

dr hab. Bożena Woźna-Szcześniak, prof. nzw. A.JD
Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie
Instytut Matematyki i Informatyki
ul. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

Tytuł rozprawy: Planowanie Temporalne z Ograniczeniami Typu Rozmytego i Preferencjami (ang. Temporal Planning with Fuzzy Constraints and Preferences)

Autor rozprawy: dr Krystian Jobczyk¹

Recenzowana rozprawa doktorska napisana została pod kierunkiem Prof. DHR Maroua Bouzid (Uniwersytet Dolnej Normandii w Caen, Laboratorium GREYC, grupa „MODELE, AGENCI, DECYZJE”) oraz Prof. dr hab. Antoniego Ligęzy (Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Informatyki Stosowanej). Praca lokuje się w dyscyplinie informatyka. Przedmiotem recenzji jest ocena, czy rozprawa spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 (Dz.U. Nr 65 z dn. poz. 595 z późn. zm.) o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, określanej dalej Ustawą. Wymogiem art. 13 Ustawy jest, by rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora, stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub artystycznego oraz wykazywała ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.

1. *Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?*

Tematem rozprawy jest szeroko rozumiany problem planowania temporalnego z ograniczeniami rozmytymi i preferencjami. Planowanie temporalne to planowanie klasyczne (czyli określenie ciągu operacji jakie należy wykonać, aby przejść z zadanego stanu początkowego do stanu końcowego będącego celem) uwzględniające aspekty czasowe. Jeżeli ograniczenia czasowe (temporalne) - nałożone na operacje - nie mają charakteru twardego, to można je definiować za pomocą zbiorów rozmytych. Ponadto, planowanie temporalne często rozważane jest wraz z tzw. „preferencjami”, które wprowadzają pewną racjonalność do planowania.

Teza rozprawy jest jasno i precyzyjnie sformułowana przez Autora w postaci następujących problemów badawczych:

- Jak wprowadzić prostą taksonomię dla problemów planowania temporalnego i harmonogramowania z ograniczeniami rozmytymi i preferencjami, która spełnia następujące warunki:
 - jest (stosunkowo) wyczerpująca,

¹Krystian Jobczyk posiada stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk humanistycznych w dyscyplinie naukowej filozofia.

- zawiera dokładny opis każdego z podstawowych problemów.
- Jak zarządzać i modelować czasowe ograniczenia rozmyte i preferencje - zgodnie z proponowaną taksonomią - aby:
 - uchwycić ich obliczeniową stronę lub,
 - rozszerzyć wyrażalność metod planowania i narzędzi lub,
 - dostarczyć nowych narzędzi formalnych do monitorowania planu.

Na poparcie swojej tezy, Autor proponuje co następuje:

Rozdział 1. definicje dwóch paradygmatycznych problemów planowania temporalnego typu:

- *Czasowy Problem Komijwożazera* oraz
- *Wielo-agentowy Problem Harmonogramowania i Planowania*

jako przedmiotowej bazy dla planowania temporalnego z ograniczeniami rozmytymi.

Rozdział 2. reprezentację rozmytych relacji Allena, definiujących rozmyte ograniczenia temporalne, przez normy z odpowiednich funkcji splotu, w przestrzeni Banacha funkcji całkowalnych w sensie Lebesgue'a.

Rozdział 3. rozszerzenie dwóch standardowych procedur planowania (procedury STRIPS i algorytmu DAVISA-PUTNAMA) o rozmyte ograniczenia temporalne i preferencje.

Rozdział 4. reprezentację rozmytych ograniczeń temporalnych z rozmytością wprowadzoną przez preferencje w terminach preferencyjnej logiki HALPERNA-SHOHAMA (HS);

Rozdział 5. ogólną metodę konstrukcji hybrydowego kontrolera dla planowania czasowego z preferencjami. Metoda składa się z kilku etapów. Rozpoczyna się od opisu otoczenia kontrolera (systemu) i specyfikacji w odpowiednim języku formalnym (na przykład, w Liniowej Logice Temporalnej (LTL) oraz we fragmencie logiki HS, który może być reprezentowany przez automat skończenie stanowy). Następnie opisy specyfikacji i systemu są tłumaczone na odpowiednie automaty BÜCHI'EGO, które będą służyć do budowy odpowiedniego automatu produktowego. Metoda została zilustrowana na przykładzie konkretnego kontrolera, którego automat produktowy został zaimplementowany w języku PROLOG.

