STUDIA INFORMATICA 2012
Volume 33 Number 2A (105)

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

ODWZOROWANIA MIĘDZYONTOLOGICZNE W ALGEBRZE KONGLOMERATÓW[1]

Streszczenie. Modularyzacja i integracja ontologii to dziedziny, które w ostatnim okresie są obiektem intensywnego rozwoju. Rozwój nowych idei spowodował konieczność wprowadzenia ich systematyzacji i klasyfikacji. W niniejszym artykule przeanalizowano możliwość wyrażenia odwzorowań i złączeń za pomocą algebry konglomeratów oraz przedyskutowano możliwość wykorzystania roli algebry jako ujednoliconego medium opisu metod integracji i modularyzacji.

Słowa kluczowe: ontologie, bazy wiedzy, modularyzacja, integracja, logika opisowa

INTER-ONTOLOGICAL MAPPINGS IN THE ALGEBRA OF CONGLOMERATES

Summary. Modularization and integration of ontologies are domains that are recently of great interest among researchers in the domain of Semantic Web. In the paper we analyze the possibility of expressing two main branches of methods: mappings and links by means of s-module algebra and discuss possibility of using the algebra as a uniform medium of description of such methods.

Keywords: ontologies, knowledge bases, description logics, modularization, integration

[1] Praca częściowo finansowana z funduszy NCBiR, grant nr SP/I/1/77065/10, projekt SYNAT.

1. Wprowadzenie

Możliwość ponownego użycia ontologii jest jednym z postulatów, który stanowi podstawę Semantycznego Internetu oraz daje nadzieję na coraz szersze zastosowanie metod opartych na wiedzy w codziennej praktyce inżyniera informatyka. Niestety okazuje się, że w wielu przypadkach wykorzystanie wprost istniejącej ontologii nie spełnia oczekiwań. Konieczne staje się stosowanie bardziej zaawansowanych sposobów sięgania do wiedzy raz opisanej przez innych.

Dostrzeżenie tego zjawiska zaowocowało utworzeniem wielu technik. Wciąż dość powszechne jest podejście oparte na *importowaniu* istniejących ontologii. W najprostszym wariancie, wykorzystanym np. w podstawowej wersji języka OWL [1], import polega na traktowaniu wszystkich zdań i terminów ontologii importowanej tak, jakby były częścią ontologii importującej. W bardziej zaawansowanych wariantach (jak np. w propozycji wypracowanej w trakcie projektu NeOn [2] oraz w systemie P-DL [3]) ontologie importowane są przy użyciu tzw. interfejsów, które specyfikują publiczne (tj. możliwe do zaimportowania i wykorzystania) i prywatne części ontologii.

Niezależnie od metod importu wypracowano również alternatywne rozwiązania, pozwalające na zachowanie większej kontroli nad pozyskiwaną zawartością. Jedną z najbardziej znanych metod jest *odwzorowanie* przez wykorzystanie reguł DDL ([4]; ang. *Distributed Description Logics*). Pozyskiwanie istniejącej wiedzy polega na sformułowaniu zestawu tzw. reguł pomostowych, opisujących zależności pomiędzy terminami[2] w ontologii źródłowej a terminami w ontologii docelowej (tworzonej przez użytkownika). Inną bardzo znaną metodą jest wykorzystanie *złączeń* proponowanych w ramach podejścia $\mathcal{E}$-Connections [5]. Tutaj do typowych części ontologii zapisanej w logice opisowej dodawany jest tzw. LBox, określający role, które łączą ze sobą osobniki z dwu ontologii. Przyjmowane jest przy tym założenie, że łączone ontologie opisują parami rozłączne dziedziny problemowe. Ogranicza to zakres stosowania metody, ale sprawia, że można przeprowadzić ścisłe rozgraniczenie pomiędzy „tradycyjnymi” rolami a rolami łączącymi.

Przedstawione rozróżnienie pomiędzy importem, odwzorowaniem i złączeniem pochodzi z pracy [6]. Wskazano tam na znaczące różnice pomiędzy wymienionymi podejściami i konieczność podjęcia bardziej systematycznych studiów porównawczych.

W niniejszym artykule podjęto temat wskazany w [6] przez próbę opisu odwzorowań (DDL) i złączeń ($\mathcal{E}$-Connections) za pomocą *algebry konglomeratów*. Algebra ta, prezentowana we wcześniejszych pracach, stanowi narzędzie pozwalające na jednoznaczny i stosunkowo jednolity sposób zależności semantycznych pomiędzy modułami. Przeprowadzone

[2] Dokładniej: zakresami terminów.

studium pozwala na wskazanie ciekawych związków pomiędzy porównywanymi metodami, a także na sformułowanie wniosków dotyczących przyszłego rozwoju algebry.

Pozostała część artykułu zorganizowana jest w następujący sposób. W rozdziale 2 przytoczono podstawy algebry konglomeratów, kładąc nacisk na operacje wykorzystane w dalszej części artykułu. W rozdziale 3 podjęto problem opisu DDL za pomocą działań algebry konglomeratów. W rozdziale 4 dokonano analizy możliwości wyrażenia złączeń za pomocą tej algebry, a rozdział 5 zawiera wnioski i podsumowanie oraz wskazuje kierunki dalszych prac.

2. Algebra konglomeratów

Podejście konglomeratowe zostało zdefiniowane i opisane w [7]. W niniejszym rozdziale przytoczone zostaną tylko najważniejsze definicje i pojęcia.

W logice opisowej przyjmuje się, że mamy do czynienia z trzema rodzajami nazw: *osobniki* nazywają elementy dziedziny, a *koncepty* i *role* to predykaty unarne i binarne. Każda *sygnatura* (słownik) **S** jest więc zbiorem nazw osobników, konceptów i ról i stanowi podzbiór *sygnatury pełnej* $\mathfrak{S}$, zawierającej wszystkie dopuszczalne nazwy tych trzech rodzajów.

Nazwy mogą być interpretowane, a każda *interpretacja* (*bazowa*) $\mathcal{I}$ jest parą $(\Delta^{\mathcal{I}}, \cdot^{\mathcal{I}})$ składającą się z *dziedziny* $\Delta^{\mathcal{I}}$ i *funkcji interpretacyjnej* $\cdot^{\mathcal{I}}$ przypisującej osobnikom, konceptom i rolom odpowiednio elementy, podzbiory i zbiory par elementów $\Delta^{\mathcal{I}}$. Dla uproszczenia formalizmu warto przyjąć, że każda interpretacja bazowa interpretuje wszystkie terminy z $\mathfrak{S}$.

Na interpretacjach można wykonać dwa ważne działania: *projekcję* i *przycięcie*. Projekcja $\mathcal{I}|\mathbf{S}$ polega na „ograniczeniu” interpretacji $\mathcal{I}$ tylko do zadanego słownika **S**, przy czym ograniczenie to jest rozumiane dość specyficznie: wynikiem działania jest tu zbiór interpretacji, które przypisują terminom spoza **S** dowolne możliwe zakresy, a zakresy terminów z **S** pozostawiają niezmienione: $\mathcal{I}|\mathbf{S} = \{\mathcal{J}: \Delta^{\mathcal{J}} = \Delta^{\mathcal{I}} \wedge \forall X \in \mathbf{S}: X^{\mathcal{J}} = X^{\mathcal{I}}\}$.

