

prof. dr hab. inż. Grzegorz Dobrowolski
Instytut Informatyki
Akademii Górniczo-Hutniczej
w Krakowie

Kraków, dnia 29 lipca 2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska **mgr inż. Marcina Żurawskiego** zatytułowana „**Cognitive semantics of modal class-membership statements for artificial agents with embodied prototypes-based ontology**”. Tytuł spolszczony: „*Kognitywna semantyka modalnych wypowiedzi o przynależności obiektu do kategorii dla przypadku systemów agentowych z wbudowaną ontologią prototypów*”. Podstawą formalną recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej L.dz. RDN-ITiT/93/2023 z dnia 23 maja 2023 r. Rozprawa napisana jest w języku angielskim, liczy 198 stron, składa się oprócz *Introduction*, *Summary* z sześciu rozdziałów merytorycznych, dopełnienie rozprawy stanowi bibliografia.

Tematyka i teza rozprawy. Dysertacja dotyczy problemu generowania modalnych wypowiedzi o przynależności pewnego obiektu z otoczenia agenta wirtualnego do zidentyfikowanej przez niego wcześniej kategorii reprezentowanej przez wypracowany w procesie prototyp.

Proces taki zachodzi w agencie ożywionym (człowieku), a naturalnym dążeniem jest wbudowanie go w agenta – artefaktu informatycznego (robota). W ten sposób dysertacja lokuje się w szerokim sensie w obszarze informatyki, w wąskim – sztucznej inteligencji; czy też w obszarze rozważań właściwych burzliwie rozwijającej się kognitywistyki.

Proces jest potrzebny w agencie, aby mógł on w ogólnym przypadku współpracować z innymi agentami na rzecz człowieka lub ludzi w dynamicznym, nie w pełni znanym, nieobserwowalnym całkowicie środowisku, gdzie dla skutecznej wymiany informacji potrzebne będzie podanie zwięzłej charakterystyki pojawiającego się obiektu poprzez wskazanie kategorii, do której może on być zaliczony. Ze względu na założone właściwości środowiska agent powinien dysponować ponadto możliwością wyrażenia niepewnego i niepełnego stosunku do rzeczywistości, obciążonego pewną dozą subiektywizmu, a tylko na taki stać agenta w tak trudno opisywalnym środowisku.

Należy spodziewać się, że prace nad tak postawionym problemem będą skutkować w przyszłości konstrukcją modułów agenta odpowiadających za: skuteczną, odporną

na przeładowanie akwizycję i przechowywanie informacji zebranych przez agenta o otoczeniu, a w konsekwencji efektywną komunikację w systemie (agentowym).

Zbierając powyższe uwagi stwierdzić można, że podjęta tematyka jawi się jako przyszłościowa, trudna a tym samym ambitna, a także nie pozbawiona perspektywy na zastosowanie. Teza dysertacji w tłumaczeniu autorskim sformułowana jest następująco: „Możliwe jest zaprojektowanie i wdrożenie autonomicznego systemu, dla którego generowane przez ten system zachowania językowe (w ramach rozpatrywanej klasy wypowiedzi) będą zgodne z zachowaniami językowymi obserwowanymi dla tej klasy wypowiedzi w języku naturalnym.”

Po uzupełnieniu, że chodzi tutaj o język angielski oraz że przedmiotowe wypowiedzi są modalnościami: (ang. *I know that ...*, *I believe that ...*, *I find it possible that object x (belongs/does not belong) to category c*) sposób sformułowania tezy uznać można za klasyczny, odwołujący się do istoty sztucznej inteligencji, dotyczący jednakże komponentu inteligencji słabo dotąd przebadanego, co czyni zamierzenie naukowe doktoranta istotnie wyróżniającym. Chodzi tu ponadto o modelowanie, które wypełniałoby zarówno cele poznawcze jak i użyteczne. Jeżeli dodać do tego, że przekonywująca ocena zaproponowanych rozwiązań modelowych wiązać się musi z odpowiednią ich implementacją komputerową oraz testowaniem i oceną adekwatności w sytuacji braku ugruntowanych dla dyskutowanego przypadku kryteriów, uznać należy, że podjęcie tak sformułowanej tezy stanowi ambitne wyzwanie naukowe, któremu doktorant postanowił sprostać.

