

Wrocław 14.09.2020 r.

Prof. dr hab. inż. Ngoc Thanh Nguyen
Katedra Informatyki Stosowanej
Wydział Informatyki i Zarządzania
Politechnika Wrocławska

Wydział Matematyki, Informatyki
i Mechaniki UW

744/M/M
WPŁYNEŁO DNIA
16 WRZ. 2020

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Białka
pt.**

„Actions in information-rich environments: A paraconsistent approach”

Recenzja niniejsza została przygotowana na zlecenie Dziekana Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego (pismo z dnia 13.07.2020).

I. Ocena tematyki rozprawy

Przetwarzanie informacji niekompletnych i niespójnych jako osobne obszary badań doczekało się sporo modeli i metod, natomiast integracja tych obszarów stanowi nadal duże wyzwania badawcze. Narzędzia do reprezentowania i przetwarzania jednocześnie tych dwóch cech informacji nie są obecnie szczególnie bogate i nadal wymagają udoskonalenia. Jest to także główna tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej. Autor poprawnie zidentyfikował obszar i sformułował interesujące i aktualne zagadnienia badawcze.

Autor sformułował następujące cele rozprawy:

- Wybór reprezentacji stanu przekonań odpowiedniej do planowania w kontekście nie pełnych i/lub niespójnych informacji;
- Rozszerzenie oryginalnego języka 4QL o narzędzia do wnioskowania i odpytywania przekonań w zrozumiały sposób;
- Wprowadzenie mechanizmu ograniczającego przekonania do wykorzystania podczas planowania poprzez rozszerzenie oryginalnej definicji baz przekonań;
- Zapewnienie skutecznego formalizmu zmiany przekonań, mającego zastosowanie w dynamicznych i złożonych środowiskach;
- Określenie składni i semantyki działań obejmujących reprezentację stanu przy użyciu para-kompletnych i para-spójnych baz przekonań;
- Rozszerzenie języka specyfikacji działań w celu umożliwienia działań złożonych;

- Zastosowanie działań złożonych do określania szablonów planów (przydatne w złożonych problemach planowania);
- Implementacja wyników teoretycznych poprzez rozszerzenie interpretera inter4QL.

W mojej ocenie zadania te zostały poprawnie sformułowane, spójne z ogólnym celem pracy oraz dobrze uzasadnione.

II. Struktura rozprawy

Praca liczy 119 strony i składa się z 9 rozdziałów. Jej treść można krótko scharakteryzować następująco:

- Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do zagadnień związanych z logikami umożliwiającymi przetwarzanie informacji niepewnej i niespójnej. Zostały określone zadania badawcze. Autor dobrze motywował wybrany kierunek swoich badań oraz jasno uzasadnił potrzebę rozwiązywania sformułowanych problemów badawczych.
- Drugi rozdział zawiera obszerny przegląd literatury, głównie na temat baz przekonań i ich struktur oraz podstawę języka 4QL opracowanego przez m.in. promotora, prof. Andrzeja Szałasa. Autor wykazał dużą wiedzę o dziedzinach związanych z tematyką rozprawy i przedstawił dokładną krytyczną analizę istniejącego stanu literatury, która stanowi uzasadnienie dla wkładu swojej pracy. Pokazał lukę w badaniach nad systemami, które potrafią przetwarzać jednocześnie niekompletność i niespójność przekonań. Język 4QL, który służy temu celowi, nie zapewnia możliwości planowania. To jest główny kierunek badań recenzowanej rozprawy.
- Rozdziały trzeci, czwarty i piąty opisują języki 4QL^{Bel} oraz 4QL^{Bel+} stanowiące rozszerzenie języka 4QL o reguły czterwartościowego języka zapytań zdolnego do para-spójnego i para-kompletnego wnioskowania doksastycznego z bazami przekonań i strukturami przekonań. Zawarty jest także opis implementacji tych rozszerzonych języków.
- Rozdział 6 zawiera opis formalnego języka ActLog służącego do określania działań (akcji) w złożonych informacyjnie środowiskach.
- Rozdziały 7 i 8 opisują mechanizm silnika planowania, jego implementację i eksperymenty porównujące z innymi podejściami planowania.
- Rozdział 9 zawiera podsumowanie i kierunki dalszych badań.

