

prof. dr hab. inż. Grzegorz J. Nalepa
Instytut Informatyki Stosowanej
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński

Recenzja rozprawy doktorskiej
autorstwa mgra Łukasza Białka
zatytułowanej *Actions in information-rich environments: a paraconsistent approach*
wykonana dla Rady Naukowej Dyscyplin Matematyka i Informatyka
Uniwersytetu Warszawskiego

1. Tematyka naukowa rozprawy i podejmowane problemy badawcze

Rozprawa doktorska magistra Łukasza Białka wpisuje się w jeden z klasycznych obszarów Sztucznej Inteligencji (SI), to znaczy w tematykę planowania inteligentnych agentów. Jest do tematyka od początku obecna w SI i niezmiennie aktywnie eksplorowana. Istotne zagadnienia obejmują między innymi modelowanie wiedzy na temat problemów planowania za pomocą języków symbolicznych, formułowanie algorytmów budujących plany działań, czy w końcu konstrukcję specjalizowanych systemów wnioskujących rozwiązujących zagadnienia planowania (ang. *planer*). Wspomniane metody i narzędzia, znajdują następnie szereg zastosowań w różnych realizacjach agentów, w tym realizacjach sprzętowych, na przykład w robotyce.

W swojej rozprawie, mgr Białek podejmuje zagadnienie opracowania właściwego języka reprezentacji przekonań agenta na potrzeby planowania w środowisku w którym wiedza ma charakter niepełny i potencjalnie częściowo niespójny – parakonsystentny. Ponadto proponuje metody opisu zmiany przekonań agenta, generowania planu działań (akcji), oraz w końcu techniki ich praktycznej implementacji. Badania Doktoranta wpisują się w prace badawcze prowadzone z zespołem jego Opiekuna Naukowego i rozszerzają wcześniej opracowany w tym zespole język 4QL i prototyp planera *inter4QL*.

Autor nie definiuje *explicite* tezy pracy. Podaje jednak szczegółową listę problemów badawczych (s. 17), z których najważniejsze to:

- wybór reprezentacji stanu przekonań odpowiedniego dla planowania w kontekście niepełnej, i/lub niespójnej informacji (ang. *incomplete, inconsistent information – 3i*),
- rozszerzenie oryginalnego języka 4QL o efektywnie obliczalne (ang. *tractable*) konstrukcje pozwalające na wnioskowanie i odpytywanie,

- rozszerzenie oryginalnej definicji baz przekonań o więzy integralności,
- wprowadzenie efektywnie obliczalnego formalizmu zmiany przekonań,
- zaproponowanie składni i semantyki akcji pozwalającej na planowanie z użyciem parakonsystentnych i potencjalnie niepełnych baz przekonań,
- rozszerzenie języka specyfikacji akcji o akcje złożone,
- użycie akcji złożonych do zdefiniowania szablonów planów,
- implementacja wyników teoretycznych poprzez rozszerzenie interpretera inter4QL.

Podsumowując, mogę stwierdzić, że tematyka naukowa rozprawy bardzo dobrze wpisuje się w bieżące badania w obszarze SI, a podjęte przez Doktoranta problemy badawcze są istotne od strony teoretycznej i z perspektywy potencjalnych zastosowań ich rozwiązań.

2. Struktura rozprawy i jej redakcja

Rozprawa liczy 119 ponumerowanych stron. Tekst został podzielony na 9 rozdziałów, oraz poprzedzony między innymi wykazem publikacji Autora, ważnych z perspektywy pracy. Rozdział 1. zawiera wstęp, określenie problemów badawczych i wskazanie tła literaturowego. Rozdział 2. prezentuje najważniejsze informacje dotyczące języka 4QL. W rozdziale 3. Autor omawia pierwszą część własnych wyników t.j. rozszerzenie języka 4QL do postaci $4QL^{Bel+}$. Następnie w rozdziale 4. omawiane są mechanizmy reprezentacji więzów integralności i zmiany przekonań. Rozdział 5. poświęcony jest omówieniu implementacji powyższych wyników teoretycznych poprzez rozszerzenie interpretera inter4QL. Kolejne dwa rozdziały obejmują wyniki związane z poszerzeniem reprezentacji akcji i implementację w planerze inter4QL. W rozdziale 8 przedstawione są przykłady użycia wyników Doktoranta do zamodelowania wybranych problemów. Rozdział 9. zawiera podsumowanie pracy i osiągniętych wyników. Nietrudno zauważyć, że struktura pracy odpowiada sekwencji wyróżnionych we wstępie problemów badawczych.

