

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Marcina Żurawskiego

Cognitive semantics of modal class membership statements for artificial agents with embodied prototypes-based ontology

Rozprawa Doktorska przygotowana została na Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Wrocławskiej, pod kierownictwem dr hab inż. Radosława Katarzyniaka, Profesora Politechniki Wrocławskiej jako promotora, oraz dr inż. Grzegorza Popka, jako promotora pomocniczego. Rozprawa Doktorska Pana Marcina Żurawskiego reprezentuje dyscyplinę naukową *Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*. Rozprawa ta jest napisana w języku angielskim, składa się z 8 rozdziałów (wliczając w to Wprowadzenie i Podsumowanie) i ma 198 stron. Bibliografia zawiera 101 pozycji.

Rozdział 1 to Wprowadzenie. Prezentuje on ogólną motywację do prowadzonych badań, przedstawia wyznaczone zadania badawcze, oraz podsumowuje strukturę Rozprawy Doktorskiej.

Rozdział 2 zawiera opis rozbudowanego scenariusza, który jest interesującą metaforą koncepcyjną dla przeprowadzonych i opisanych w Rozprawie badań. Scenariusz ten dotyczy eksploracji Marsa przez (semi-)autonomiczny zespół składający się z agenta zarządzającego oraz grupy robotów eksploratorów. Głównym zagadnieniem z którym agent zarządzający i roboty muszą się zmierzyć jest porozumiewanie się w sytuacji gdy niemożliwym jest (z powodu odległości między Ziemią i Marsem) oczekiwanie na interwencję z „Centrum kontroli misji planetarnych”.

Treść Rozdziału 3 to wprowadzenie do semantyki kognitywnej (ang. cognitive semantics) oraz modeli zdań atomowych semantyki kognitywnej. W tym kontekście, w rozdziale tym przedstawione zostały: (a) zarys teorii prototypów, (b) podstawy teorii ugruntowania (ang. grounding theory), oraz (c) wprowadzenie do przestrzeni koncepcyjnych. Teorie te stanowią podstawę koncepcyjną dla prowadzonych badań.

W Rozdziale 4 omówiony został model strategii uczenia kategorii zawierającej prototyp. W tym celu przedstawiony został najpierw zarys proponowanej strategii. Następnie zarysowano jak strategia ta może zostać wykorzystana w przypadku uczenia agenta. W szczególności omówiony został wykorzystywany w pracy model kognitywny. Rozdział zamyka szczegółowa definicja strategii uczenia.

Rozdział 5 dotyczy kognitywnej semantyki zdań atomowych. W szczególności omawiane są w nim: (a) wprowadzony język modalnej kategoryzacji, (b) sytuacja, w której występuje kompletna reprezentacja obiektów, (c) sytuacja, w której system ma do czynienia z niekompletną reprezentacją obiektów, (d) interakcje między nauczycielem i agentem, które mają miejsce w procesie nadzorowanego uczenia agenta (przez jednego lub wielu nauczycieli), (e) własności zaproponowanej semantyki, oraz podstawowego modelu ugruntowania (ang. Basic Grounding Model).

W Rozdziale 6 zawiera rozważania dotyczące implementacji zaproponowanych metod uczenia prototypów kategorii. W szczególności opisane zostały szczegóły implementacji klastrowania z

zastosowaniem: (i) odległości Hamminga, (ii) ważonej odległości Hamminga i (iii) asymetrycznej ważonej odległości Hamminga. Własności każdej z tych odległości są następnie testowane w ramach przeprowadzonych eksperymentów. Jest to pierwszy z dwu kluczowych rozdziałów Rozprawy. W sposób niezwykle systematyczny przedstawiono w nim w jaki sposób rozważania teoretyczne, podsumowane w Rozdziałach 1-5, można praktycznie zrealizować. Rozdział 6 zawiera nie tylko pseudokody algorytmów, ale również analizę złożoności obliczeniowej możliwych realizacji proponowanego podejścia. W szczególności złożoność obliczeniowa została formalnie udowodniona dla zaproponowanych algorytmów. W tym kontekście należy podkreślić, że oprócz podstawowych rozwiązań (tzw. „naiwnych”), zaproponowano również podejścia zmodyfikowane, mające prowadzić do redukcji złożoności obliczeniowej, a co za tym idzie czasu uczenia.

