

Krzysztof GOCZYŁA, Aleksander WALOSZEK, Wojciech WALOSZEK
Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

ONTOLOGIA PIPSDRUGS: PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE METODY SIM

Streszczenie. Metoda SIM zmniejsza złożoność ontologii oraz upraszcza proces modelowania, jednak może też wywoływać niekorzystne zjawiska, np. konieczność uproszczenia modelu lub utrudnienie wnioskowania. Na pytanie, jak duży jest zasięg szkodliwych zjawisk, może odpowiedzieć tylko praktyczne zastosowanie. Ontologia PIPSDrugs jest pierwszą praktyczną realizacją opisu wiedzy na podstawie reguły metody SIM.

Słowa kluczowe: kontekst, ontologia, modularyzacja ontologii, baza wiedzy, logika opisowa

PIPSDRUGS ONTOLOGY: A PRACTICAL APPLICATION OF THE SIM METHOD

Summary. SIM method decreases complexity of ontologies and facilitates the process of modeling. However its use may cause negative effects like disturbance of reasoning or lesser model expressivity. Practical tests may determine whether these effects may impede the knowledge base. PIPSDrugs ontology is the first example of applied use of SIM.

Keywords: context, ontology, ontology modularization, knowledge base, description logic

1. Wstęp

Metoda SIM ustanawia praktyczne zasady tworzenia modularnych baz wiedzy. Stawia sobie za cel, w odróżnieniu do innych metod modularyzacji ontologii, maksymalne uproszczenie procesu modelowania. Uproszczenie to polega na zastąpieniu pracochłonnych, precyzyjnych opisów mapowania zależności między modułami przez proste powiązanie ich trzema

typami relacji, determinującymi metody i ścieżki wnioskowania. Ten sposób opisu pozwala skorzystać ze wszystkich zalet, jakie niesie za sobą modularyzacja, a więc: łatwiejsze zrozumienie modelu, mniej pracochłonne jego rozwijanie, sprawniejsze wnioskowanie, a także umożliwienie ponownego użycia różnych fragmentów wiedzy. Jednak może też powodować zjawiska niekorzystne dla procesu modelowania lub korzystania z bazy wiedzy. Źródłem tych zjawisk jest wzajemna hermetyczność modułów, które nie są ze sobą powiązane. Pociąga ona za sobą, na przykład, niemożność definiowania związków między terminami pochodzącymi z ich słowników czy też utrudnienie zadawania zapytań wymagających zgromadzenia informacji z kilku takich modułów. Na pytanie, czy negatywny wpływ tych zjawisk nie jest zbyt duży i w jakim stopniu ograniczają one stosowalność metody, można będzie odpowiedzieć po zebraniu dostatecznie dużego doświadczenia płynącego z zastosowań praktycznych. W niniejszym artykule opisane zostało zastosowanie modelu SIM w trakcie prac nad projektem PIPS (Personal Information Platform for Life and Health Services), finansowanym w ramach 6. Programu Ramowego Unii Europejskiej (<http://www.pips.eu.org/>). W końcowej fazie tego projektu powstała kontekstowa wersja ontologii PIPSDrugs, która została zastosowana w scenariuszu Smart Cabinet.

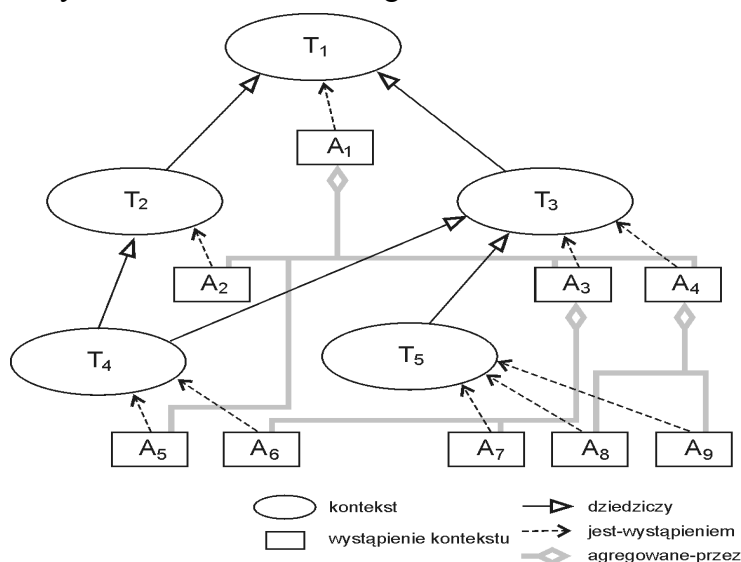
Rozdział 2 niniejszego artykułu zawiera krótki opis metody SIM, rozdział 3 opis ontologii PIPSDrugs, kryteria oraz sposób jej podziału na moduły. Rozdział 4 opisuje skutki modularyzacji. W rozdziale 5 zamieszczone jest podsumowanie oraz wnioski wyciągnięte z tego eksperymentu.