Struktura i zawartość rozprawy. Oprócz zwyczajnego dla (ang. *Introduction*) materiału Autor zaproponował tutaj również ciąg zadań badawczych, które będą realizowane w celu przeprowadzenia tezy. Tak sformułowany plan stanowi również osnowę dysertacji.

Drugi rozdział prezentuje jedną z możliwych, praktyczną sytuację, która uzasadnia celowość prowadzonych badań. W opracowanym przykładzie agent działa w środowisku trudno dostępnym dla człowieka i komunikuje wyniki eksploracji w sposób zrozumiały dla ludzi. Jako wzmocnienie motywacji rozdział ten mógłby zostać włączony do wstępu.

Rozdział trzeci prezentuje przyjętą przez autora bazę teoretyczną z zakresu kognitywistyki. Przywołane są teorie kategoryzacji z prototypem przeprowadzanej przez człowieka oraz teoria gruntowania wraz z semantyką modalnych zdań atomowych w systemach sztucznych w zakresie wykazywania lub nie danej cechy przez określony obiekt. Przytoczony materiał uzasadnia postawienie tezy i określa pozycje wyjściowe do jej uzasadniania.

Rozdziały czwarty i piąty zawierają opis zasadniczego osiągnięcia teoretycznego Doktoranta. Jest nim formalny ogólny model uczenia się kategorii z prototypem, obejmujący wewnętrzne struktury poznawcze agenta oraz sposób konstruowania tych struktur na podstawie zebranych przez agenta obserwacji. Koncepcja tych struktur pozwala następnie na modelowanie przekonań o różnym stopniu pewności o

przynależności obiektu do kategorii. Następnym elementem formalizacji jest definicja semantyki wypowiedzi modalnych o przynależności pojawiającego się (nowego) obiektu do kategorii na podstawie aktualnego stanu przekonań. Uwzględniono tutaj również przypadek, gdy nie wszystkie cechy obiektu są obserwowane a ich wartości pozostają nieznanymi dla agentowi. W rozdziałach zawarto stosowne definicje, dowody, algorytmy (z analizą złożoności obliczeniowej) a ponadto ilustrujące rozważania przykłady obliczeniowe.

Rozdział szósty zawiera propozycje trzech modeli, zwanych przez Autora, implementacyjnymi. Stanowią one uszczegółowienie modelu ogólnego do poziomu operacyjnego w zakresie mechanizmu wyłaniania kandydatów na prototyp oraz makrostruktury. Makrostruktura to termin, którego Autor używa właściwie w stosunku do struktury topologicznej (ewentualnie algebraicznej) przyjętej dla uniwersum obiektów. W konceptualizacji a następnie modelach implementacyjnych stosowana jest faktycznie przestrzeń metryczna. Modele implementacyjne odpowiednio przyjmują: metrykę Hamminga, Hamminga z wagami oraz quasi-metrykę zwaną w dysertacji asymetryczną metryką Hamminga. Ponieważ stosowane algorytmy są faktycznie algorytmami przeszukiwania, Doktorant zaproponował dla nich wersje efektywne dla spodziewanych liczebności obiektów. Dla „modeli implementacyjnych” Doktorant również przygotował odpowiednie definicje, dowody, algorytmy (z analizą złożoności obliczeniowej) oraz przykłady obliczeniowe.

Rozdział siódmy prezentuje wyniki testów „modeli implementacyjnych” z wykorzystaniem danych rzeczywistych. Dane pochodzące z (ang. *Machine Learning Repository, University of California, Irvine*) (trzy tematycznie odległe od siebie zbiory) opisywały w testach obiekty składające się na doświadczenie agenta. Uzyskane wyniki dowodzą technicznej realizowalności koncepcji będącej przedmiotem dysertacji.

Dysertację dopełniają *Summary* (rozdział 8) oraz bibliografia dotycząca w istotnym stopniu tezy dysertacji (101 pozycji).

Uznać można, że struktura dysertacji wypełnia klasyczne standardy, a dobór zaprezentowanego materiału jest właściwie podporządkowany przeprowadzeniu postawionej tezy.