Z kolei przycięcie interpretacji $\mathcal{I}$ polega na ograniczeniu jej dziedziny do pewnego podzbioru $\Delta^{\mathcal{I}}$; podobną operację przeprowadza się na zakresach terminów: $\mathcal{I} \cap S = \mathcal{J}$, $\Delta^{\mathcal{J}} = \Delta^{\mathcal{I}} \cap S$, $\forall X \in \mathfrak{S}: X^{\mathcal{J}} = X^{\mathcal{I}} \cap S$.

Konglomerat jest pojęciem oznaczającym moduł ontologiczny, ale rozumiany ściśle semantycznie, wyłącznie przez pryzmaty słownika i interpretacji.

> **Definicja 1** (konglomerat): *Konglomeratem K* nazywamy parę (**S**, **W**), gdzie **S** jest sygnaturą, a **W** zbiorem interpretacji bazowych, takich że **W**|**S** = **W**. Każdą interpretację z **W** nazywamy *modelem K*. ■

W dalszej części artykułu zapisy **S**(*M*) i **W**(*M*) oznaczają odpowiednio sygnaturę i zbiór modeli danego konglomeratu *M*.

Dla każdej ontologii $\mathcal{O}$, rozumianej jako zbiór zdań w logice opisowej, można zbudować konglomerat $M(\mathcal{O})$ taki, że $\mathbf{S}(M(\mathcal{O}))$ obejmuje wszystkie terminy z $\mathcal{O}$, a $\mathbf{W}(M(\mathcal{O})) = \{\mathcal{I}: \mathcal{I} \vDash \mathcal{O}\}$. Chociaż $M(\mathcal{O})$ „pamięta” semantykę ontologii $\mathcal{O}$, „zapomina” dokładną postać zdań, np. $M(\{A \sqsubseteq B\}) = M(\{A \equiv A \sqcap B\})$.

Na konglomeratach można wykonywać wiele operacji (M i L to dowolne konglomeraty, $\mathbf{S}$ oznacza dowolną sygnaturę, γ funkcję $\mathcal{P}(\mathfrak{S}) \longrightarrow \mathcal{P}(\mathfrak{S})$, a C dowolny koncept z $\mathbf{S}(M)$):

$$M \cap L=(\mathbf{S}(M) \cup \mathbf{S}(L), \mathbf{W}(M) \cap \mathbf{W}(L))$$
$$M \cup L=(\mathbf{S}(M) \cup \mathbf{S}(L), \mathbf{W}(M) \cup \mathbf{W}(L))$$
$$M - L=(\mathbf{S}(M) \cup \mathbf{S}(L), \mathbf{W}(M) - \mathbf{W}(L))$$
$$\rho_\gamma(M)=(\gamma(\mathbf{S}(M)), \{\mathcal{J} = (\Delta^\mathcal{J}, \cdot^\mathcal{J}): \exists \mathcal{I} \in \mathbf{W}(M): \Delta^\mathcal{I} = \Delta^\mathcal{J} \wedge \forall X \in \mathfrak{S}: \gamma(X)^\mathcal{J} = X^\mathcal{I}\})$$
$$\pi_\mathbf{S}(M)=(\mathbf{S}, \mathbf{W}(M)|\mathbf{S})$$
$$L \upsilon_C M=(\mathbf{S}(L) \cup \mathbf{S}(M), \{\mathcal{I} \in \mathbf{W}(M): \mathcal{I} \cap C^\mathcal{I} \in \mathbf{W}(L)\})$$
$$\xi_C(M)=(\mathbf{S}(M), \{\mathcal{I} \cap C^\mathcal{I}: \mathcal{I} \in \mathbf{W}(M)\})$$

Operacje przecięcia ($\cap$), projekcji (π) i przemianowania (ρ) pozwalają na dokonanie importu wiedzy pomiędzy modułami. Przecięcie reprezentuje najprostszy sposób importu, jako że $M(\mathcal{O}_1) \cap M(\mathcal{O}_2) = M(\mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2)$. Import tylko części terminów możliwy jest dzięki projekcji, która ogranicza słownik konglomeratu, w przypadku konfliktu nazw można zaś posłużyć się operacją przemianowania.

Przykład 1: Załóżmy, że do ontologii $\mathcal{O}_1 = \{Samochód \sqsubseteq ObiektUbezpieczenia\}$ chcemy zaimportować elementy ontologii $\mathcal{O}_2 = \{Osobowy \sqsubseteq Pojazd,\ Sedan \sqsubseteq Osobowy,\ Hatchback \sqsubseteq Osobowy\}$. Jednak termin *Pojazd* chcemy odrzucić jako zbyt ogólny, koncept *Osobowy* zaś utożsamić z konceptem *Samochód*. Odpowiedni konglomerat spełniający te wymagania można skonstruować jako: $M = M(\mathcal{O}_1) \cap \pi_{\mathbf{S}\text{ - }Pojazd}(\rho_{Osobowy \to Samochód}(M(\mathcal{O}_2)))$. ■

W przedstawionym przykładzie wykorzystano kilka skrótów notacyjnych, które będą wykorzystywane w dalszej części artykułu: przez $\rho_{A \to B}$ rozumiemy ρ_γ dla funkcji γ, która zamienia jedynie termin A na B, pozostawiając pozostałe terminy niezmienione (czasami używana jest też notacja z wzorcami nazw, np. $* \to 1{:}*$), natomiast przez $\pi_{\mathbf{S}\text{ - }X}(M)$ rozumiemy $\pi_{\mathbf{S}(M)\text{ - }\{X\}}(M)$.

Operacje unii ($\cup$) i różnicy ($-$) dopełniają zbiór działań do algebry Boole'a. Z kolei operacja wchłonięcia (υ_C) pozwala na zastosowanie zależności pomiędzy terminami ze źródłowego konglomeratu L, ale tylko w podzbiorze dziedziny docelowego konglomeratu M. Wraz z komplementarną operacją ograniczenia (ξ_C) wchłonięcie wprowadza do algebry środki operowania na dziedzinie (co będzie bardzo ważne w kolejnych rozdziałach).

Dodatkowo w [7] wprowadzono także operację *selekcji* σ_α. Tutaj zostanie ona potraktowana jako pewien skrót notacyjny, jako że według przyjętych założeń $\sigma_\alpha(M) = M \cap M(\alpha)$.

3. Wyrażanie odwzorowań za pomocą algebry konglomeratów

W niniejszym rozdziale opisano zagadnienie wyrażenia odwzorowań ontologicznych za pomocą algebry konglomeratów. Jako metodę odwzorowań przyjęto tutaj DDL, który opisany został w podrozdziale 3.1. Kolejne podrozdziały prezentują metody tłumaczenia coraz bardziej ekspresywnych wariantów DDL na wyrażenia algebry. Końcowy podrozdział 3.4 zawiera podsumowanie rozważań.

3.1. Wprowadzenie do DDL

DDL (ang. *Distributed Description Logics*) to jedna z najszerzej znanych metod łączenia modułów ontologicznych. Zaproponowana w 2003 roku przez Borgidę i Serafiniego [4], była później rozszerzona i adaptowana w wielu pracach (m.in. [8]). Niniejszy podrozdział prezentuje metodę w uaktualnionej, współczesnej wersji (głównie na podstawie [9]), w której mówi się raczej o rodzinie logik DDL.

Logiki DDL koncentrują się na odwzorowywaniu zakresów terminów z jednego modułu ontologicznego na odpowiednie zakresy w drugim. Przyjmuje się przy tym, że istnieje pewien zbiór modułów (czy też ontologii) $\{O_i\}_{i \in I}$, indeksowany przez zbiór I. Każdy moduł w zasadzie jest ontologią (czyli traktowany jest jako zbiór zdań). Dla każdej pary modułów O_i (moduł źródłowy) i O_j (moduł docelowy; $i, j \in I$, $i \neq j$) określony jest (choć może być pusty) zbiór reguł pomostowych $\mathfrak{B}_{ij}$.