Rozdział 6. próbę połączenia podejść z Rozdziałów 2 i 4 w kontekście konstrukcji kontrolera planu. Podstawą konstrukcji jest podejście logiczne, ale uzupełniają ją elementy analityczne – trajektorie ruchu agenta reprezentowane są przez odpowiednie funkcje w przestrzeniach Sobolewa.

Ponieważ przedstawiane rozważania mają charakter formalny i rozbudowaną stronę analityczną (zaawansowany aparat matematyczny), pracę zaliczam do rozpraw o charakterze teoretycznym.

2. *Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczący o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?*

Autor przedstawił w przekonujący sposób wnikliwą analizę źródeł zarówno w zakresie klasycznego problemu planowania jak i planowania temporalnego. Analizie tej został poświęcony rozdział *Introduction 1: Temporal Planning as an Extension of Classical Planning. The AI Approach*, który stanowi koncepcyjne i (częściowo) historyczne wprowadzenie do zagadnień planowania temporalnego jako rozszerzenia planowania klasycznego. Klasyczne planowanie opisano z punktu widzenia różnych paradygmatów. W szczególności, omówiono klasyczne zagadnienie planowanie jako problem przeszukiwania grafów (procedura STRIPS) i jako problem spełnialności formuł reprezentujących różne komponenty procesu planowania (procedura DAVISA-PUTNAMA). Planowanie temporalne przedstawione jest jako rozszerzenie planowania klasycznego o temporalne aspekty działania. Omówiony został również rozwój formalizmu *Planning Domain Description Language (PDDL)*, jego zalety i wady.

Rozdział *Introduction 2: Temporal Constraints, Preferences and Fuzzy Temporal Constraints* stanowi wprowadzenie do ograniczeń temporalnych i rozmytych ograniczeń temporalnych oraz ich taksonomii. Opisuje również preferencje jako odrębny element rozumowania temporalnego i planowania temporalnego. Rozmyte ograniczenia temporalne podzielone są na dwie klasy: ilościowe i jakościowe. Temporalne ograniczenia ilościowe są krótko omawiane w kategoriach problemu spełnialności z ograniczeniami i jego specyfikacji jako tak zwanego *Prostego Problemu Temporalnego* (ang. Simple Temporal Problems, STP). Jakościowe rozmyte ograniczenia temporalne są omawiane w kategoriach rozmytych relacji Allena. Przedstawiono dwa różne podejścia do ich reprezentacji: całkowita reprezentacja Ohlbacha i opis DeCocka-Schockaera w kategoriach rachunku relacji i norm.

Podsumowując, dokonany wybór literatury, która stanowi tło realizowanej rozprawy doktorskiej, oraz sposób jej omawiania jest właściwy. Literatura jest dobrze ograniczona do ścisłej tematyki pracy. Wiedza Autora dotycząca problemu planowania (zarówno tego klasycznego jak i temporalnego) jest bardzo dobra i świadczy o jego erudycji. Wnioski z przeprowadzonej analizy literatury ułatwiły Autorowi wybór własnej, bardzo nietypowej, ścieżki realizacji pracy według własnego pomysłu.

3. *Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?*

Oryginalność rozprawy polega na samodzielnym opracowaniu następujących wyników opisanych w rozdziałach od *Contributions. Chapter 1* do *Contributions. Chapter 6* :

- zdefiniowanie dwóch paradygmatycznych problemów planowania czasowego:
 - *Czasowy Problem Komwojżera* oraz
 - *Wielo-agentowy Problem Harmonogramowania i Planowania*jako przedmiotowej bazy dla planowania czasowego z ograniczeniami rozmytymi.
- reprezentacja rozmytych relacji Allena jako rozmytych ograniczeń temporalnych przez normy z odpowiednich funkcji splotu, w przestrzeni Banacha funkcji całkowalnych w sensie Lebesgue'a.
- rozszerzenie dwóch standardowych procedur planowania (procedury STRIPS i algorytmu Davisa-Putnama) o rozmyte ograniczenia temporalne i preferencje.
- reprezentacja rozmytych ograniczeń temporalnych z rozmytością wprowadzoną przez preferencje w terminach preferencyjnej logiki Halperna-Shohama (HS);
- zaproponowanie ogólnej metody konstrukcji hybrydowego kontrolera dla planowania temporalnego z preferencjami.
- połączenia podejścia logicznego z analitycznym do konstrukcji kontrolera planu.