W pracy zacytowano 138 prac, w tym 7 publikacji z udziałem Autora rozprawy.

III. Oryginalny wkład naukowy rozprawy

Jako najważniejsze wyniki rozprawy pragnę podkreślić następujące oryginalne osiągnięcia Doktoranta:

- **Opracowanie metody budowy bazy przekonań z więzami:**

Autor definiuje świat jako zbiór literałów bez zmiennych, a bazę przekonań jako zbiór światów. Nie ma wzajemnych relacji pomiędzy światami, co jest korzystne dla użytkowników w procesie modelowania. Następnie Autor rozszerzył tę definicję o zbiór formuł logicznych stanowiących więzy integralności. Jest to nowatorskie podejście do baz przekonań. Język 4QL został rozszerzony o operator Bel, który służy do odpytywania baz przekonań o globalne przekonania współdzielone pomiędzy światami. Ponieważ światy dotyczące tej samej rzeczywistości mogą być sprzeczne, to narzędzie jest bardzo przydatne dla przetwarzania niespójności przekonań i dzięki temu nie trzeba wymagać spójności tych baz. Autor pokazał ciekawe właściwości tego operatora dotyczące złożoności czasowej jego działania. Bardzo ciekawym elementem opracowanym przez Autora rozprawy jest operator przysłaniania (ang. *shadowing*) przekonań, który pozwala na krótkotrwałą zmianę przekonań danej jednostki (agenta, eksperta) w celu dostosowania do przekonań innych członków kolektywu. Jest to bardzo przydatny element w opracowaniu systemów wieloagentowych, szczególnie w opracowaniu protokołów skutecznej negocjacji. Element ten jest także przydatny w procesie osiągnięcia konsensusu w ramach kolektywu, tj. podejmowania decyzji w przypadku niespójności opinii członków kolektywu. Jedno z podejść dla tego celu jest to, aby osoby dołączające do grupy zaakceptowały poglądy grupowe i zawieszały swoje sprzeczne opinie (przekonania). Inaczej niemożliwe byłoby osiągnięcie żadnego porozumienia. Konieczna w tym przypadku jest zamiana przekonań indywidualnych na grupowe, a potem być może z powrotem. Autor pokazał, że podejście to jest wydajne obliczeniowo ponieważ nie zawiera w sobie żadnej trwałej zmiany przekonań agenta. Wyniki analizy złożoności języka $4QL^{Bel}$ zostały przedstawione w pracy. Autor udowodnił wielomianową złożoność dla każdego programu języka $4QL^{Bel}$ w odpowiednim modelu. Następny wynik to stwierdzenie, że odpowiedź na każde zapytanie w ramach danego programu można wyliczyć w deterministycznym i wielomianowym czasie. Został opracowany przez Autora język $4QL^{Bel+}$, który służy do rozszerzenia programów w $4QL^{Bel}$ o więzy integralności. Elementy analizy złożoności obliczeniowej dla wykonania programów w tym języku zostały jasno

przedstawione w rozprawie. Udowodnił m.in., że jeśli każde zapytanie, które daje się obliczyć w czasie wielomianowym do baz przekonań (o znanej strukturze) oraz dziedziny są liniowo uporządkowane, może być wyrażone w języku $4QL^{Bel}$. Jest to istotny wniosek odnośnie ekspresywności tego języka.