Istnieją trzy rodzaje reguł pomostowych (przyjmujemy, że C i D to koncepty, a i b zaś to osobniki odpowiednio z modułów O_i i O_j):

$i: C \xrightarrow{\sqsubseteq} j: D$ (tzw. reguła *into*)

$i: C \xrightarrow{\sqsupseteq} j: D$ (tzw. reguła *onto*)

$i: a \longrightarrow j: b$ (tzw. *odpowiedniość osobników*)

Rozproszoną bazą wiedzy (RBW) $\mathfrak{K} = (\{O_i\}_{i \in I}, \{\mathfrak{B}_{ij}\}_{i, j \in I, i \neq j})$ nazywamy zbiór modułów wraz ze zbiorami reguł pomostowych. Gdy dla pewnych $i, j \in I$ zbiór $\mathfrak{B}_{ij}$ jest niepusty, mówimy, że moduł O_j *korzysta z* O_i.

Rozproszoną interpretacją $\mathfrak{I}$ nazywamy parę $(\{\mathcal{I}_i\}_{i \in I}, \{r_{ij}\}_{i, j \in I, i \neq j})$, gdzie $\{\mathcal{I}_i\}$ to zbiór interpretacji (nazywanych *interpretacjami lokalnymi*), $\{r_{ij}\}$ zaś to *relacje dziedzinowe* pomiędzy dziedzinami $\mathcal{I}_i$ i $\mathcal{I}_j$. W odróżnieniu od założeń tradycyjnej logiki opisowej DL każda interpretacja lokalna może być też tzw. dziurą, czyli specjalną interpretacją $\mathcal{I}_\epsilon$ o pustej dziedzinie.

Rozproszona interpretacja $\mathfrak{I}$ jest modelem bazy $\mathfrak{K}$ wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego $i \in I$ zachodzi $\mathcal{I}_i \vDash O_i$, a ponadto dla każdej pary $i, j \in I$, $i \neq j$ zachodzi $\mathfrak{I} \vDash \mathfrak{B}_{ij}$, który to zapis oznacza spełnianie przez $\mathfrak{I}$ każdej reguły z $\mathfrak{B}_{ij}$, przy czym:

$$\mathfrak{I} \vDash i\colon C \xrightarrow{\sqsubseteq} j\colon D \quad \Leftrightarrow r_{ij}(C^{\mathcal{I}_i}) \subseteq D^{\mathcal{I}_j}$$

$$\mathfrak{I} \vDash i\colon C \xrightarrow{\sqsupseteq} j\colon D \quad \Leftrightarrow r_{ij}(C^{\mathcal{I}_i}) \supseteq D^{\mathcal{I}_j}$$

$$\mathfrak{I} \vDash i\colon a \longrightarrow j\colon b \quad \Leftrightarrow r_{ij}(a^{\mathcal{I}_i}) \ni d^{\mathcal{I}_j}$$

W oryginalnie zaproponowanej wersji DDL relacje r_{ij} mogły przyjmować dowolną postać. Obecnie rozważa się również ograniczone warianty DDL, które oznaczane są dodatkowymi literami umieszczonymi w nawiasach. Przykładowo, użycie litery F oznacza, że dopuszczalne są tylko funkcyjne relacje r_{ij}, natomiast użycie litery I, że jedynie różnowartościowe. Wariant DDL(F, I) oznacza zatem zgodę jedynie na relacje r_{ij}, które są funkcjami różnowartościowymi.

DDL, w odróżnieniu od algebry konglomeratów, nie zawiera osobnych działań na słownikach modułów. W sytuacji, kiedy użytkownik chciałby zasymulować prosty import modułu, wystąpi zatem konieczność wprowadzenia wszystkich importowanych terminów do modułu docelowego, a następnie sformułowania odpowiednich reguł pomostowych. W rzeczywistych zastosowaniach, z uwagi na potencjalną liczbę takich terminów, proces ten najprawdopodobniej musiałby być zautomatyzowany.

DDL wykazuje jednak swoją użyteczność także w znacznie bardziej skomplikowanych sytuacjach. DDL skonstruowany jest w taki sposób, aby spełniać wiele postulatów (ang. *desiderata*), a wśród nich m.in. postulat *lokalnej niespójności*, oznaczający, że niespójność modułu źródłowego nie może pociągać za sobą niespójności modułu docelowego i całej bazy wiedzy. Zabezpiecza to przed propagacją ewentualnych błędów na całą kolekcję modułów. Postulat ten jest spełniany przez możliwość zastosowania dziur.

Inną, godną odnotowania cechą logiki DDL jest możliwość odwzorowania kilku osobników z modułu źródłowego w jednego osobnika z modułu docelowego. Dalej zilustrowano to znanym „przykładem o pingwinach”, pochodzącym z [5].

Przykład 2: Rozważmy dwa moduły: $O_1 = \{Nielot \equiv \neg Latający, Ptak \sqsubseteq Latający\}$ oraz $O_2 = \{Pingwin \sqsubseteq \top\}$. Definiujemy następujące odwzorowanie $\mathfrak{B}_{12}$:

$$1\colon Nielot \xrightarrow{\sqsupseteq} 2\colon Pingwin$$

$$1\colon Ptak \xrightarrow{\sqsupseteq} 2\colon Pingwin$$

■

Choć mogłoby się wydawać, że *Pingwin* „dziedziczy” tu od dwóch rozłącznych konceptów (*Nielot* i *Latający*), wciąż można uzyskać niepustą interpretację lokalną modułu O_2, pod warunkiem że relacja r_{12} odwzorowuje przynajmniej dwa osobniki (jeden będący wystąpieniem konceptu *Nielot*, a drugi będący wystąpieniem konceptu *Latający*) w jedno wystąpienie konceptu *Pingwin*.

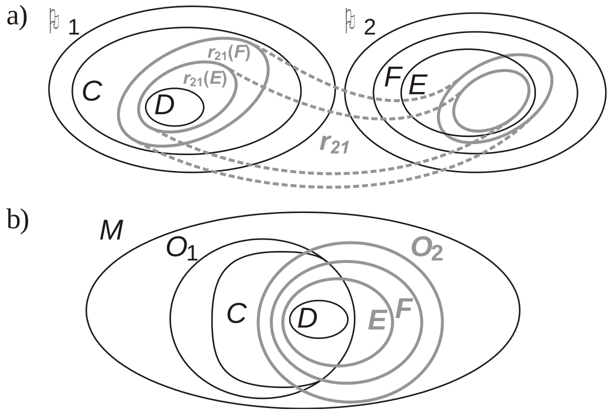
Ciekawostką jest to, że przykład ten w zamierzeniu miał pokazywać nieintuicyjne zachowanie DDL w typowych zastosowaniach. W rzeczywistości doskonale ilustruje jego wyróżniającą się zdolność do łączenia wiedzy o kilku osobnikach z ontologii źródłowej. Natomiast w sytuacjach, gdy takie wnioskowanie jest niepożądane, można wykorzystać mniej ekspresywne warianty DDL, np. DDL(*F*, *I*).