Rozdział 7 zawiera opis przeprowadzonych eksperymentów i otrzymanych wyników. W szczególności przedstawia on wyniki symulacji procesu uczenia dotyczących (1) znajdowania prototypów dla trzech kategorii soczewek (miękkie, twarde i inne) na podstawie bazy danych zawierającej informacje o soczewkach kontaktowych, (2) określania prototypów trzech różnych guzów onkologicznych (płuc, żołądka i jajników) na podstawie bazy danych guzów onkologicznych, oraz (3) wskazanie prototypów „republikanina” i „demokraty” na podstawie bazy danych zawierających informacje o głosowaniach w Kongresie Stanów Zjednoczonych. Dla każdego z trzech obszarów eksperymentów zastosowane zostały podejścia tak naiwne jak i ulepszone (zaproponowane i omówione w Rozdziale 6). Ponadto przeanalizowane zostały efekty stosowania wszystkich, wprowadzonych (w Rozdziale 6) miar odległości. Dla każdej serii eksperymentów przeprowadzono całościową analizę uzyskanych wyników. Z mojego punktu widzenia jest to drugi najistotniejszy Rozdział Rozprawy Doktorskiej. W połączeniu z rozważaniami przedstawionymi w Rozdziale 6, stanowi to zauważalny wkład w dyscyplinę naukową Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Przeprowadzone eksperymenty, dla trzech różnych obszarów wiedzy, przy pomocy różnych wersji algorytmów uczenia, stosując trzy różne miary odległości, w sposób całościowy porządkują i podsumowują wiedzę w wybranym obszarze autonomicznego znajdowania prototypów klas. Tak więc, najistotniejszy wkład naukowy dotyczy przetwarzania języka naturalnego i uczenia maszynowego.

Rozdział 8 podsumowuje najważniejsze osiągnięcia opisane w Rozprawie Doktorskiej. Zawiera on również propozycje kierunków dalszych badań.

Biorąc pod uwagę naturę uwag krytycznych, które zostaną przedstawione poniżej, chciałbym w pierwszej kolejności ustosunkować się do podstawowego pytania na które musi odpowiedzieć recenzent Rozprawy Doktorskiej. Pytanie to brzmi: czy przedstawiona do oceny Rozprawa Doktorska spełnia warunki określone w Art. 13 ust. 1 Ustawy z 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym, oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późn. zm.). W tym kontekście chciałbym stwierdzić, jednoznacznie i bez żadnych wątpliwości, że:

przedstawiona do oceny Rozprawa Doktorska (1) należy do Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, oraz (2) zawarte w niej wyniki badań naukowych wnoszą istotny wkład do tejże dyscypliny.

Uważam więc, że magister inżynier Marcin Żurawski powinien zostać dopuszczony do następnych kroków przewodu doktorskiego, w tym do obrony Pracy Doktorskiej.

Jeśli chodzi o wątpliwości, które wzbudziła oceniana Rozprawa Doktorska to są one głównie „konceptyjne”, ale dotyczą one również braku pewnych wyników. Postaram się je przedstawić w sposób maksymalnie skondensowany.