Wydaje się, że dodanie krótkiej prezentacji zbudowanego oprogramowania oraz opisu jego działania wyjaśniłoby kwestie, które mogą mieć wpływ na analizę otrzymanych wyników oraz pozwoliłoby na ich głębszą dyskusję. Pewnego uzupełnienia oczekiwałbym również w zakresie charakterystyki stanu badań w zakresie sztucznej inteligencji związanych z tematyką rozprawy a także nieco szerszej dyskusji uzyskanych wyników testów w kwestii skuteczności działania agenta zbudowanego według proponowanych rozwiązań.

Podsumowując przegląd zawartości dysertacji, można stwierdzić, że ma ona (jak również badania, które raportuje) charakter teoretyczny z udziałem – konstrukcyjnego i eksperymentalnego w zakresie przygotowania prototypu i testowania.

Realizacja tezy. Sformułowania tezy stwarzają sytuację, w której stosunkowo łatwo jest określić zakres jej przeprowadzenia. W tej kwestii stwierdzić można co następuje.

1. Autor zaproponował ogólny formalny model uczenia kategorii z prototypem oraz dokonał analizy właściwości tego modelu a następnie w oparciu o ten model zdefiniował semantykę klasy wypowiedzi modalnych o przynależności obiektu do kategorii z prototypem dla przypadków z kompletną jak i niekompletną informacją o tym obiekcie.
2. Według zaproponowanych rozwiązań teoretycznych opracowane i zrealizowane zostały skomputeryzowane prototypy mechanizmów agenta zdolnego do takich wypowiedzi
3. Z wykorzystaniem powyższego oprogramowania autor przeprowadził stosunkowo rozległy, konsekwentnie zestawiony plan testów.
4. Uzyskane dla danych rzeczywistych i przedyskutowane wyniki posłużyły do bezpośredniego potwierdzenia tezy.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję, że teza rozprawy została przeprowadzona z sukcesem.

Uwagi ogólne. Poniższe uwagi odnoszą się do zakresu merytorycznego pracy. Traktować je należy jako kwestie skierowane do doktoranta a dotyczące jego decyzji pogłębienia lub nie pewnych wątków dysertacji.

1. Czy możliwe jest istotne wprowadzenie do rozważań podkategorii, w taki sposób aby wypowiedzi agenta mogły odnosić się z większą pewnością do jednego z kilku możliwych uszczegółowień jednej z kategorii zadanych? Mielibyśmy wtedy do czynienia ze swego rodzaju klasteryzacją obiektów doświadczonych lub kilkoma prototypami dla jednej zadanej kategorii. Zwrócić tu należy uwagę na fakt stwierdzonych dla danych rzeczywistych trudności ze znalezieniem prototypów.
2. Czy możliwe byłoby oparcie rozważań dysertacji na logice rozmytej? Jakie byłyby ewentualne korzyści i niedogodności takiego podejścia?
3. Rozważania dotyczące semantyki prowadzone były dla przypadku wybranych modalności języka angielskiego. Czy mogą być one bez zastrzeżeń przeniesione na grunt języka polskiego?

Uwagi redakcyjne. Rozprawa napisana jest językiem zrozumiałym nie pozostawiającym czytelnikowi istotnych wątpliwości. Okupione jest to czasami powtórzeniami w tekście.

Godnym podkreślenia jest fakt, że wywody dysertacji są silnie sformalizowane, co skutkuje znaczną ilością definicji, twierdzeń, dowodów oraz algorytmów podanych w pseudokodzie wymagających od autora szczególnej staranności edytorskiej.

Konkluzja. Za podstawowe osiągnięcie doktoranta uważam oryginalnie opracowane, zrealizowane i zweryfikowane modele uczenia kategorii z prototypem oraz generowania na tej podstawie wypowiedzi modalnych o przynależności obiektu do kategorii, które mogą być punktem wyjścia do dalszych badań tego procesu oraz prób konstruowania odpowiednich mechanizmów dedykowanych systemom technicznym przyszłości.

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Żurawskiego, stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazując ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, spełnia wymagania *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późn. zm.*. Tym samym wnioskuję o dopuszczenie przedmiotowej dysertacji do obrony publicznej.