3.2. DDL(*F*, *I*) w algebrze konglomeratów

Przystępując do rozważań na temat możliwości wyrażenia rozproszonych baz DDL w algebrze konglomeratów, skupimy się najpierw na mniej ekspresywnym wariancie tej logiki – DDL(*F*, *I*). W wariancie tym relacje r_{ij} muszą być różnowartościowymi funkcjami, stąd każdemu osobnikowi w $\Delta^{\mathcal{I}_i}$ może odpowiadać najwyżej jeden osobnik z $\Delta^{\mathcal{I}_j}$ i odwrotnie.

To założenie znacznie upraszcza proces wyrażania bazy DDL za pomocą konglomeratów. Jako przykładowy scenariusz przyjęto tutaj rozproszoną bazę $\mathfrak{K}$, zawierającą dwa moduły: DDL $\mathcal{O}_1 = \{C \sqsubseteq \top,\ D \sqsubseteq \top\}$ oraz $\mathcal{O}_2 = \{E \sqsubseteq F\}$ i zbiór reguł pomostowych $\mathfrak{B}_{21} = \{2{:}F \xrightarrow{\sqsubseteq} 1{:}C,\ 2{:}E \xrightarrow{\sqsupseteq} 1{:}D\}$. Reguły te wymuszają, że w każdym modelu $\mathfrak{I}$ bazy $\mathfrak{K}$ zachodzi $\mathcal{I}_1 \vDash D \sqsubseteq C$ (co można też zapisać jako $\mathfrak{K} \vDash 1{:}\ D \sqsubseteq C$).

Pomimo widocznej prostoty przykładu podczas analizy przestrzeni modeli trzeba wziąć pod uwagę kilka możliwości. Otóż relacja r_{21} może odwzorowywać całą dziedzinę $\mathcal{I}_2$ w $\Delta^{\mathcal{I}_1}$, jedynie fragment dziedziny $\mathcal{I}_2$ we fragment $\Delta^{\mathcal{I}_1}$ lub też r_{21} może być pusta, co skutkuje niespełnialnością konceptu *D*. Druga z wymienionych sytuacji przedstawiona jest na rys. 1a przy użyciu diagramów Venna.



Rys. 1. Efekt wyrażenia bazy DDL(F, I) za pomocą konglomeratów
Fig. 1. Effect of expressing DDL(F, I) knowledge base with conglomerates

Aby odzwierciedlić te możliwości w świecie konglomeratów należy, w specjalny sposób skonstruować wynikowe moduły. Konstrukcja modułu M_1, reprezentującego lokalne modele $\mathcal{O}_1$ w $\mathfrak{K}$, przebiega szkicowo jak następuje. Najpierw tworzymy dwa specjalne koncepty O_1 i O_2. Następnie wchłaniamy do tych konceptów odpowiednio moduły $M(O_1)$ i $M(O_2)$, przy czym jeśli zawierają takie same nazwy, trzeba je poprzedzić prefiksem. W kolejnym kroku, za pomocą odpowiedniej selekcji, odrzucamy interpretacje niespełniające reguł pomostowych. Na koniec ograniczamy dziedzinę do konceptu O_1 i dokonujemy projekcji słownika wyłącznie do nazw występujących w O_1.

Wynik przeprowadzenia pierwszych trzech kroków uwidoczniono na rys. 1b. Rezultat jest podobny jak w przypadku odpowiedniej sytuacji dla DDL. Przecięcie konceptów $O_1 \sqcap O_2$ reprezentuje w istocie obszar $r_{21}(\Delta^{\mathcal{I}_2})$ z rys. 1a. Ponieważ wynikowy moduł zawiera wszystkie dopuszczalne interpretacje, wymienione dla DDL sytuacje są dobrze odzwierciedlone, przykładowo pusta relacja r_{21} odpowiada interpretacji, w której $O_1 \sqcap O_2$ jest puste.

Mówiąc bardziej formalnie, proces translacji RBW $\mathcal{K} = (\{O_i\}_{i \in I}, \{\mathfrak{B}_{ij}\}_{i, j \in I, i \neq j})$ do zbioru konglomeratów $\{c(O_i)\}_{i \in I}$ dla wariantu DDL(F, I), przy założeniu braku cyklicznych zależności wzajemnego wykorzystywania modułów, można przeprowadzić za pomocą następujących kroków:

1. Dla modułów O_i, niewykorzystujących innych modułów (liści grafu relacji wykorzystywania), wyznaczamy $c(O_i) = M(O_i)$.
2. Dla każdej reguły pomostowej b z niepustego zbioru $\mathfrak{B}_{ij}$ wyznaczamy *konglomerat pomostowy* β_b, przy czym:
   2.1. dla $b = i{:}\, C \xrightarrow{\sqsubseteq} j{:}\, D$ kładziemy $\beta_b = M(\{\gamma_{*\to i:*}(C) \sqsubseteq \gamma_{*\to j:*}(D)\})$
   2.2. dla $b = i{:}\, C \xrightarrow{\sqsupseteq} j{:}\, D$ kładziemy $\beta_b = M(\{\gamma_{*\to j:*}(D) \sqsubseteq \gamma_{*\to i:*}(C)\})$
   2.3. dla $b = i{:}\, a \longrightarrow j{:}\, b$ kładziemy $\beta_b = M(\{i{:}\, a \doteq j{:}\, b\})$.
3. Dla każdego niepustego $\mathfrak{B}_{ij}$ wyznaczamy *konglomerat odwzorowujący* $\beta_{\mathfrak{B}_{ij}} = \bigcap_{b \in \mathfrak{B}_{ij}} \beta_b$.
4. Poczynając od modułów O_j, wykorzystujących wyłącznie moduły O_i, dla których wyznaczono $c(O_i)$:
   4.1. Dla każdej pary O_j, O_i, $\mathfrak{B}_{ij} \neq \varnothing$ wyznaczamy *konglomerat integrujący* O_i i O_j:
   – $M_{ij} = \beta_{\mathfrak{B}_{ij}} \cap \rho_{*\to j:*}(M(O_j)) \upsilon_{O_j} M(\{O_j \sqsubseteq \top\}) \cap \rho_{*\to i:*}(c(O_i)) \cap \upsilon_{O_i} M(\{O_i \sqsubseteq \top\})$.
   4.2. Wyznaczamy *zintegrowany konglomerat dla* O_j: $M_j = \bigcap_{i \in \{i:\, \mathfrak{B}_{ij} \neq \varnothing\}} M_{ij}$.
   4.3. Wyznaczamy $c(O_j)$ jako $\rho_{j:*\to *}(\pi_{\mathbf{S} - O_j}(\xi_{O_j}(M_j)))$.
5. Powtarzamy krok 4 aż do przetłumaczenia wszystkich modułów.

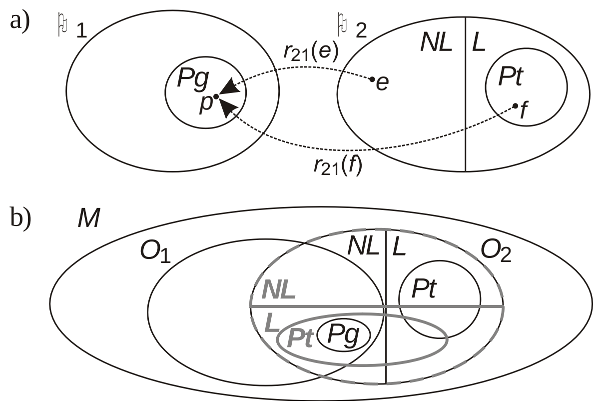
Można udowodnić (dowód pomijamy ze względu na rozmiary artykułu), że dla tak skonstruowanego zbioru konglomeratów każdemu modelowi konglomeratu M_j odpowiada model bazy $\mathcal{K}$, zachodzi też zależność odwrotna.