## 1. Kwestia rozumienia pojęcia *system agentowy*.

W angielskojęzycznym tytule Rozprawy pojawia się pojęcie „*artificial agents*”. Natomiast w polskim tłumaczeniu (polskiej wersji tytułu) użyte jest określenie „*systemów agentowych*”. Nawet pobieżna analiza tych dwu pojęć (z punktu widzenia teorii tzw. *software agents and agent systems*) pokazuje, że tytuły polskojęzyczny i angielskojęzyczny mówią o czymś innym. Popularne definicje pojęcia *system agentowy* wskazują jednoznacznie na istnienie wielu agentów, które ze sobą współdziałają, np. w celu osiągnięcia „wspólnego celu”, lub ze sobą oddziałują, dążąc do realizacji celów indywidualnych, lub grupowych. Można powiedzieć, że jest to standardowe podejście do definicji agentów programowych i systemów agentowych, które zostało wyrażone na różne (choć zbliżone) sposoby w pracach M. Wooldridge, N. Jenningsa, M. Lucka, A. Omiciniego, i innych. W tym kontekście jednym z aspektów systemu agentowego jest fakt, że wymiana wiadomości jest jedyną formą oddziaływania między agentami. Należy więc zwrócić uwagę na fakt, że w treści Rozprawy, praktycznie nie występuje system składający się z wielu, komunikujących się ze sobą, agentów. Wprawdzie można by interpretować scenariusz z Rozdziału 2, dotyczący robotów na Marsie, jako przykład systemu agentowego, ale na Rysunku 2.1 mamy 4 roboty i *jednego* agenta. Nie mówi się tam o wielu agentach, np. agent manager i agenty roboty. Podobnie, jeśli chodzi o symulacje/eksperymenty omawiane w Rozdziale 7, to nie dotyczą one systemów agentowych. Dotyczą one natomiast przetwarzania języka naturalnego i uczenia maszynowego.

Natomiast jeśli chodzi o pojęcie *artificial agent*, które występuje w tytule pracy i streszczeniu angielskojęzycznym to budzi ono wątpliwości koncepcyjne. W literaturze dotyczącej agentów programowych i systemów agentowych (np. w pracach autorów wspomnianych powyżej) trudno znaleźć definicję takiego pojęcia (zwykle mówi się tam o „*software agent*”). W kontekście zawartości merytorycznej, ocenianej Rozprawy Doktorskiej, wydaje się, że mamy do czynienia z bytem, który jest bliski koncepcjom rozważanym przez P. Maes w klasycznej pracy z 1994. W pracy tej zaproponowany został „agent asystent”, który reprezentuje użytkownika, oddziałuje z otoczeniem (nie koniecznie „zawierającym” innych agentów) i „dostarcza” użytkownikowi potrzebne mu „serwisy”. Tutaj można by przyjąć, że omawiane, w Rozdziale 5.4, oddziaływania między agentem i nauczycielem (nauczycielami) można wpasować w rozumienie agentów zaproponowane przez P. Maes. Jednakże w literaturze cytowanej w Rozprawie nie ma żadnej pracy ww. autorów, która by określiła jakie rozumienie pojęcia agent autor Rozprawy wymiał na myśli.

*Podsumowując*: niestandardowe podejście do definicji „agenta” i „systemu agentowego” utrudnia zrozumienie i docenienie przedstawionych wyników.

## 2. Czego dotyczyły przeprowadzone eksperymenty?

Biorąc pod uwagę wątpliwości dotyczące tego jak należy rozumieć pojęcia „*artificial agent*” i „*agent system*” koniecznym jest zwrócenie uwagi na zawartość Rozdziału 7. Przeprowadzone przez Doktoranta eksperymenty (symulacje) nie dotyczą bowiem systemów agentowych (a nawet agentów programowych, lub „*artificial agents*”). Są to natomiast badania dotyczącymi wybranego obszaru uczenia maszynowego, związanego z przetwarzaniem języka naturalnego. Oczywiście można sobie wyobrazić, że poszukiwanie prototypów w bazie danych dotyczących soczewek kontaktowych mogłoby zostać „opakowane” w scenariusz, w którym mielibyśmy do czynienia czy to z systemem agentowym (?typu e-commenrce?) czy też z uczeniem nauczyciel-agent (takim jak w Rozdziale 5.4). Można by także stypulować, że wyniki „symulacji medycznej” mogłyby zostać umieszczone w kontekście agenta personalnego wspierającego lekarza onkologa. Tak samo, symulacje dotyczące wyszukiwania prototypowego demokracji/republikanina na podstawie głosowań w Kongresie



Amerykańskim mogły by zostać wplecione w jakiś (?internetowy?) system wielo-agentowy uświadamiający wyborców. Jednakże potencjalne powiązania przeprowadzonych symulacji z agentami/systemami agentowymi nie zostały zaproponowane.