2. Metoda SIM

Metoda SIM została opisana w [1][2]. Wprowadza ona reguły podziału ontologii na moduły. Jest ona przeznaczona dla ontologii wyrażonych za pomocą logiki opisowej (DL – Description Logic) [3]. Ontologie te zawierają dwie części składowe, nazwane *TBox* i *ABox*. *TBox* wprowadza *terminologię*, czyli słownik, który zawiera nazwy *konceptów* i *ról*. Koncepty denotują zbiory *indywiduów*, czyli elementów dziedziny, natomiast role opisują binarne związki między indywiduami. *TBox* zawiera *aksjomaty*, które opisują związki między zakresami konceptów i ról. Koncepty i role, których nazwy znajdują się w słowniku, nazywają się konceptami i rolami *atomowymi*. Możliwe jest tworzenie złożonych wyrażeń opisujących koncepty i role niewymienione w słowniku za pomocą konceptów i ról ze słownika. Takie koncepty i role nazywane są konceptami i rolami *złożonymi*. *TBox* opisuje więc wiedzę ogólną. Z kolei *ABox* opisuje w terminach zdefiniowanych w *TBoxie* jakąś konkretną sytuację. Dlatego jest też zwany *opisem świata* lub *opisem faktów*. Zawiera *asercje*, czyli zdania, które

przypisują indywidualom (a raczej ich nazwom) zakres danego konceptu, a parom indywidualów zakres danej roli.

Metoda SIM wykorzystuje ten podział ontologii i wprowadza odrębną modularyzację TBoxa i ABoxa. Ontologia *kontekstowa*, czyli podzielona na moduły zgodnie z zasadami metody SIM, składa się z *kontekstowego TBoxa* i *kontekstowego ABoxa*. Kontekstowy TBox definiujemy jako $T = (\{T_i\}_{i \in I}, \sqsubseteq)$, gdzie T_i jest modułem TBoxa, zwanym *kontekstem*, a \sqsubseteq jest tranzytywną relacją określającą częściowy porządek w zbiorze indeksów I . Relację tę nazywamy *dziedziczeniem*. Musi ona zawierać element najmniejszy m . Kontekst T_m nazywa się kontekstem *podstawowym*, gdyż dziedziczą od niego wszystkie inne. Relacja dziedziczenia jest podobna do importu znanego z języka OWL — kontekst dziedziczący importuje wszystkie terminy i aksjomaty kontekstu dziedziczonego.



Rys. 1. Przykładowa kontekstowa baza wiedzy. Domknięcia tranzytywne relacji dziedziczenia i agregacji zostały pominięte dla zwiększenia czytelności

Fig. 1. An example of contextualized knowledge base. For the sake of clarity only the transitive reductions of generalization and aggregation relations have been depicted

Kontekstowy ABox definiujemy jako $A = (\{A_j\}_{j \in J}, inst, \ll)$, gdzie A_j jest modułem ABoxa, zwanym *wystąpieniem kontekstu*, $inst$ jest funkcją $J \rightarrow I$ przyporządkowującą każdemu wystąpieniu kontekstu odpowiedni kontekst, a \ll jest tranzytywną relacją określającą częściowy porządek w zbiorze indeksów J . Relację tę nazywamy *agregacją*. Relacja ta musi zawierać element najmniejszy n taki, że $inst(n) = m$. Funkcja $inst$ nie jest funkcją różnowartościową, co oznacza, że każdy kontekst może mieć wiele wystąpień.