3.3. DDL(F, N^n) w algebrze konglomeratów

W niniejszym podrozdziale przedstawione zostanie rozszerzenie metody pozwalające na wykorzystanie relacji dziedzinowych, które niekoniecznie są różnowartościowe. Podobnie jak poprzednio, na początek posłużymy się przykładem. Przykład ten stanowi zaadaptowaną wersję „ontologii z pingwinem” (patrz przykład 2), choć, dla jasności prezentacji, zastosowano w nim skrócone nazwy konceptów. Nasza RBW składa się z dwóch modułów: $\mathcal{O}_1$ = $\{Pg \sqsubseteq \top\}$ oraz $\mathcal{O}_2$ = $\{NL \sqsubseteq \neg L, Pt \sqsubseteq NL\}$ (*Pg*, *Pt*, *L* i *NL* oznaczają odpowiednio *Pingwiny*, *Ptaki*, *Latające* i *Nieloty*). Jedyny niepusty zbiór reguł to $\mathfrak{B}_{21}$ = $\{2{:}NL \xrightarrow{\sqsupseteq} 1{:}Pg,$ $2{:}Pt \xrightarrow{\sqsupseteq} 1{:}Pg\}$.

Jak już wcześniej wspomniano, koncept *Pg* jest spełnialny, ale jedynie przy założeniu, że relacja r_{21} odwzoruje dwa osobniki z $\Delta^{\mathcal{I}_2}$ w jednego osobnika z $\Delta^{\mathcal{I}_1}$. Taką sytuację przedstawiono schematycznie na rys. 2a.

Strategia zaproponowana w poprzednim podrozdziale jest niewystarczająca, aby zamodelować tę sytuację za pomocą konglomeratów. Choć można na siebie nałożyć dziedziny dwóch modułów, samo nakładanie nie jest w stanie zasymulować możliwości odwzorowania dwóch osobników z jednego modułu w jednego osobnika z drugiego. Proponowane rozwiązanie tego problemu przedstawiono schematycznie na rys. 2b. Jak widać, polega ono na zastosowaniu takiego samego koncepcyjnego podziału (określonego przez zawartość modułu $\mathcal{O}_2$) fragmentu dziedziny (reprezentowanego zakresem konceptu O_2) *dwukrotnie*. Taką operację można wykonać przy użyciu prefiksów (dla czytelności pominiętych na rys. 1b i reprezentowanych różnymi odcieniami szarości). Odpowiednie działanie algebry konglomeratów można zapisać następująco: $M_{2.2} = \rho_{* \to 2.2.1:*}(M(\mathrm{O}_2)) \cap \rho_{* \to 2.2.2:*}(M(\mathrm{O}_2))$. Po wykonaniu takiej operacji dziedzina modułu $M_{2.2}$ reprezentuje *de facto pary* elementów dziedziny modułu $M(\mathrm{O}_2)$.



Rys. 2. Baza DDL wg przykładu „z pingwinem” i jej konglomeratowy odpowiednik
Fig. 2. DDL “Penguin example” and its counterpart with conglomerates

Jednakże z takim podejściem związane są dwa zasadnicze problemy. Po pierwsze, tak skonstruowany moduł reprezentuje pary osobników. Choć ten sam sposób postępowania można zastosować, by uzyskać odpowiedniki trójek, czwórek itp., trzeba znać górne ograniczenie na krotność. Proponowane podejście nie zadziała dla każdej sytuacji w DDL(*F*), zatem postulujemy tu wprowadzenie nowego wariantu DDL, DDL(N^n), $n \in \mathbf{N}$, w którym każda relacja dziedzinowa r_{ij} może odwzorowywać co najwyżej *n* osobników z $\Delta^{\mathcal{I}_i}$ w jednego osobnika z $\Delta^{\mathcal{I}_j}$. Stąd też tytuł niniejszego podrozdziału i ograniczenie rozważań do wariantu DDL(F, N^n).

Drugi problem polega na tym, że niektóre elementy dziedziny $M_{2.2}$ reprezentują pary, których nie należy uwzględniać, np. pary (e, e). Problem ten można przezwyciężyć za pomocą pewnych chwytów matematycznych (konkretnie, można tu wykorzystać właściwość *spełnialności rozłącznej unii*, zdefiniowaną przez Serafiniego w [10]), niemniej jednak w sferze koncepcyjnej należy zdawać sobie sprawę z różnicy pomiędzy „podwójnym nakładaniem” dziedzin a wykorzystaniem par osobników.

W sposób bardziej formalny proces translacji RBW $\mathfrak{K} = (\{O_i\}_{i \in I}, \{\mathfrak{B}_{ij}\}_{i, j \in I, i \neq j})$ do zbioru konglomeratów $\{c(O_i)\}_{i \in I}$ dla wariantu DDL(F, N^n), przy założeniu braku cyklicznych zależności wzajemnego wykorzystywania modułów, można wyrazić następująco:

1. Dla modułów O_i niewykorzystujących innych modułów (liści grafu relacji wykorzystywania) wyznaczamy $c(O_i) = M(O_i)$.
2. Dla każdej reguły pomostowej b z niepustego zbioru $\mathfrak{B}_{ij}$ wyznaczamy *konglomerat n-pomostowy* β_b, przy czym:
   2.1. dla $b = i\!: C \xrightarrow{\sqsubseteq} j\!: D$ kładziemy $\beta_b = M(\{\bigsqcup_{k \in [1..n]} \bigsqcup_{l \in [1..k]} \gamma_{* \to i.k.l:*}(C) \sqsubseteq \gamma_{* \to j:*}(D)\})$,
   2.2. dla $b = i\!: C \xrightarrow{\sqsupseteq} j\!: D$ kładziemy $\beta_b = M(\{\gamma_{* \to j:*}(D) \sqsubseteq \bigsqcup_{k \in [1..n]} \bigsqcup_{l \in [1..k]} \gamma_{* \to i.k.l:*}(C)\})$,
   2.3. dla $b = i\!: a \longrightarrow j\!: b$ kładziemy $\beta_b = \bigcup_{k \in 1..n} M(i.k.1\!: a \doteq j\!: b)$.
3. Dla każdego niepustego $\mathfrak{B}_{ij}$ wyznaczamy *konglomerat n-odwzorowujący* $\beta_{\mathfrak{B}_{ij}} = \bigcap_{b \in \mathfrak{B}_{ij}} \beta_b$.
4. Poczynając od modułów O_j, wykorzystujących wyłącznie moduły O_i, dla których wyznaczono $c(O_i)$:
   4.1. dla każdej pary O_j, O_i, $\mathfrak{B}_{ij} \neq \varnothing$ wyznaczamy *konglomeraty n-integrujące* O_i i O_j:
   – $M_{ij} = \quad \beta_{\mathfrak{B}_{ij}} \cap \rho_{* \to i:*}(c(O_j)) \cup_{O_j} M(\{O_j \sqsubseteq \top\}) \cap$
   – $\cap \bigcap_{k, l \in [1..n], k \neq l}(\rho_{* \to i.k.l:*}(c(O_i)) \cup_{O_{i.k.l}} M(\{O_{i.k} \sqcap O_{i.l} \sqsubseteq \bot\!: k, l \in [1..n], k \neq l\}))$,
   4.2. wyznaczamy *zintegrowany konglomerat dla* O_j: $M_j = \bigcap_{i \in \{i:\, \mathfrak{B}_{ij} \neq \varnothing\}} M_{ij}$,
   4.3. wyznaczamy $c(O_j)$ jako $\rho_{j:* \to *}(\pi_{S - O_j}(\xi_{O_j}(M_j)))$.
5. Powtarzamy krok 4 aż do przetłumaczenia wszystkich modułów.

