2009.
- [298] Thayer R.: *The Biopsychology of Mood and Arousal*. Oxford University Press 1989.
- [299] Titchener E.B.: *A Textbook of Psychology*. Delmar, New York 1910.



- [300] Tomkins S.S.: Affect theory. — Scherer K.R., Ekman P. (eds.): *Approaches to Emotion*, pp. 163–195. Erlbaum, Hillsdale, NJ 1984.
- [301] Tooby J., Cosmides L.: The past explains the present: emotional adaptations and the structure of ancestral environments. *Ethology and Sociobiology*, vol. 11, no. 4, pp. 375–424, 1990.
- [302] Treisman A.M.: Perception and recall of simultaneous speech stimuli. *Acta Psychologica*, vol. 33, pp. 132–148, 1970.
- [303] Treisman A.M., Gelade G.: A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, vol. 12, no. 1, pp. 97–136, 1980.
- [304] Trovato G., Zecca M., Sessa S., Jamone L., Ham J., Hashimoto K., Takanishi A.: Towards culture-specific robot customisation: A study on greeting interaction with Egyptians. — (ed.): *2013 IEEE Ro-Man*, pp. 447–452. IEEE 2013.
- [305] Tulving E.: 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*, pp. 74–82, 1974.
- [306] Tulving E.: Ecphoric processes in recall and recognition. — Brown J. (ed.): *Recall and Recognition*, pp. 37–73. Wiley, London 1976.
- [307] Tulving E.: *Elements of Episodic Memory*. Oxford University Press, Oxford, New York 1983.
- [308] Tulving E.: Précis of elements of episodic memory. *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 7, no. 02, pp. 223–268, 1984.
- [309] Tulving E.: How many memory systems are there? *American Psychologist*, vol. 40, pp. 385–398, 1985.
- [310] Tulving E.: Concepts of memory. — Tulving E., Craik F.I.M. (eds.): *The Oxford Handbook of Memory*, pp. 33–44. Oxford University Press, New York 2000.
- [311] Turing A.M.: Computing machine and intelligence. *Mind: A Quarterly Review of Philosophy*, vol. 59, no. 236, pp. 433–460, 1950.
- [312] Ucros C.: Mood state-dependent memory: A meta-analysis. *Cognition and Emotion*, vol. 3, no. 2, pp. 139–169, 1989.
- [313] Underwood B.: The effect of successive interpolations on retroactive and proactive inhibition. *Psychological Monographs: General and Applied*, vol. 59, no. 3, pp. 1–33, 1945.
- [314] Velásquez J.: When robots weep: emotional memories and decision-making. — (ed.): *AAAI-98 Proceedings*, pp. 70–75. AAAI, American Association for Artificial Intelligence 1998.
- [315] Velásquez J.D.: An emotion-based approach to robotics. — (ed.): *IEEE/RSJ Intern. Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 1, pp. 235–240. , Kyongju 1999.
- [316] Velásquez J.D., Maes P.: Cathexis: a computational model of emotions. — (ed.): *Proc. First Intern. Conference on Autonomous Agents*, AGENTS '97, pp. 518–519. ACM, New York, NY, USA 1997.
- [317] Wagenaar W.A.: My memory: A study of autobiographical memory over six years. *Cognitive Psychology*, vol. 18, no. 2, pp. 225–252, 1986.