Budowa kontekstowego ABoxa narzuca budowę kontekstowej interpretacji, którą definiuje się jako $\mathcal{I} = (\{I_j\}_{j \in J}, \ll)$. I_j jest lokalną interpretacją j -tego wystąpienia kontekstu definiowaną standardowo jako $I_j = (\Delta^{I_j}, \bullet^{I_j})$, gdzie Δ^{I_j} jest dziedziną tego wystąpienia, a funkcja \bullet^{I_j} przypisuje odpowiednie zbiory obiektów dziedziny wszystkim konceptom oraz zbiory par

obiektów rolom zdefiniowanym w T_i : $inst(j) = i$ i jego przodkach. Z kolei \ll jest tą samą relacją, która została zastosowana do zdefiniowania kontekstowego ABoxa. Interpretacja \mathcal{I}_j agreguje interpretacje wszystkich wystąpień kontekstów agregowanych przez A_j . Relacja agregacji wymusza, aby dziedziny wystąpień agregowanych zawierały się w dziedzinie wystąpienia agregującego, $\bigcup_{k \in \{k: j \ll k\}} \Delta^{I_k} \subseteq \Delta^{I_j}$, oraz że:

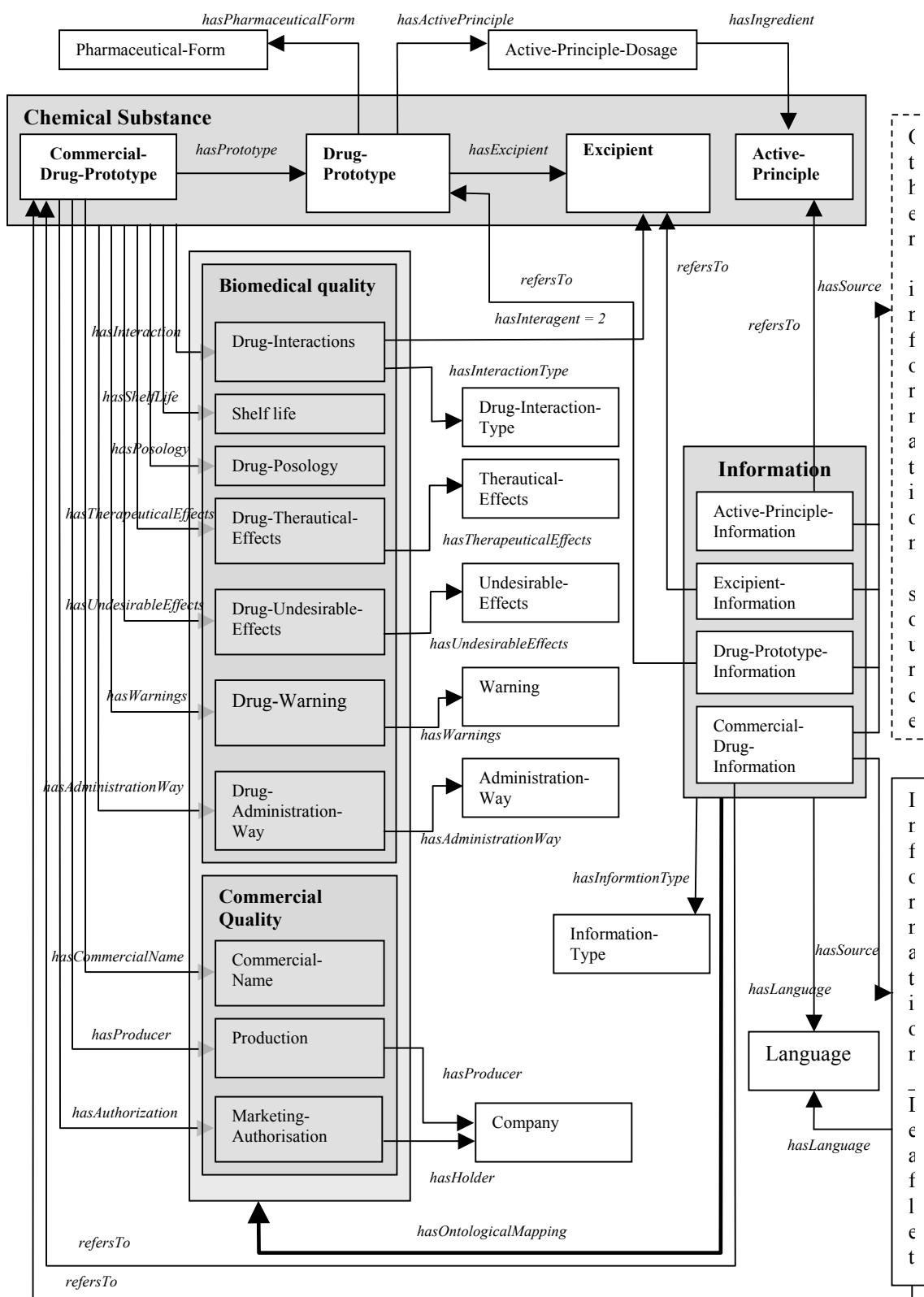
- $\bigcup_{k \in \{k: j \ll k\}} C^{I_k} \subseteq C^{I_j}$,
- $\bigcup_{k \in \{k: j \ll k\}} R^{I_k} \subseteq R^{I_j}$,
- $a^{I_k} = a^{I_j}$,