Tak jak poprzednio, można udowodnić, że dla takiej konstrukcji każdemu modelowi konglomeratu M_{ij} odpowiada model bazy $\mathfrak{K}$, zachodzi też zależność odwrotna.

3.4. Podsumowanie

Podsumowując przedstawione w niniejszym podrozdziale przekształcenia, trzeba zauważyć, że pomimo istnienia możliwości dokonania częściowej translacji algebra konglomeratów w swoich założeniach różni się od idei leżącej u podstaw odwzorowań ontologicznych. Problemy w oddaniu specyfiki relacji dziedzinowych wydają się być trudne do przezwyciężenia nawet przez wprowadzenie do algebry nowych działań. Pewnym sposobem rozszerzenia zaprezentowanych metod do pełnego wariantu logiki DDL mogłoby być tutaj wykorzystanie mechanizmu podobnego do granic w matematyce, jednak wymagałoby to dalszej analizy. Jednakże w ramach bardziej ograniczonych wariantów DDL zaproponowane metody sprawdzają się i mogą posłużyć jako materiał do analizy porównawczej.

4. Wyrażanie złączeń za pomocą algebry konglomeratów

W tym rozdziale podjęto problem wyrażenia za pomocą algebry konglomeratów kolejnej metody pozyskiwania wiedzy z innych modułów: złączeń ontologicznych. Rozważania te prowadzone są dla metody $\mathcal{E}$-Connections, której podstawy przypomniano w podrozdziale 4.1. W podrozdziale 4.2 zaprezentowano metodę tłumaczenia bazy $\mathcal{E}$-Connections na konglomeraty, w podrozdziale 4.3 zaś zawarto wnioski dotyczące opisanej konwersji.

4.1. Wprowadzenie do $\mathcal{E}$-Connections

Oryginalnie metoda złączeń $\mathcal{E}$-Connections została zaproponowana w [11] i rozbudowana nieco później ([12]) jako środek pozwalający łączyć ze sobą systemy posługujące się zasadniczo różnymi logicznymi reprezentacjami wiedzy (oprócz różnych wariantów logiki opisowej powoływano się tu na przykłady logiki temporalnej, modalnej, logiki przestrzeni metrycznych itp.). Adaptacji $\mathcal{E}$-Connections jako metody modularyzacji złożonych ontologii zapisanych wyłącznie w logice opisowej, dokonano w 2004 roku w [5]. Tu opiszemy metodę właśnie w takiej (choć dostosowanej do specyfiki niniejszego artykułu) wersji.

Generalnie $\mathcal{E}$-Connections dla logiki opisowej występuje w kilku wariantach różniących się ekspresywnością. Wspólna cechą wszystkich odmian jest jednak przyjęcie pewnych założeń. Najważniejsze z nich (charakterystyczne również dla ogólnej wersji $\mathcal{E}$-Connections) mówi o *rozłączności dziedzin* opisywanych modułów. Przyjmuje się, że dziedziny zainteresowań, opisywane przez poszczególne moduły ontologiczne, są parami ściśle rozłączne. Wszelkie powiązania pomiędzy wprowadzanymi do modułów terminami muszą być wyrażone za pomocą specyficznej odmiany ról, tzw. ról łączących (ang. *linking relations*), które są podobne do zwykłych ról logiki opisowej, ale łączą osobniki z różnych modułów (czyli różnych dziedzin).

Każda rola łącząca p ma ściśle określone moduły źródłowy i docelowy. Ponieważ przyjmujemy, że baza wiedzy $\mathcal{K}$ w $\mathcal{E}$-Connections składa się ze zbioru modułów $\{O_i\}_{i \in I}$, zbiór relacji łączących podzielony jest na rozłączne zbiory $\mathcal{E}_{ij}$ $(i, j \in I, i \neq j$, przy czym jeśli $p \in \mathcal{E}_{ij}$, to łączy osobniki z modułu O_i z osobnikami z modułu O_j). Dodatkowym elementem bazy wiedzy są tzw. komponenty LBox: $\mathcal{L}_{ij}$, zawierające aksjomaty podrzędności ról łączących postaci $p \sqsubseteq q$ ($p, q \in \mathcal{E}_{ij}$). Ponadto przyjmuje się, że każdy z modułów O_i, $i \in I$ – oprócz zwykłych zdań zapisanych w logice opisowej, wykorzystujących terminy właściwe dla danego modułu – może zawierać zdania wykorzystujące specjalne *koncepty łączące*: $\exists p.Z$, $\forall p.Z$, gdzie $p \in \mathcal{E}_{ij}$ dla pewnego ustalonego $j \in I$, Z zaś jest konceptem w O_j.

Interpretacja $\mathcal{M}$ bazy wiedzy $\mathcal{K} = (\{O_i\}_{i \in I}, \{\mathcal{E}_{ij}\}_{i,\, j \in I,\, i \neq j}, \{\mathcal{L}_{ij}\}_{i,\, j \in I,\, i \neq j})$ składa się ze zbioru rozszerzonych interpretacji lokalnych $\{\mathcal{M}_i\}_{i \in I}$ oraz rodziny interpretacyjnych funkcji łączących $\{\cdot^{\mathcal{M}_{ij}}\}_{i,\, j \in I,\, i \neq j}$. Każda interpretacja lokalna $\mathcal{M}_i$ w standardowy sposób przypisuje każdemu osobnikowi element dziedziny $\Delta^{\mathcal{M}_i}$, każdemu konceptowi podzbiór dziedziny $\Delta^{\mathcal{M}_i}$, każdej roli zaś zbiór par elementów $\Delta^{\mathcal{M}_i}$. Natomiast interpretacja konceptów łączących jest uzależniona od interpretacyjnych funkcji łączących, które każdej roli łączącej $p \in \mathcal{E}_{ij}$, $i, j \in I$, $i \neq j$ przypisują podzbiór $\Delta^{\mathcal{M}_i} \times \Delta^{\mathcal{M}_j}$. Każda funkcja $\cdot^{\mathcal{M}_{ij}}$ musi przy tym spełniać wszystkie zdania z $\mathcal{L}_{ij}$, tj. jeśli $p \sqsubseteq q \in \mathcal{L}_{ij}$ to $p^{\mathcal{M}_{ij}} \subseteq q^{\mathcal{M}_{ij}}$. Z kolei koncepty łączące muszą być interpretowane następująco, analogicznie do odpowiednich konceptów w logice opisowej:

$$(\exists p.Z)^{\mathcal{M}_i} = \{e \in \Delta^{\mathcal{M}_i}: \exists f \in \Delta^{\mathcal{M}_j}: f \in Z^{\mathcal{M}_j} \wedge (e, f) \in p^{\mathcal{M}_{ij}}\}$$
$$(\forall p.Z)^{\mathcal{M}_i} = \{e \in \Delta^{\mathcal{M}_i}: \forall f \in \Delta^{\mathcal{M}_j}: f \in Z^{\mathcal{M}_j} \wedge (e, f) \in p^{\mathcal{M}_{ij}}\}$$

Jak pokazuje przykład 3, odpowiednio zdefiniowana baza wiedzy pozwala na przenoszenie wniosków pomiędzy modułami.