- [318] Wang L., Wang M.: Modeling of combined bayesian networks and cognitive framework for decision-making in C2. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 21, no. 5, pp. 812–820, 2010.
- [319] Warwick K., Shah H.: Good machine performance in turing’s imitation game. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 6, no. 3, pp. 289–299, 2014.
- [320] Watkins M.J., Gardiner J.M.: An appreciation of generate-recognize theory of recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, vol. 18, no. 6, pp. 687–704, 1979.
- [321] Watson D., Tellegen A.: Toward a consensual structure of mood. *Psychological Bulletin*, vol. 98, no. 2, pp. 219–235, 1985.
- [322] Watson J.B.: *Behaviorism*. University of Chicago Press, Chicago 1930.
- [323] Waugh N.C., Norman D.A.: Primary memory. *Psychological Review*, vol. 72, no. 2, pp. 89–104, 1965.
- [324] Wegner D.: You can’t always think what you want: problems in the suppression of unwanted thoughts. *Advances in Experimental Social Psychology*, vol. 25, pp. 193–255, 1992.
- [325] Weiner B., Graham S.: An attributional approach to emotional development. — Izard C.E., Kagan J., Zajonc R.B. (eds.): *Emotions, Cognition, and Behavior*, pp. 167–191. Cambridge University Press, New York 1984.
- [326] Wiener N.: *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Hermann & Cie, Paris 1948.
- [327] Woodworth R.S., Schlosberg H.: *Experimental Psychology*, (3rd edition). Holt, Rinehart and Winston 1972.
- [328] Wright R.D., Ward L.M.: *Orienting of Attention*. Oxford University Press 2008.
- [329] Wundt W.: Principles of Physiological Psychology. — Green C.D. (ed.): *Classics in the History of Psychology*. York University, Toronto 1897–1902.
- [330] Yamazaki R., Nishio S., Ogawa K., Ishigur H.: Teleoperated android as an embodied communication medium: A case study with demented elderlies in a care facility. — (ed.): *21st Intern. Symposium on Robot and Human Interactive Communication RO-MAN*, pp. 1066–1071. IEEE 2012.
- [331] Yantis S., Hillstrom A.P.: Stimulus-driven attentional capture: evidence from equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, vol. 20, no. 1, pp. 95–107, 1994.
- [332] Zajonc R.B.: Compensance. — Paulus P.B. (ed.): *Psychology of Group Influence*. Erlbaum 1980.
- [333] Zajonc R.B., Murphy S.T., Inglehart M.: Feeling and facial efference: implications of the vascular theory of emotion. *Psychological Review*, vol. 96, no. 3, pp. 395–416, 1989.
- [334] Zarkowski M.: Multi-party turn-taking in repeated human–robot interactions: An interdisciplinary evaluation. *International Journal of Social Robotics*, pp. 1–15, 2019.

# POMORSKIE WYDAWNICTWO NAUKOWO-TECHNICZNE

---



## PWNT

Towarzystwa Konsultantów Polskich  
Oddział Gdańsk

### KONTAKT

---

ADRES TKP Oddział Gdańsk, PWNT  
81-879 Sopot, Aleja Niepodległości 606/610  
TEL +58 552 1536  
FAX +58 552 1536  
E-MAIL [tkp@konsulting.gda.pl](mailto:tkp@konsulting.gda.pl)  
STRONA <http://www.konsulting.gda.pl>

### SKLEP INTERNETOWY

---

STRONA <http://www.konsulting.gda.pl/pwnt>  
→ sklep  
→ przykłady wydawnictw  
→ formularze zamówień

### INFORMACJE

---

Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne PWNT prowadzi sprzedaż wysyłkową. W celu dokonania zakupu książek, należy dostarczyć wypełniony formularz zamówienia, który pobrać można pod ww. adresem internetowym (STRONA). Można tam również znaleźć informację o aktualnie dostępnych tytułach.

### OFERTA

---

1. książki w cenach detalicznych
2. rabaty przy zamówieniach hurtowych
3. odbiorca opłaca zryczałtowane koszty przesyłki.