- **Opracowanie języka akcji nad bazami przekonań:**

Podczas gdy większość podejść projektuje akcje do działania bezpośrednio na światach (zbiorach ukonkretnionych literałów), Autor zaproponował działania akcji na bazach przekonań. Każda akcja w istocie przekształca jeden zbiór światów w drugi. Dzięki temu planowanie może być wykonywane na wielu światach jednocześnie. Rozprawa proponuje 3 typy składania akcji: złożenie równoległe, złożenie sekwencyjne oraz złożenie warunkowe. To narzędzie ułatwia specyfikowanie problemów planowania złożonych akcji. Autor analizował je pod względem złożoności obliczeniowej. Pokazał, że akcje złożone wpisują się dobrze w gałąź badań powiązanych z generowaniem planów opartych na szablonach. Za pomocą składni akcji złożonych, użytkownik może zdefiniować szablon planu, który później będzie zaaplikowany przez planer do konkretnej sytuacji. Autor zdefiniował język ActLog jako rozszerzenie języka $4QL^{Bel+}$ do specyfikowania akcji dla złożonych środowisk. Odnośnie ekspresywności tego języka Autor udowodnił, że każda atomowa akcja, która może być obliczona w czasie wielomianowym może być wyrażona w języku ActLog. Ten wynik jest istotny, choć Autor nie przedstawił dowodu w rozprawie.

- **Implementacja planera i przeprowadzenie eksperymentów**

Autor wykonał eksperymentalną implementację planera, który użyty został do weryfikacji przykładów zaprezentowanych w rozprawie. Zaimplementował 5 heurystyk planera. Pierwsze dwie działają lokalnie, bez bezpośredniego nakierowania na cel planowania. Pozostałe trzy heurystyki opierają swoje działanie na poziomie prawdziwości celu planowania co sprawia, że planowanie staje się nakierowane na spełnienie celu. Autor przeprowadził także eksperymenty porównujące z innymi planerami, które pokazały, że pierwsze dwie heurystyki częściej prowadzą do polepszonych wyników. Brakuje jednak dogłębnej analizy, np. statystycznej, która by porównała efektywności opracowanych heurystyk.

Na podstawie tych osiągnięć można znaleźć rozwiązania problemów badawczych, które Doktorant sformułował. Ogólnie można stwierdzić dużą wartość techniczną (praktyczną) rozprawy. Wartość teoretyczna jest na dobrym poziomie. Doktorant nie zbadał dogłębnie

kilku ciekawych zagadnień związanych z tematyką pracy doktorskiej. Np. Autor rozprawy twierdzi, że umiejętność „cieniowania” (nie aktualizowania), korygowania lub łączenia przekonań może skutkować znaczną poprawą wydajności systemów agentowych opierających się na rozumowaniu doksastycznym, jednak nie przeprowadził badań aby udowodnić tę tezę. Jest bowiem bardzo ciekawym problemem zbadanie zależności pomiędzy stopniem „cieniowania” przekonań członka kolektywu na jego wydajność (trafność, dokładność) decyzji. Pomimo pewnych krytycznych komentarzy, należy stwierdzić, że wartościowym elementem rozprawy jest sposób sformułowania problemu badawczego, budowanie modelu baz przekonań i języków ($4QL^{Bel}$, $4QL^{Bel+}$, ActLog). Trzeba zauważyć duży wysiłek i dorobek Autora w tym zakresie. Implementacja tych elementów jest także oryginalnym wkładem, która pokazuje „realność” zastosowania modelu w rzeczywistości.

W świetle wyżej opisanych osiągnięć jestem w stanie stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr. Łukasza Białka ma bardzo duży aspekt merytoryczny, stanowi oryginalne rozwiązania określonych problemów badawczych i dobrze wpisuje się w najnowszy, szczególnie ważny i innowacyjny nurt światowych badań związanych z reprezentacją i przetwarzaniem wiedzy, szczególnie z bazami przekonań. Uzyskane wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że cele pracy zostały osiągnięte.

IV. Uwagi do rozprawy

Poniższe krytyczne uwagi (oprócz edytorskich) mają głównie charakter dyskusyjny.