Przykład 3: Rozważmy moduły: $O_1 = \{Turysta \sqsubseteq \exists odwiedza.Kurort,\ Plażowicz \sqsubseteq \exists wypoczywa.KurortPlażowy\}$ i $O_2 = \{KurortPlażowy \sqsubseteq Kurort\}$. Role *wypoczywa* i *odwiedza* są łączące i należą do $\mathcal{E}_{12}$. $\mathcal{L}_{12} = \{wypoczywa \sqsubseteq odwiedza\}$. Z bazy tej możemy wyprowadzić wniosek, że każdy *Plażowicz* jest *Turystą*. ■

Opisany wariant $\mathcal{E}$-Connections charakteryzuje się najmniejszą ekspresywnością spośród zaproponowanych w [5]. Bardziej ekspresywne warianty zezwalają na wykorzystanie ograniczeń liczebnościowych oraz odwrotnych ról łączących w konceptach łączących, a także wprowadzają *uogólniony aksjomat przechodniości* (patrz [5]). Jednak warianty te nie wprowadzają w zasadzie dodatkowych utrudnień związanych z przełożeniem bazy $\mathcal{E}$-Connections na konglomeraty.

4.2. Odwzorowanie złączeń w algebrze konglomeratów

Proces przełożenia bazy $\mathcal{E}$-Connections na konglomeraty okazuje się być nieco prostszy niż w przypadku DDL. Charakterystyczna, upraszczająca cecha to możliwość budowy jednego konglomeratu reprezentującego połączone, rozłączne dziedziny odpowiednich modułów.

Proces ten zostanie pokazany, tak jak poprzednio, na przykładzie. Posłużymy się tu bazą wiedzy $\mathcal{K}$ z przykładu 3, w której skrócono nazwy konceptów i ról, tak że $O_1 = \{T \sqsubseteq \exists o.K, P \sqsubseteq \exists w.KP\}$ oraz $O_2 = \{KP \sqsubseteq K\}$, w i o są rolami łączącymi z $\mathcal{E}_{12}$, a $\mathcal{L}_{12} = \{w \sqsubseteq o\}$.

Trudności, jakie można napotkać przy przekładaniu bazy $\mathcal{K}$ na konglomeraty, mają charakter głównie techniczny. Przede wszystkim przy utrzymaniu założenia, że można posługiwać się wyłącznie konglomeratami bazowymi należącymi do $M(\mathcal{L})$, gdzie $\mathcal{L}$ to pewien dialekt logiki opisowej, nie da się dokonać bezpośredniego przekładu modułu O_1 na konglomerat $M(O_1)$. Wynika to z tego, że O_1 zawiera koncepty łączące niemieszczące się w koncepcji podstawowej logiki opisowej.

Trudność tę można jednak rozwiązać, zamieniając każdy koncept łączący E z modułu O_i, $i \in I$ (zbiór takich konceptów oznaczamy LC_i) na pewien koncept atomowy o unikatowej nazwie $s_i(E)$. Zamiany tej można dokonać w rekurencyjny sposób dla drzewa składniowego każdego ze zdań. Rezultat takiej zamiany oznaczmy przez $s_i(O_i)$.

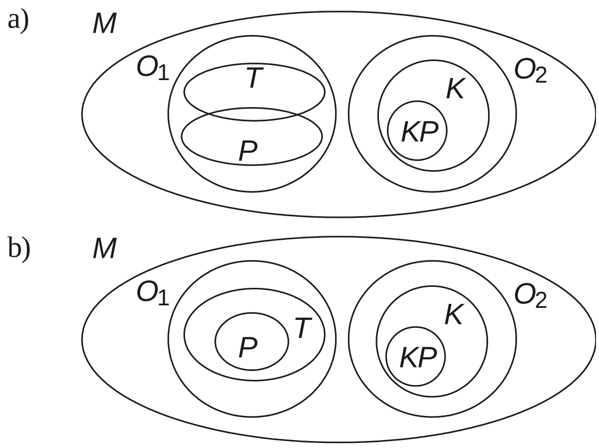
Przy takim założeniu proces translacji można naszkicować następująco. Na początku dokonujemy opisanej zamiany konceptów łączących. Następnie dla każdego modułu budujemy konglomerat $M(s_i(O_i))$. Kolejnym krokiem jest utworzenie *zintegrowanego konglomeratu M*, inicjalnie zawierającego zbiór parami rozłącznych konceptów O_i, $i \in I$, do których wchłaniamy odpowiednio konglomeraty $M(s_i(O_i))$. Następnie uwzględniamy zawartość komponentów LBox, dokonując selekcji połączonego konglomeratu względem aksjomatów podrzędności ról łączących. W tym punkcie można już też przywrócić właściwą interpretację konceptów łączących przez selekcję względem następujących zdań $\{E \equiv s_i(E)\}$ dla wszystkich konceptów łączących E ze wszystkich modułów O_i. Po tej operacji, aby wnioskować (w szczególności o spójności) z poszczególnych modułów, wystarczy dokonać projekcji do zbioru terminów $s_i(O_i)$ (dla wybranego $i \in I$) oraz ograniczyć dziedzinę do odpowiedniego konceptu O_i.

Dla przykładowej ontologii efekt przekształcenia przed uwzględnieniem działania konceptów łączących pokazano na rys. 3a, końcową zaś postać połączonego konglomeratu naszkicowano na rys. 3b.

Formalnie kolejne kroki translacji bazy $\mathcal{K} = (\{O_i\}_{i \in I}, \{\mathcal{E}_{ij}\}_{i,\, j \in I,\, i \neq j}, \{\mathcal{L}_{ij}\}_{i,\, j \in I,\, i \neq j})$ do zbioru konglomeratów $\{c(O_i)\}_{i \in I}$ można wyrazić następująco:

1. Wyznaczamy wstępną postać zintegrowanego konglomeratu:
   a) $M = \bigcap_{i \in I}(\rho_{* \to i:*}(s_i(O_i)) \cap \upsilon_{O_i} M(\{O_i \sqsubseteq \top\}))$.
2. Uwzględniamy zawartość komponentów LBox i specyfikę konceptów łączących:
   b) $M' = M \cap \bigcap_{i \in I,\, j \in I} M(\mathcal{L}_{ij}) \cap \bigcap_{i \in I} \{E \equiv s_i(E)\}_{E \in LC_i}$.
3. Wyznaczamy $c(O_i)$ jako $\rho_{i:* \to *}(\pi_{\mathrm{S} - O_i}(\xi_{O_i}(M)))$.

Tak jak w przypadku DDL zachodzi tu odpowiedniość pomiędzy modelami konglomeratów a modelami bazy $\mathcal{K}$.



Rys. 3. Odpowiednik bazy $\mathcal{E}$-Connections na kolejnych etapach translacji
Fig. 3. Subsequent states of conversion of an $\mathcal{E}$-Connections knowledge base

4.3. Podsumowanie

Proces przekształcania bazy $\mathcal{E}$-Connections na konglomeraty jest znacznie bardziej bezpośredni niż w przypadku DDL. Decyduje o tym rozłączność dziedzin poszczególnych modułów, dzięki której utworzenie pojedynczej zintegrowanej dziedziny nie nastręcza trudności. Algebra konglomeratów w naturalny sposób radzi też sobie z możliwymi różnicami dialektów logiki opisowej, stosowanymi w różnych modułach.

Pomimo tych podobieństw trzeba jednak stwierdzić, że do poprawnego odwzorowania konieczna jest ingerencja w postać przetwarzanych zdań. Ingerencja ta jest jednak stosunkowo naturalna i polega na „odroczeniu” interpretacji konceptów łączących do momentu skonstruowania połączonej dziedziny.