Praca poparta jest bogatą bibliografią liczącą 138 pozycje literaturowe.

Od strony językowej i redakcyjnej praca prezentuje się bardzo dobrze. Rozprawa została napisana w języku angielskim i złożona w systemie LaTeX. W pracy znalazłem jedynie pojedyncze usterki gramatyczne (użycie czasów) czy językowe (rodzajniki). Drobną usterką jest użycie w szeregu miejsc dywizu „-” zamiast pauzy „-”.

Godnym uwagi jest fakt oparcia tekstu pracy *in extenso* na wcześniejszych publikacjach Doktoranta, wraz z Opiekunem Naukowym i współpracownikami. Autor podkreśla ten fakt już na stronie 9. rozprawy i następnie sukcesywnie w poszczególnych rozdziałach rozprawy. Są to prace:

- [1] Białek, Ł., Dunin-Kępicz, B., Szałas, A.: Rule-based reasoning with belief structures. In: Kryszkiewicz, M., et.al. (eds.) Proc. ISMIS'2017. LNAI, vol. 10352, pp. 229–239. Springer (2017)
- [2] Białek, Ł., Dunin-Kępicz, B., Szałas, A.: Towards a paraconsistent approach to actions in distributed information-rich environments. In: Ivanović, M., Bădică, C., Dix, J., Jovanović, Z., Malgeri, M., Savić, M. (eds.) Proc. IDC - Intelligent Distributed Computing XI. Studies in Computational Intelligence, vol. 737, pp. 49–60. Springer (2017)
- [3] Białek, Ł., Dunin-Kępicz, B., Szałas, A.: Belief shadowing. In: EMAS@AAMAS (2018)
- [4] Białek, Ł., Dunin-Kępicz, B., Szałas, A.: A paraconsistent approach to actions in informationally complex environments. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence 86(4) 2019

Jakkolwiek nie jest to rozwiązanie typowe, ani często spotykane w kraju, jest w mojej opinii uzasadnione w przypadku osób, które tak jak doktorant aktywnie pracowały naukowo i publikowały w trakcie przygotowywania rozprawy. Warto również pokreślić, że takie formy doktoratu zdarzają się coraz częściej w Europie Zachodniej.

Mając powyższe na uwadze, strukturę pracy uważam za poprawną, a stronę redakcyjną za bardzo dobrą.

3. Wyniki naukowe i ich oryginalność

Wyniki teoretyczne badań zostały zaprezentowane w rozdziałach 3, 4, i 6 rozprawy, a wyniki praktyczne (implementacyjne) w rozdziałach 5 i 7. Za najważniejsze oryginalne wyniki rozprawy można uznać:

1. Sformułowanie języka $4QL^{Bel+}$ pozwalającego na reprezentację świata agentów na potrzeby planowania w sytuacji 3i. Oryginalny język 4QL rozważa bazy przekonań jako skończone zbiory światów, z których każdy jest skończonym zbiorem literałów (bez użycia zmiennych). Język opiera się m.in. na 4 wartościach logicznych t, i, u, f (prawda, niespójność, brak informacji, fałsz). Rozwiązanie Autora rozszerza ten język o więzy integralności bazy przekonań. Ponadto wprowadza operator pozwalający na formułowanie zapytań wspólnych dla wszystkich światów, co jest użyteczne przy wnioskowaniu parakonsystentnym. Zaproponowany jest również mechanizm przesłaniania przekonań pozwalający na czasowe naruszenie elastycznych (słabych) więzów integralności, co może sprzyjać komunikacji w systemach wieloagentowych. Wyniki te stanowią rozwiązanie czterech pierwszych problemów badawczych zdefiniowanych przez Autora we wstępie. Zostały one wcześniej zaprezentowane w publikacjach [1] i [3].
2. Sformułowanie składni i określenie semantyki języka opisu akcji agentów w bazach wiedzy 3i powiązanej w zaproponowanym językiem opisu takich baz wiedzy – ActLog. Rozważane w rozprawie akcje operują na bazach wiedzy, czyli zbiorach światów. Autor wprowadza też trzy przypadki akcji złożonych, t.j. złożenie równoległe, sekwencyjne i warunkowe. Zwiększa to siłę wyrazu języka oraz pozwala na uproszczenie modelowania problemów planowania. Wyniki te są rozwiązaniem trzech kolejnych problemów badawczych i zostały wcześniej zaprezentowane w publikacjach [2] i [4].
3. Praktyczną realizację eksperymentalnego planera inter4QL zrealizowanego w języku C++, w której zaimplementowano powyższe wyniki teoretyczne. W planerze zaimplementowano algorytm progresywnego przeszukiwania stanów przestrzeni stanów oraz pięć heurystyk, w tym dwie lokalne i trzy sterowane celem. Prace nad planerem Doktorant realizował już w trakcie pracy magisterskiej i były one kontynuowane przez kolejnych magistrantów.

Wskazane wyniki naukowe zawarte w rozprawie uznaję za oryginały. Jakkolwiek problematyka rozprawy obejmuje zagadnienia rozpatrywane od dekad w AI, to perspektywa przyjęta w rozprawie i zawarte w niej wyniki szczegółowe w obszarze baz wiedzy 3i dla planowania działań agentów są nowe.

4. Uwagi dyskusyjne

W pracy nie doszukałem się błędów merytorycznych, ani poważniejszych usterek, a poniższe uwagi należy traktować jako dyskusyjne.

Pierwsza dotyczy samego nakreślenia tematyki badawczej i dookreślenia problemów których rozwiązania przedstawia się w rozprawie. W rozdziale 1. rozprawy Autor opisuje krótko tło badawcze, w tym podejścia do wnioskowania w środowiskach o dużej dynamice w tym z informacją niepełną, niepewną, czy niespójną.

Jest to solidny przegląd problemów badawczych w tym obszarze i powiązanej z nimi literatury. Skutecznie służy do ulokowania prac Doktoranta i wskazanie ich relacji do badań prowadzonych na świecie. To czego jednak w mojej opinii brakuje, to skonkretyzowana motywacja dla podjęcia takich właśnie a nie innych badań w rozprawie i odniesienie określonych w niej problemów badawczych do wyzwań jakie podejmują inne grupy badawcze. Tymczasem, można odnieść wrażenie, że mgr Białek będąc wprowadzony w prace powiązane za językiem 4QL już od swoich studiów magisterskich, relatywnie wąsko patrzy na motywację swoich badań, czy też wyprowadza ją niejako automatycznie z kontekstu prac nad tym językiem. Jakkolwiek nie umniejsza to wartości jego oryginalnych wyników, to może być barierą w przyszłej pracy badawczej.