gdzie C^{I_j} jest podzbiorem dziedziny Δ^{I_j} przypisanym konceptowi C w j -tym wystąpieniu kontekstu, R^{I_j} jest podzbiorem iloczynu kartezjańskiego $\Delta^{I_j} \times \Delta^{I_j}$ przypisanego roli R w tym wystąpieniu, a a^{I_j} jest elementem dziedziny Δ^{I_j} przypisanym osobnikowi a .

Wnioskowanie z ontologii kontekstowej odbywa się zawsze z punktu widzenia jednego wystąpienia kontekstu. Powiązania między modułami mają zapewnić odpowiedni poziom lokalności wniosków i ich kompatybilności z wnioskami wyciąganymi z innych wystąpień kontekstów. W przypadku wiedzy terminologicznej widoczne są tylko te terminy, które zostały zdefiniowane w przyporządkowanym mu kontekście i jego przodkach. W przypadku wnioskowania z ABoxa przepływ z wystąpienia agregującego do agregowanego dokonuje się bez przeszkód, ale gdy mamy do czynienia z przepływem w przeciwnym kierunku, to każda asercja zawierająca terminy zdefiniowane poniżej kontekstu docelowego musi zostać „przetłumaczona” na jego język. W trakcie tego tłumaczenia każdy koncept, który nie jest znany na poziomie kontekstu docelowego, musi zostać zastąpiony jak najbardziej precyzyjnym konceptem (być może złożonym) zbudowanym ze znanych terminów. Przykładowo, asercja `Antropolożka(maria_kowalska)` podczas przenoszenia na poziom, gdzie koncept `Antropolożka` nie jest znany, zostanie przetłumaczona na asercję `(Antropolog \sqcap Kobieta) (maria_kowalska)`.

3. Ontologia PIPSDrugs

Ontologia PIPSDrugs powstała w ramach scenariusza Smart Cabinet realizowanego w trakcie prac nad projektem PIPS. Scenariusz Smart Cabinet obejmował wiele usług skoncentrowanych na decyzjach związanych z przepisywaniem i przyjmowaniem leków. Podstawowym zasobem informacji związanym z tym scenariuszem była właśnie ontologia PIPSDrugs.



Rys. 2. Uproszczony schemat ontologii PIPSDrugs
 Fig. 2. Simplified schema of the PIPSDrugs ontology