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza pozwala na wyciągnięcie wstępnych wniosków dotyczących porównania analizowanych metod odwzorowywania i złączania modułów ontologicznych oraz przydatności algebry konglomeratów do opisu tego typu zależności wraz z wyznaczeniem ewentualnych perspektyw jej rozwoju.

Z punktu widzenia przeprowadzanych translacji można stwierdzić, że główną różnicą pomiędzy analizowanymi metodami jest sposób transferu wniosków między modułami. W DDL zależności między terminami w dziedzinie modułu docelowego zmieniają się dzięki temu, że odwzorowujemy dziedzinę źródłową na docelową. Po przeprowadzeniu takiego odwzorowania zależności pomiędzy terminami w module źródłowym mogą już wpływać bezpośrednio (tzn. tak jak w podstawowej logice opisowej, jeśli tylko potraktujemy reguły pomostowe jako specyficzny sposób zapisu „tradycyjnych” aksjomatów) na zakresy terminów w modelu docelowym. W $\mathcal{E}$-Connections dziedziny są ściśle rozłączne i nie zachodzi między nimi odwzorowanie. Transfer wniosków jest możliwy dzięki istnieniu ról i konceptów łączących, czyli dodatkowych terminów, które wiążą elementy dwóch dziedzin.

Pomimo tej różnicy procesy translacji dla obu metod są bardzo podobne. W obydwu zaproponowanych metodach tworzony jest zintegrowany konglomerat, na który następnie nakładane są (za pomocą specyficznego rodzaju selekcji) dodatkowe ograniczenia, wynikające z zastosowania w obu metodach specyficznych rozszerzeń DDL (tj. reguł pomostowych w DDL i ról oraz konceptów łączących w $\mathcal{E}$-Connections). Sposób tworzenia zintegrowanego konglomeratu także jest dość zbliżony: w obu przypadkach stosujemy wchłonięcie pod specjalnie zdefiniowane koncepty, choć w przypadku DDL, ze względu na to, że odwzorowanie między dziedzinami może być dość złożone, konieczne może okazać się kilkukrotne przeprowadzenie operacji wchłonięcia. W obu translacjach wykorzystywano też bardzo podobne operacje algebry: przecięcie, wchłonięcie, selekcję, a następnie projekcję z ograniczeniem.

Zastosowanie tak podobnych sekwencji kroków zdaje się wskazywać na stosukowo duży potencjał algebry konglomeratów, jeśli chodzi o zapis semantyki różnych metod pozyskiwania wiedzy z modułów ontologicznych. Jednak przy oddawaniu pełnej semantyki DDL trzeba pamiętać o ograniczeniach algebry. Możliwość symulowania stosunkowo dużej klasy odwzorowań między dziedzinami przez kilkukrotne wchłonięcie wydaje się ciekawa, ale nie odzwierciedla do końca specyfiki relacji łączących.

Być może odpowiedzią na tę kwestię mogłoby być opracowanie rozszerzenia algebry konglomeratów. Istnieją dwa kierunki działań, które mogłyby doprowadzić do rozwiązania problemu. Pierwszy polega na rozszerzeniu zbioru działań algebry w kierunku bardziej zaawansowanych operacji na dziedzinie (np. przekształcania par osobników w pojedyncze osobniki). Drugi polega na wprowadzeniu granic (odpowiednik *limes*), dzięki czemu za pomocą jednej operacji byłoby możliwe wprowadzanie dowolnej liczby nakładających się na siebie konglomeratów.

BIBLIOGRAFIA

1. Motik B., Patel-Schneider P. F., Grau B. C.: OWL 2 Web Ontology Language Direct Semantics. Rekomendacja W3C, 2009, http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-direct-semantics-20091027/.
2. Haase P.: Networked Ontology Model. Projekt NeOn, 2006, http://www.neon-project.org/ web-content/index.php?itemid=73&id=17.

3. Bao J., Voutsadakis G., Slutzki G., Honavar V.: Package-Based Description Logics, [in:] Stuckenschmidt H., Parent C., Spaccapietra S. (red.): Modular Ontologies, LNCS, Vol. 5445, Springer, Berlin 2009, s. 349÷371.
4. Borgida A., Serafini L.: Distributed Description Logics: Assimilating Information from Peer Sources. Journal of Data Semantics, No. 1, 2003, s. 153÷184.
5. Grau B. C., Parsia B., Sirin E.: Working with Multiple Ontologies on the Semantic Web. The Semantic Web – ISWC 2004, LNCS, Vol. 3298, Springer, Berlin 2004, s. 620÷634.
6. Homola M., Serafini L.: Towards Formal Comparison of Ontology Linking, Mapping and Importing. Proc. of 23rd Int. Workshop on Description Logics, CEUR-WS(573), 2010.
7. Goczyła K., Waloszek A., Waloszek W.: Algebra konglomeratów jako narzędzie opisu problemów przetwarzania ontologii. Studia Informatica, Vol. 30, No. 2A(83), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009, s. 141÷156.
8. Ghidini Ch., Serafini L., Tessaris S.: On relating heterogeneous elements from different ontologies. Proc. of 20rd Int. Workshop on Description Logics, CEUR-WS(250), 2007.
9. Homola M., Luciano Serafini L.: Augmenting Subsumption Propagation in Distributed Description Logics. Applied Artificial Intelligence, No. 24(1-2), 2010, s. 137÷174.
10. Serafini L., Borgida A., Tamilin A.: Aspects of Distributed and Modular Ontology Reasoning. Proc. of IJCAI 2005, s. 570÷575.
11. Kutz O., Wolter F., Zakharyaschev M.: Connecting abstract description systems. Proc. of KR'2002, Morgan Kaufmann, 2002, s. 215÷226.
12. Kutz O., Lutz C., Wolter F., Zakharyaschev M.: E-connections of abstract description systems. Artificial Intelligence, No. 156(1), 2004, s. 1÷73.

Wpłynęło do Redakcji 14 stycznia 2012 r.

Abstract

The article discusses the possibility of expressing semantics of state-of-the-art knowledge modularization methods with use of s-module algebra. The goals of this process are twofold. First, we hope to assess the s-module algebra as a uniform language for expressing various approaches to integrating knowledge from ontological modules. Second, we aim at evaluating differences and similarities of the analyzed methods from a new point of view.

In the article we show that translation of DDL knowledge base to a set of s-modules is possible, if some constraining assumptions are made. We present a formal procedure for translation of acyclic distributed knowledge bases expressed with DDL(F, I). We show that the procedure may be extended towards a newly proposed variant of DDL, DDL(F, N^n) in which mapping relations are functions which map at most n individuals from the source domain to a single individual in the target domain.

We also define a similar translation process for $\mathcal{E}$-Connections knowledge base. In the process one integrated domain is created in which linking roles and concepts may be treated as regular ones.

Our preliminary conclusions suggest that the analyzed methods are close to each other in the way that they allow for transferring knowledge between modules. The main steps performed in each translation are very similar. However relating knowledge from several modules is done quite differently in DDL and $\mathcal{E}$-Connections: in the former case it requires to overlap the domains, while in the latter it is done by a special kind of selection based on linking relations and concepts.

Adresy

Krzysztof GOCZYŁA: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska, kris@eti.pg.gda.pl.

Aleksander WALOSZEK: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska, alwal@eti.pg.gda.pl

Wojciech WALOSZEK: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska, wowal@eti.pg.gda.pl.

Teresa ZAWADZKA: Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska, tegra@eti.pg.gda.pl.