Kolejnym dyskusyjnym elementem dotyczącym agentowości jest scenariusz, przedstawiony w Rozdziale 2. Jak wspomniałem powyżej, scenariusz ten można by, w sposób bardzo naturalny, przedstawić jako scenariusz działania systemu wielo-agentowego, w którym każdy z robotów jest agentem-robotem. Natomiast, to co wywołuje wątpliwości to fakt, że scenariusz motywujący pojawia się wyłącznie w Rozdziale 2. Natomiast w Rozdziale 7, gdzie Doktorant przedstawia symulacje mające stanowić „dowód” na to, że przedstawiony scenariusz zainspirował badania, które mogą służyć do rozwiązania zarysowanych w Rozdziale 2 problemów, okazuje się, że symulacje te nie mają nic wspólnego z tymże scenariuszem.

Ostatnia wątpliwość z tego obszaru dotyczy rozważań zawartych w Rodziale 5.4., które dotyczą oddziaływań pomiędzy „nauczycielem” i „agentem”. Biorąc pod uwagę zaproponowany w Rozdziale 2 scenariusz dotyczący eksploracji planety, w którym agenty przyswajają nową wiedzę o Marsie, byłby jak najbardziej na miejscu zaimplementowanie i eksperymentalne zweryfikowanie scenariusza nauczyciel-agent. Jednakże oddziaływania nauczyciel(e)-agent(y). Jednakże przeprowadzone eksperymenty nie uwzględniły tej możliwości. Co więcej, sytuacja, w której w systemie agentowym może istnieć wielu nauczycieli została kompletnie pominięta w dalszych rozważaniach.

*Podsumowując:* związek przeprowadzonych badań symulacyjnych z agentami programowymi i systemami agentowymi jest bardzo luźny. Agentowość stanowi pewną inspirującą metaforę, natomiast przeprowadzone eksperymenty dotyczą uczenia maszynowego i przetwarzania języka naturalnego.

### 3. Rozumienie pojęcia ontologia.

Od czasu fundamentalnej pracy T. R. Grubera (1995), przyjmuje się powszechnie, że (jest to prawie cytata): ontologia jest formalną, jawną specyfikacją współdzielonej konceptualizacji. We wspomnianej pracy, ontologia tworzona jest w celu zapewnienia danym, reprezentującym informacje i wiedzę, semantyki zrozumiałej i możliwej do komputerowego przetwarzania (np. przez komunikujące się agenty). Co więcej, opracowanie języków formalnej reprezentacji ontologii, oraz narzędzi pozwalających na wykorzystanie ontologii w praktyce (nawet jeśli nadal w jakiś sposób ograniczonej), powoduje, że w chwili obecnej pojęcie to ma bardzo konkretne znaczeni „formalne”, „techniczne” i „praktyczne”.

Biorąc pod uwagę fakt, że ontologie przeznaczone są do reprezentacji wiedzy, naturalnym byłoby ich wykorzystanie w prowadzonych badaniach. Na przykład mogłyby one służyć do reprezentacji odkrywanej/posiadanej/modyfikowanej wiedzy agenta. Byłoby to o tyle istotne, że zaproponowane algorytmy mogłyby prowadzić do formalnej reprezentacji wyników procesu uczenia (w postaci klasycznej ontologii). Niestety w Rozprawie Doktorskiej nie znajdujemy wykorzystania dostępnych w obszarze semantyki formalizmów i narzędzi. Co więcej, nie jest w pełni jasnym jak pozyskiwana w procesie uczenia wiedza (czyli kategorie i prototypy) miałyby być reprezentowana aby agenty mogły się nią posługiwać. Jednakże w tytule rozprawy mówi się o „ontologii prototypów”, co prowadzi do pewnego dysonansu poznawczego.

*Podsumowując:* Jeśli chodzi o rozumienie pojęć ontologia i semantyka to mamy do czynienia z podejściem, które odchodzi od klasycznej koncepcji, pochodzącej z roku 1995. Co więcej, skutkiem tej decyzji jest brak wykorzystania istniejących rozwiązań (w tym narzędzi). Zdecydowanie osłabia to wartość przeprowadzonych badań.