1. Opracowanie języków $4QL^{Bel}$, $4QL^{Bel+}$ i ActLog są niewątpliwie istotnym wkładem niniejszej rozprawy. Jednak praca zostaje pewien niedosyt. Dla twierdzeń i własności nigdzie w rozprawie nie można znaleźć dowodów. Np. dla twierdzeń 4, 5 i 6 (strona 31) Autor jedynie stwierdził, że ich dowody są analogiczne jak dla ich odpowiedników odnośnie języka $4QL$. Moim zdaniem takie stwierdzenie jest zbyt ogólne. Opracowane przez Autora języki stanowią rozszerzenia języka $4QL$, czyli są inne, więc dobrze byłoby przedstawić specyfikę dowodów przedstawionych twierdzeń.

2. Brakuje analizy wydajności mechanizmów „cieniowania” wiedzy jak i dogłębnej analizy mechanizmu przesłania przekonań.

3. Założenia dotyczące acykliczności grafów (str. 22) nie zostały należycie sformułowane i nie są precyzyjne. Np. w drugim założeniu jest zapis „*when a variable occurs in a rule as an argument in more than one place ...*”. Lub trzecie założenie zawiera zapis „*all values of all modules*”. Wcześniej Autor zdefiniował moduł jak czwórka (*domains, relations,*

rules, facts). Co w takim razie jest wartością modułu?

4. Strona 30: Jest mowa o Tabeli 1 na stronie 21, ale tam nie ma żadnej tabeli.
5. Def. 11 (str. 30): Czy programem w języku $4QL^{Bel}$ może być nieskończony zbiór modułów? Odpowiedź na to pytanie ma istotne znaczenie dla twierdzeń 4, 5 i 6.
6. Brak jasnych wymagań odnośnie systemów do planowania akcji oraz do używania wielowartościowej logiki do wyrażania wiedzy niekompletnej i sprzecznej.
7. Kilka istotnych własności (Proposition 1-4, str. 40-41) oraz twierdzeń dotyczących ekspresywności zostało przedstawionych z założeniem, że dziedziny są liniowo uporządkowane, czyli każda dziedzina jest liniowo uporządkowana. W porównaniu z założeniem o uporządkowanych bazach danych w książce (*Abiteboul S. et al: Foundations of Databases. Addison-Wesley 1995*) to założenie Autora jest w istocie słabsze. Ponieważ dowodów tych własności nie ma w pracy, pragnę zwrócić uwagę na ewentualną pomyłkę.
8. Warto zastanowić się nad tym, jak połączyć logikę $4QL$ z logiką rozmytą aby zwiększyć jej możliwości. Obecnie można mieć wrażenia, że używanie logiki czterowartościowej (t, f, i, u) ma pewne ograniczenia dla mechanizmów wnioskowania z powodu występowania niespójności w danych jak i w regułach. Jednak po fuzyfikacji możliwe, że można uniknąć tego problemu.

V. Konkluzje

Powyższe krytyczne uwagi mają jedynie charakter dyskusyjny i stwierdzam, że rozprawa doktorska pana mgr. Łukasza Białka, stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazując głęboką wiedzę Doktoranta w dyscyplinie naukowej informatyka, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, spełnia wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zakres i jakość badań naukowych przeprowadzonych przez Autora prezentowane w przedstawionej mi do recenzji rozprawie w pełni świadczą o jego dużym i oryginalnym wkładzie. Dodatkowo, Doktorant opublikował osiągnięte wyniki w 7 publikacjach, m.in. w artykułach do czasopism z listy JCR „*Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*” i „*International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*”, w materiałach workshopu EMAS@AAMAS 2018 oraz w innych konferencjach z listy CORE: ICD, Automation, WI-IAT, ISMIS. W mojej opinii dorobek publikacyjny Kandydata można uznać za przyzwoity.

Wobec powyższego niniejszym wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Ngoc Thanh Nguyen