Została ona stworzona przez zespół HSR (Fondazione Centro San Raffaele del Monte Tabor), partnera uczestniczącego w projekcie (<http://www.sanraffaele.org/>). Jej uproszczony schemat jest przedstawiony na rys. 2. Jest to ontologia średniej wielkości. Zawiera opis 241 konceptów (134 atomowe i 80 złożonych) oraz 151 właściwości. Jej nieskontekstualizowana wersja została wyrażona dialektem DL o ekspresywności $SHION(\mathcal{D})$ w języku OWL-DL [4]. Jednakże ma ona cechy powodujące, że nie jest łatwa do przetwarzania. Obejmuje bowiem wiele aspektów tematycznych związanych z lekami, takich jak skład chemiczny, informacje o producentach, właściwości biomedyczne, handlowe, a także dane dotyczące informatorów publikowanych na temat leków. Wiele rozłączności między konceptami nie jest wyrażonych, więc układ tych konceptów jest daleki od taksonomicznego. Powoduje to, że powiązania między konceptami są bardzo skomplikowane. Taka konstrukcja ontologii sprawia, że celowe staje się podzielenie jej na moduły, które rozdzieliłyby od siebie poszczególne aspekty tematyczne i tym samym zmniejszyły jej złożoność. Aby ocenić skutek tego podziału na złożoność ontologii, do jej wyrażenia zastosowana zostanie miara zaproponowana w [5]. Ze względu na to, że chodzi o porównanie złożoności tej samej ontologii w wersji zmodularyzowanej i niezmodularyzowanej, w eksperymencie została wykorzystana najprostszą z miar, a mianowicie liczba obszarów atomowych konceptu uniwersalnego: $m(T)$. Jest to uzasadnione tym, że inne miary, np. *precyzja definicji konceptu*, zależą od liczby zdefiniowanych konceptów i ról. Podział sam z siebie nie zmienia tej liczby. W przypadku niepodzielonej ontologii PIPSDrugs liczba $m(T)$ wyniosła 23 787 766 176 ($2,38 \times 10^{10}$). Tak więc podstawowym zadaniem modularyzacji będzie zmniejszenie tej liczby.

4. Podział ontologii PIPSDrugs

4.1. Wymagania

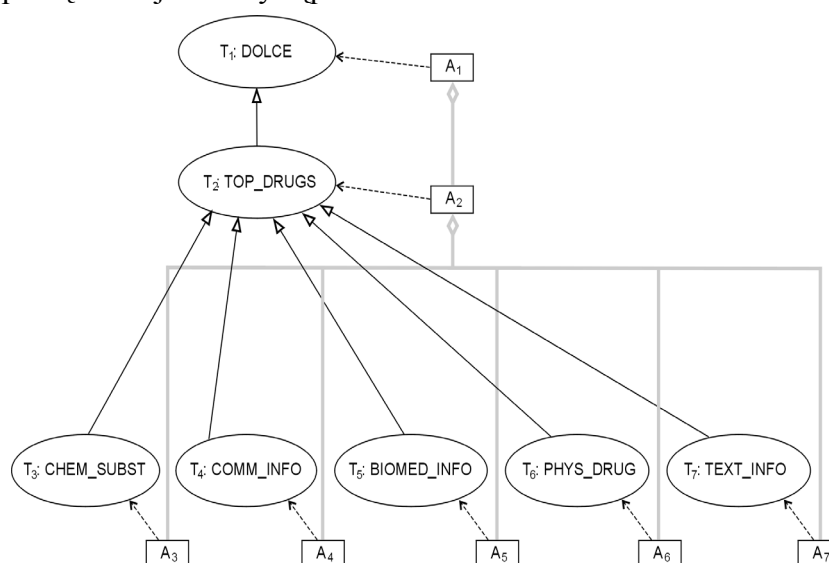
Niewłaściwie przeprowadzona modularyzacja może prowadzić do wielu problemów związanych z użyciem ontologii, np. z utratą informacji lub utrudnieniem uzyskiwania odpowiedzi na zapytania. Dodatkowo, metoda modularyzacji (kontekstualizacji) SIM nie jest powszechnie przyjętym standardem, więc istotne jest, aby zachować możliwość korzystania z ontologii w standardowy (nieskontekstualizowany) sposób. Własne wymagania narzuca zastosowany silnik wnioskujący. Jest nim system KaSeA, również stworzony w trakcie prac nad projektem PIPS. Został on oparty na metodzie kartograficznej, opisanej w [6]. Głównym wymaganiem wynikającym z zastosowania tego silnika jest opisanie ontologii w języku DIGUT [7], który jest rozwinięciem języka DIG 1.1 [8].