### 3. Skalowalność proponowanego rozwiązania.

Problem ze skalowalnością widać już w Rozdziale 2. Nawet powierzchowna analiza rozważanego scenariusza uświadamia jego kompletny brak realizmu. Z jednej strony wiadomym jest, że w pojazdach kosmicznych wykorzystywane są bardzo stare (czyli bardzo dobrze przetestowane) i bardzo ograniczone jeśli chodzi o zasoby (aby zajmowały jak najmniej miejsca) „komputery”. Z drugiej strony oczywistym jest, że przestrzeń parametrów, które musiałyby być uwzględnione w przypadku eksploracji nieznanego terenu, na mało znanej planecie (np. na wspomnianym Marsie), jest bardzo duża. Oznacza to, że aby zrealizować przedstawiony scenariusz uczenia wymagane byłyby pokaźne zasoby „obliczeniowe”. Jasnym jest więc, że przedstawiany scenariusz jest co najwyżej pewną metaforą, w której rozmiar przestrzeni parametrów, a co za tym idzie praktyczna konieczność stworzenia rozwiązań skalowalnych, jest pomijana.

W dalszych rozdziałach Rozprawy Doktorant, prawidłowo, zauważa, że proponowane przez niego algorytmy mają „niepraktyczną” złożoność obliczeniową. Odpowiedzią Doktoranta jest, że w praktyce potencjalnie „nieprzyjemne” przypadki nie powinny się zdarzać. Na przykład na stronie 121 czytamy: „In practical applications ( $l_{max} + n$ ) component should be much lower than  $n^2$ ”; bez wyjaśnienia dlaczego „should” (powinno) tak się zdarzyć. Podobnie na stronach 112, 133 i 155, na których znajdują się dokładnie te same (słowo w słowo za wyjątkiem różnicy w numerze przywoływanego twierdzenia) sekcje Conclusions, które zawierają bardzo nieprecyzyjną argumentację, że eksponencjalny wzrost złożoności obliczeniowej nie powinien mieć miejsca. Należy te niejasności połączyć z faktem, że rozważane (w Rozdziale 7) przykłady są bardzo małe (jak na rok 2023). Mamy tutaj do czynienia z danymi należącymi do trzech kategorii (symulacje 1 i 2) i danymi opisującymi dwie kategorie (w przypadku symulacji 3). Tak więc stypulacje Doktoranta, że w praktyce nie będzie problemów ze złożonością obliczeniową zaproponowanych metod, w żaden sposób nie są przekonujące. Innymi słowy:

(a) z jednej strony nie jest jasnym do czego tak ograniczone rozmiarami przykłady, jak trzy scenariusze z Rozdziału 7, mogłyby się przydać w praktyce – choć, niezaprzeczalnie, dają się one „policzyć w rozsądnym czasie”;

(b) z drugiej strony, nie jest jasnym jakie byłyby rzeczywiste „koszty obliczeniowe” zaproponowanych metod uczenia, gdyby zostały one zastosowane do problemów o realistycznych rozmiarach, czyli takich, które mogłyby zamodelować przestrzeń parametrów, które należałoby wziąć pod uwagę, na przykład, dla zagadnienia zaproponowanego w scenariuszu z Rozdziału 2.

*Podsumowując:* w Rozprawie Doktorskiej problem skalowalności nie został we właściwy sposób zaadresowany. Oczywiście, nie neguje to prawidłowości otrzymanych teoretycznie oszacowań, i zweryfikowanych na „niewielkich” zbiorach danych, wyników symulacji. Natomiast, jakkolwiek stosowalność zaproponowanych rozwiązań w praktyce nie tylko nie została wykazana, ale jest również bardzo wątpliwa.

W kontekście powyższych uwag krytycznych chciałbym jednak ponownie stwierdzić, że przedstawiona do oceny Rozprawa Doktorska spełnia warunki określone w Art. 13 ust. 1 Ustawy z 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym, oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (z późn. zm.). (1) Należy ona do Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, oraz (2) zawarte w niej wyniki badań naukowych wnoszą znaczący wkład do tejże dyscypliny. Uważam więc, że przewód doktorski magistra inżyniera Marcina Żurawskiego powinien zostać dopuszczony do następnych kroków, w tym do Obrony Pracy Doktorskiej.

*Marcin Paprzycki*