Druga uwaga dotyczy ewaluacji wyników rozprawy. Można domyślać się, że rolę tę pełni rozdział 8., w którego wstępie wprawdzie nie pada sformułowanie ewaluacja, natomiast jest mowa o sprawdzeniu omówionych w rozprawie koncepcji w praktycznych zastosowaniach. Autor modeluje 3 przykłady problemów planowania o rosnącej złożoności i dwa z nich porównuje do realizacji za pomocą klasycznego planera PDDL. Trzeci, z racji użycia mechanizmów specyficznych dla metod reprezentacji opracowanych przez Autora, jest zamodelowany wyłącznie za pomocą narzędzi zaproponowanych w rozprawie. Wobec tego podejścia można mieć kilka uwag. Po pierwsze, pokazane przykłady są relatywnie proste. Nawet jeśli jeden z nich pochodzi z konkursu IPC, to mają one bardziej charakter uproszczonych problemów testowych (ang. *toy problems*). Dopiero przykład trzeci jest nieco większy. Zrozumiałe jest, że został tak dobrany by pokazać przewagę rozwiązań Autora, natomiast warto by było by ta przewaga została lepiej uwypuklona, np. przez wskazanie ewidentnych ograniczeń innych planerów. Ponadto, bardziej systematyczna ewaluacja powinna odróżniać poziom modelowania i siły wyrazu 4QL^{Bel+} i ActLog od efektywności samego procesu planowania i jego realizacji w planerze. *Nota bene*, warto by było wskazać zarówno kryteria porównania z innymi metodami i rozwiązaniami na obu płaszczyznach oraz cechy które są porównywane. W końcu zwraca uwagę fakt, że rozważane problemy nie pochodzą z praktycznych zastosowań i trudno oprzeć się wrażeniu, że mają charakter akademicki. Systemy planowania od dawna znajdują takie zastosowania w wielu obszarach, w tym we wspomnianej w rozprawie robotyce. Prezentacja wyników pracy zyskałaby na wiarygodności, gdyby udało się zamodelować takie właśnie praktyczne przykłady.

Uwaga ostatnia jest związana z oparciem rozprawy o wcześniejsze publikacje. Tak jak wspominałem w punkcie 2. niniejszej recenzji, akceptuję formułę oparcia rozprawy o wcześniejsze publikacje, tym bardziej, że Autor jasno to zaznacza. Tym niemniej z racji tego, że 4 najważniejsze dla rozprawy publikacje powstały w zespole trój osobowym, wydaje się, że celowym byłoby opisanie wkładu każdego z Autorów publikacji. Z faktu, że Doktorant jest pierwszym Autorem i z oświadczenia Promotora, pozostaje przyjąć, że wkład mgra Białka jest dominujący.

5. Działalność publikacyjna

Doktorant jest współautorem 7 publikacji. Publikacje zostały wymienione w bibliografii Rozprawy, oraz są ewidencjonowane w bazie DBLP. Wspomniana wcześniej publikacja [4], w której doktorant jest pierwszym autorem, ukazała się w czasopiśmie wydawnictwa Springer ze współczynnikiem IF=0.778 (2019). Ponadto Doktorant jest drugim autorem publikacji wymienionej w rozprawie pod numerem [125], która ukazała się w czasopiśmie *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowl. Based Syst.* wydawnictwa World Scientific ze współczynnikiem IF=1.375 (2019). Pozostałe publikacje były prezentowane na znanych konferencjach AAMAS, IDC, czy ISMIS. W mojej opinii jest to dobry wynik jak na młodego badacza, wskazujący na predyspozycje do badań naukowych i systematyczną pracą z Opiekunem.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera szereg oryginalnych wyników z ważnego dla SI i informatyki obszaru planowania. Autorowi z powodzeniem udało się zrealizować postawione cele badawcze i opracować oryginalne rozwiązania problemów naukowych. Doktorant wykazał się umiejętnościami opisu i formalizowania problemów koncepcyjnych, a także praktycznymi umiejętnościami implementacji opracowanych przez siebie rozwiązań w eksperymentalnym narzędziu komputerowym.

Warto podkreślić, że najważniejsze wyniki uzyskane w rozprawie zostały opublikowane w 4 artykułach, w których mgr Białek jest pierwszym autorem, z których jeden znalazł się w czasopiśmie na liście JCR (ze współczynnikiem IF), a pozostałe zostały zaprezentowane na znanych konferencjach międzynarodowych. Ponadto Doktorant jest współautorem kolejnej publikacji w czasopiśmie znajdującym się na liście JCR.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana przez mnie rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i wnoszę o dopuszczenie Pana mgra Łukasza Białka do dalszych etapów przewodu doktorskiego, w tym publicznej obrony.

Ponadto, mając na uwadze wysoki poziom rozprawy, a także fakt, że jej najważniejsze wyniki zostały z powodzeniem opublikowane, w tym w uznanych czasopismach, wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