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy reprezentowanej przez literaturę światową jest aktualna. Świadczą o tym, między innymi, przyjęte na konferencje o zasięgu międzynarodowym (np. IEEE International Conference on Fuzzy Systems – FUZZ-IEEE, Federated Conference on Computer Science and Information Systems – FedCSIS, European Conference on Artificial Intelligence – ECAI) prace Autora o tematyce poruszanej w niniejszej rozprawie.

4. *Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?*

Autor już we wstępie zapowiedział jak należy czytać jego rozprawę, jakie sobie postawił cele badawcze i jak je będzie rozwiązywał. Zatem kolejne rozdziały zawierały najpierw wprowadzenie do postawionych problemów, a następnie opis ich rozwiązania. I tak, w rozdziale *Introduction 1: Temporal Planning as an Extension of Classical Planning. The AI Approach*, jak już w pkt. 2 recenzji zostało wspomniane, znajduje się koncepcyjne i (częściowo) historyczne wprowadzenie

do zagadnień planowania temporalnego jako rozszerzenia planowania klasycznego. W rozdziale *Introduction 2: Temporal Constraints, Preferences and Fuzzy Temporal Constraints*, jak już w pkt. 2 zostało wspomniane, znajduje się wprowadzenie do ograniczeń temporalnych i rozmytych ograniczeń temporalnych oraz ich taksonomii. Rozdział *Contributions. Chapter 1* ma charakter pośredni pomiędzy rozdziałami wprowadzającymi 1 i 2 a dalszymi częściami rozprawy. Omówiono w nim różne trudności występujące we wcześniejszych podejściach do planowania temporalnego i rozmytych ograniczeń temporalnych. Jedną z trudności jest brak przedmiotowej specyfikacji planowania temporalnego. Jest ona czynnikiem motywującym do zaproponowania przez Autora zarysu małej taksonomii dla problemów podmiotowych w planowaniu temporalnym. Wprowadzono i szczegółowo zdefiniowano dwie klasy problemów: *Czasowy Problem Komiwojażera* oraz *Wielo-agentowy Problem Harmonogramowania i Planowania (MA-SP-P)*.

Rozdział *Contributions. Chapter 2* proponuje nowe matematyczne podejście do rozmytych ograniczeń temporalnych i preferencji. Po pierwsze, rozmyte relacje Allen'a reprezentowane są przez normy odpowiednich funkcji splotu całkowalnych w sensie Lebesgue'a - jest tutaj odniesienie do idei Ohlbacha. Po drugie, opracowano nowe holistyczne podejście do rozmytych ograniczeń temporalnych, bazujące na reprezentacji rozmytych relacji Allena przez sploty. To nowe podejście stanowi połączenie ilościowych i jakościowych rozmytych ograniczeń temporalnych. Ograniczeniami ilościowymi są ograniczenia dla MA-SP-P, zakodowane przy pomocy odpowiednich przedziałów rozmytych. Ograniczeniami jakościowymi są jedynie rozmyte relacje Allena nałożone na rozmyte przedziały czasowe. Ponadto w rozdziale przedstawiono temporalne i preferencyjne rozszerzenia procedur STRIPS i Davisa-Putnama. Omówiono także niektóre meta-logiczne własności proponowanych rozszerzeń.