Mając to na uwadze, wprowadzone zostały następujące wymagania:

1. Konteksty powinny zawierać informacje, które nie są powiązane (np. przez subsumpcję lub rolę) z informacjami z równoległych kontekstów. Rozdzielenie takich informacji wiązałoby się z utratą możliwości wyciągnięcia pewnych wniosków.
2. Podział nie powinien wpływać na proces zadawania zapytań, tzn. żadne z zapytań, które byłyby zadane do ontologii niepodzielonej, nie powinno być rozbite na więcej zapytań tylko z powodu podziału na konteksty.
3. Podział na konteksty ma być zrealizowany w ten sposób, aby jeden plik nie zawierał informacji z więcej niż jednego kontekstu.
4. Należy utworzyć plik, który za pomocą polecenia `owl:import` połączy nowe pliki i umożliwi przegłądanie ontologii w całości.
5. Powinna istnieć możliwość łatwego przetłumaczenia nowych plików na język DIGUT.

4.2. Podział

Ontologia PIPSDrugs została podzielona na siedem kontekstów (patrz rys. 3.). Do każdego z nich jest podłączone jedno wystąpienie.



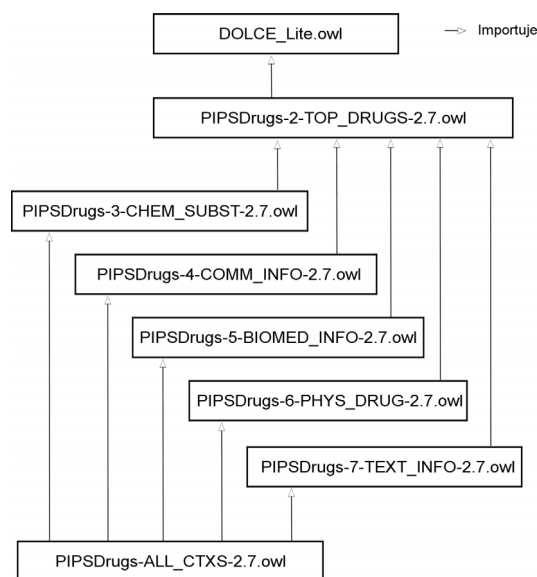
Rys. 3. Podział ontologii PIPSDrugs
Fig. 3. Division of the PIPSDrugs ontology

Ich nazwy i przeznaczenie zawarto w tabeli 1. Pięć kontekstów jest związanych z odrębnym aspektem tematycznym dotyczącym leków (*konteksty tematyczne*). Stanowią one liście hierarchii. Kontekst TOP_DRUGS definiuje koncepty i role, które są wspólne dla wszystkich kontekstów tematycznych. Kontekst DOLCE zawiera ontologię Dolce-Light, która została przez autorów zastosowana jako ontologia podstawowa (*foundational, top-level ontology*) (<http://www.loa-cnr.it/DOLCE.html>).

Tabela 1

Opis kontekstów tematycznych

Nazwa kontekstu	Przeznaczenie	Przykładowe koncepty
DOLCE	ontologia podstawowa	endurant perdurant quality
TOP_DRUGS	uszczegóławia pojęcia z ontologii podstawowej, zawiera pojęcia wspólne dla kontekstów tematycznych	biomedical-quality Chemical-Substance Drug-Prototype
CHEM_SUBST	opisuje skład chemiczny leków oraz możliwe interakcje między nimi; pozwala stwierdzić, czy dane dwa leki nie kolidują ze sobą	Active-Principle-Dosage Pharmaceutical-Form Drug-Interaction-Type
COMM_INFO	zawiera informację o handlowych właściwościach leków, głównie informacje o producencie i jego uprawnieniach	Company Marketing-Authorisation Patent
BIOMED_INFO	opisuje biomedyczne właściwości leków, informuje o dawkowaniu, o skutkach terapeutycznych i niepożądanych efektach	Shelf-Life Administration-Way Therapeutical-Effects
PHYS_DRUG	opisuje konkretne produkty oraz ich status, mówiący np. o tym, czy dana seria nie jest wycofana z rynku	Container EPC-Code Status
TEXT_INFO	opisuje informację na temat leków, zawartość ulotek, informatorów	Drug-Information-Type Information-Leaflet Therapeutic indications



Rys. 4. Rozmieszczenie kontekstów w plikach
Fig. 4. Distribution of the contexts in files

Każdy z kontekstów, opisany językiem OWL, został umieszczony w odrębnym pliku. Rysunek 4 przedstawia sposób łączenia tych plików za pomocą polecenia `owl:import`. Plik `PIPSDrugs-ALL_CTXS-2.7.owl` zawiera tylko polecenia importu, gdyż jego zadaniem jest umożliwienie przeglądania ontologii w całości za pomocą narzędzi takich, jak Protégé (<http://protege.stanford.edu/>).