---

Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne P W N T



**Wolumeny Serii AI: Automatyka i Informatyka**

- Vol. 1. C. Orłowski (red.) // 978-83-918663-1-3 (112 str.)  
*Zarządzanie Technologiami Informatycznymi – Stan i Perspektywy Rozwoju*, 2006
- Vol. 2. Z. Kowalczyk, B. Wiszniewski (red.) // 978-83-918663-2-0 (546 str.)  
*Inteligentne Wydobywanie Informacji w Celach Diagnostycznych*, 2007
- Vol. 3. C. Orłowski (red.) // 978-83-918663-4-4 (122 str.)  
*Zarządzanie Technologiami Informatycznymi – Przykłady Zastosowań IT*, 2007
- Vol. 4. C. Orłowski, Z. Kowalczyk, E. Szczerbicki (red.) // 978-83-918663-6-8 (466 str.)  
*Zarządzanie Wiedzą i Technologiami Informatycznymi*, 2008
- Vol. 5. C. Orłowski, Z. Kowalczyk, E. Szczerbicki (red.) // 978-83-918663-9-9 (360 str.)  
*Zastosowanie Technologii Informatycznych w Zarządzaniu Wiedzą*, 2008
- Vol. 6. Z. Kowalczyk (red.) // 978-83-926806-2-8 (382 str.)  
*Systemy Wykrywające, Analizujące i Tolerujące Usterki*, 2009
- Vol. 7. Z. Kowalczyk (Ed.) // 978-83-926806-3-5 (316 pages)  
*Diagnosis of Processes and Systems*, 2009
- Vol. 8. J. Górski, C. Orłowski (red.) // 978-83-926806-5-9 (390 str.)  
*Inżynieria Oprogramowania w Procesach Integracji Systemów Informatycznych*, 2010
- Vol. 9. B. Wiszniewski (red.) // 978-83-926806-6-6 (160 str.)  
*Inteligentne Wydobywanie Informacji ze Społecznościowych Serwisów Internetowych*, 2011
- Vol. 10. J. Górski, C. Orłowski (red.) // 978-83-926806-7-3 (456 str.)  
*Integracja Systemów Informatycznych – Nowe Wyzwania*, 2011
- Vol. 11. W. Malina, M. Szwoch // 978-83-926806-9-7 (136 str.)  
*Podstawy Interfejsów Użytkownika*, 2015
- Vol. 12. Z. Kowalczyk, M. Domżański // 978-83-63177-00-3 (234 str.)  
*Advanced Systems for Automation and Diagnostics. Zaawansowane Systemy Automatyki i Diagnostyki*, 2015

**Wolumeny Serii PNT: Problemy Nauk Technicznych**

- Vol. 1. T. Białaszewski // 978-83-918663-3-7 (124 str.)  
*Wielokryterialna Optymalizacja Parametryczna Układów z Zastosowaniem Algorytmów Ewolucyjnych*, 2007
- Vol. 2. A. Pietrenko-Dąbrowska, R. Kalicka // 978-83-918663-5-1 (122 str.)  
*Optymalizacja Eksperymentu Identyfikującego Modele Procesów Biomedycznych*, 2008
- Vol. 3. A. Bujnowski // 978-83-918663-7-5 (142 str.)  
*Różnicowa Tomografia Impedancyjna*, 2009
- Vol. 4. W. Szwoch // 978-83-918663-7-5 (136 str.)  
*Analiza Odłącznych Schematów Blokowych z Oceną ich Estetyki*, 2012
- Vol. 5. M. Domżański, Z. Kowalczyk // 978-83-63177-01-0 (138 str.)  
*Wyznaczanie trajektorii obiektów dynamicznych na podstawie danych z wielu estymatorów stanu*, 2016
- Vol. 6. M. Czubenko, Z. Kowalczyk // 978-83-63177-02-7 (108 str.)  
*Elementy psychologii w kontekście autonomii robotów*, 2019

**Wolumeny Serii PN: Problemy Nauki**

- Vol. 1. P. Zientara // 978-83-926806-0-4 (202 str.)  
*Związki Zawodowe w Największych Gospodarkach Europy a Przemiany Strukturalne i Ewolucja Modelu Społeczno-Ekonomicznego*, 2009

**Wolumeny Serii MPA: Monografie i Podręczniki Akademickie**

- Vol. 1. M. Szwoch // 978-83-918663-8-2 (212 str.)  
*Języki Formalne, Automaty i Translatory*, 2008
- Vol. 2. C. Orłowski, Z. Kowalczyk // 978-83-926806-4-2 (294 str.)  
*Modelowanie Procesów Zarządzania Technologiami Informatycznymi*, 2012

**Wolumeny Serii PP: Publikacje Politechniczne**

- Vol. 1. Z. Kowalczyk (red.) // 978-83-926806-1-1 (274 str.)  
*Charakterystyka Energetyczna Budynków*, 2010