W razie konieczności zmiany były wprowadzane do powyższych plików, a następnie pliki te były tłumaczone za pomocą translatora na język DIGUT. Wynikowe pliki translacji były ręcznie łączone i uzupełniane o rozkazy tworzące konteksty i ich wystąpienia.

4.3. Ocena rezultatów podziału

Główny cel podziału, którym było obniżenie złożoności ontologii, został osiągnięty. Tabela 2 przedstawia wartości miary $m(T)$ dla poszczególnych kontekstów tematycznych. Wiadac, że liczba obszarów atomowych konceptu uniwersalnego radykalnie spadła.

Tabela 2

Złożoność kontekstów tematycznych wyrażona miarą $m(T)$	
Nazwa kontekstu	$m(T)$
CHEM_SUBST	232887
COMM_INFO	35181
BIOMED_INFO	6847
PHYS_DRUG	6365
TEXT_INFO	14039

W trakcie dalszych prac okazało się, że zostały spełnione wszystkie wymienione w podrozdziale 4.1. wymagania:

1. Udało się rozdzielić koncepty i role w ten sposób, że nie utracono żadnej informacji zawartej w bazie wiedzy.
2. Do wstępnego przetestowania wymagania z punktu 2. wykorzystano zestaw 22 zapytań kontrolnych. Mimo że przed zamknięciem scenariusza Smart Cabinet ulegały one wielokrotnym zmianom, ani razu nie zaistniała konieczność rozbijania zapytań między różne konteksty i składania cząstkowych wyników w jedną odpowiedź syntetyczną.
3. Każdy plik zawierał dokładnie jeden kontekst.
4. Plikiem łączącym wszystkie konteksty w całość był PIPSDrugs-ALL_CTXS-2.7.owl. Przeglądany w Protégé pozwalał obejrzeć ontologię w całości, choć wydajność tego narzędzia wyraźnie spadła.
5. Translacja plików na język DIGUT nie nastąpiła z zasadniczych trudności.

5. Podsumowanie i wnioski

W niniejszym artykule zaprezentowane zostało praktyczne zastosowanie metody SIM do kontekstowego opisu wiedzy. Modularyzacji poddana została ontologia PIPSDrugs powstała w ramach scenariusza Smart Cabinet realizowanego w trakcie prac nad projektem PIPS. Przedstawiony został sposób podziału tej ontologii oraz osiągnięte rezultaty. W opisywanym przypadku nie pociągnęło to za sobą negatywnych konsekwencji, takich jak utrata niektórych wniosków czy też utrudnienie odpowiedzi na zapytania. Uzyskano natomiast znaczącą korzyść polegającą na zmniejszeniu złożoności ontologii.

Zaproponowany podział nie wykorzystał jednej z ważniejszych właściwości metody SIM, która polega na możliwości tworzenia wielu wystąpień tego samego kontekstu. Interesujące, na przykład, byłoby wypróbowanie takiego podziału, w którym jedno wystąpienie kontekstu opisywałoby jakiś aspekt tematyczny związany z jednym lekiem. Dla każdego leku byłoby tworzone nowe wystąpienie takiego kontekstu. Jednakże w obecnej wersji metody nie byłoby to możliwe, gdyż nie istnieje sposób dowiedzenia się za pomocą zapytania ontologicznego, w którym wystąpieniu kontekstu szukać informacji o danym leku. Dalszy rozwój metody musi uwzględnić taką potrzebę.

Podział został dokonany ze względu na z góry zdeterminowaną listę zapytań. Choć w trakcie prac nad oprogramowaniem wykorzystującym ontologię nie pojawiło się żadne zapytanie, które wymagałoby innego podziału, jest to znaczące ograniczenie, które w bazach wiedzy nie powinno istnieć. Dlatego istotne jest wprowadzenie mechanizmu, który umożliwiłby dynamiczne tworzenie kontekstu zawierającego wiedzę niezbędną do obsłużenia otrzymanego zapytania. Autorzy podjęli już prace nad algebraami, które dadzą teoretyczną podstawę do stworzenia takiego mechanizmu.

BIBLIOGRAFIA

1. Goczyła K., Waloszek A., Waloszek W.: Hierarchiczny podział przestrzeni ontologii na konteksty. W: Bazy danych. Nowe technologie, red. Kozielski S., Małysiak B., Kasprowski P., Mrozek D., WKŁ, 2007, s. 247÷260.
2. Goczyła K., Waloszek A., Waloszek W.: Contextualization of a DL Knowledge Base. W: Proceedings of the 20th International Workshop on Description Logics DL'07, red. Calvanese D., Franconi E., Haarslev V., Lembo D., Motik B., Tessaris S., Turnan A.Y., Bozen-Bolzano University Press, 2007, s. 291÷298.
3. Baader F.A., McGuinness D. L., Nardi D., Patel-Schneider P. F.: The Description Logic Handbook: Theory, implementation, and applications. Cambridge University Press, 2003.
4. Patel-Schneider P.F., Hayes P., Horrocks I., OWL web ontology language semantics and abstract syntax. Rekomendacja W3C, 2004. Dostępny pod adresem: <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/>
5. Goczyła K., Waloszek A., Waloszek W.: Pomiar właściwości ontologii za pomocą metody kartograficznej. W: Bazy danych. Rozwój metod i technologii, red. Kozielski S., Małysiak B., Kasprowski P., Mrozek D. WKŁ, 2008, s. 295÷308.



6. Goczyła K., Waloszek W., Zawadzka T., Zawadzki M.: The Knowledge Cartography – a New Approach to Reasoning over Description Logics Ontologies. W: SOFSEM 2006: Theory and Practice of Computer Science, red. J. Wiedermann, J. Stuller, G. Tel, J. Pokorný, M. Bielikova, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2006 (LNCS 3831), s. 293÷302.
7. DIGUT Interface Version 1.3 Raport grupy KMG@GUT, 2005. Dostępny pod adresem: http://km.pg.gda.pl/km/digut/1.3/DIGUT_Interface_1.3.pdf.
8. Bechhofer S.: The DIG Description Logic Interface: DIG/1.1, University of Manchester, February 7, 2003.

Recenzent: Dr inż. Sławomir Niedbała

Wpłynęło do Redakcji 3 lutego 2009 r.

Abstract

The paper describes a practical application of the SIM method – method of modularization of knowledge bases which focuses on facilitation of the process of their creation and design. Practical experiences with the method are extremely important, as they allow to ascertain whether the set of simplifying assumptions made in the apparatus of the method does not constrain the end-user of the knowledge base.

The practical application described in the paper has been conducted during PIPS (EU 6th framework) project. SIM model has been used to modularize the PIPSDrugs ontology – medium sized ontology embracing about 250 classes and 120 properties. The ontology was to be used in the Smart Cabinet scenario supporting medical staff and patients in the process of following prescribes and preventing mistakes in dosage. Notwithstanding the ontology size, its internal complexity measured with cartographic metrics was extremely high as in many cases no interrelationships between defined classes and properties have been specified, which dramatically increased the space of the possible models of the ontology.

The main goal of the modularization process was to divide the ontology into modules in order to decrease the internal complexity of the ontology, while preserving the possibility of answering all needed practical queries. Additional goals were connected with maintaining compatibility with non-SIM systems.

The conducted process of modularization allowed to reach all of the defined goals. The created structure of modules was suitable for answering all competency queries, moreover

further questions which appeared at later stages of implementation could also be seamlessly handled by the contextualized structure. The internal complexity of each module was dramatically smaller than in the case of non-divided ontology.

As showed in the paper the performed experiments demonstrated the usefulness of the SIM method and also allowed for definition of new direction of its development.

Adresy

Krzysztof GOCZYŁA: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Polska, kris@eti.pg.gda.pl.

Aleksander WALOSZEK: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Polska, alwal@eti.pg.gda.pl.

Wojciech WALOSZEK: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk, Polska, wowal@eti.pg.gda.pl.