Rozdział *Contributions. Chapter 3* jest kontynuacją badań z rozdziału 2 i dotyczy aspektów obliczeniowych i programistycznych rozmytych ograniczeń temporalnych i ich reprezentacji. W szczególności, opisano w nim rozszerzenie standardowych procedur planowania STRIPS i Davisa-Putnama o rozmyte ograniczenia temporalne i preferencje, które definiowane są przez rozmyte relacje Allena z reprezentacją opartą o sploty. Pokazano również jak rozwiązać wybrane podklasy *wielo-agentowego problemu harmonogramowania i planowania* przy wsparciu testerów PROLOGa. Autor rozprawy przy pomocy testerów PROLOGa podaje kilka przykładowych harmonogramów MA-SP-P zależnie od ograniczeń temporalnych nałożonych na początkowe sytuacje MA-SP-P.

Rozdział *Contributions. Chapter 4* zawiera omówienie alternatywnego, algebraiczno-logicznego podejścia do reprezentacji ograniczeń temporalnych i preferencji. Zarówno ograniczenia temporalne jak i preferencje są reprezentowane w terminach zmodyfikowanej wielowartościowej preferencyjnej logiki Halperna-Shohama (HS), w której rozmytość jest wprowadzona poprzez preferencje. Logika HS pozwala na rozważanie formuł reprezentujących zarówno czasowo-ograniczone preferencje, jak i czasowo-ograniczone akcje. Badania tego rozdziału oscylują wokół Problemu Komiwojażera i jego modelowania.

Rozdział *Contributions. Chapter 5* opisuje ogólny sposób budowy hybrydowego kontrolera planu i rozszerza wyłącznie teoretyczne rozważania z rozdziału 4 w kierunku ich praktycznych zastosowań.

Rozdział *Contributions. Chapter 6* opisuje próbę syntezy wcześniejszych podejść do rozmytego ograniczenia temporalnego i preferencji. Omówiono tutaj, w jaki sposób reprezentacje oparte na analizie funkcji rzeczywistych i logice mogą się wzajemnie uzupełniać w konstrukcji kontrolera planu. Na przykład, trajektorie ruchu agenta w opisie logicznym mogą być interpretowane jako odpowiednie funkcje w przestrzeniach Sobolewa.

Z metodologicznego punktu widzenia rozprawa doktorska wykazuje niepowtarzalną niejednorodność. Jest to jednak naturalną konsekwencją wielowymiarowości poruszanych problemów i rozważań. Różnorodność zastosowanych metod obejmuje, na przykład, obliczeniowe metody teorii miary i teorii funkcji rzeczywistych, formalizację z użyciem logiki LTL i logiki HS, czy też metody

budowy automatów Büchi'ego dla formuły LTL. Wspomniane metody są również wspierane przez wybrane metody programowania logicznego, na przykład przez język PROLOG.

Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że Autor przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy, rozwiązał postawione zagadnienie stosując właściwe dla przedmiotu badań metody.

5. *Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?*

Recenzowana rozprawa obejmuje 222 stron tekstu wraz z zawartymi w nim dwoma kartami tytułowymi (w wersji polskiej i angielskiej), jedną stroną z podziękowaniami, dwie strony ze streszczeniem (w wersji polskiej i angielskiej), bibliografią liczącą 147 pozycji, spisem treści oraz 8 dodatkami. Na zasadniczą część pracy składa się wstęp, dwa rozdziały z wprowadzeniem, sześć rozdziałów prezentujących wyniki autora oraz zakończenie.

Struktura rozprawy wynika z przyjętego planu pracy oraz podporządkowana jest stopniowemu realizowaniu przyjętych celów. Prezentowane zagadnienia teoretyczne tworzą harmonijną całość, przez co autor rozprawy konsekwentnie realizuje zamierzone zadania badawcze.

Rozprawa napisana jest poprawnie i przekonująco. Język rozprawy nie jest powściągliwy, ale wynika to z charakteru rozważanych zagadnień, które w dużej mierze są filozoficzne. Autorowi nie udało się uniknąć uchybień edytorskich oraz literówek, ale przy tak obszernej pracy jest to zrozumiałe i nie umniejsza wartości pracy. Zastosowana terminologia i symbole nie budzą większych zastrzeżeń. Brak jest spisu tabel oraz spisu rysunków.

6. *Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?*

Praca nie posiada istotnych słabych stron, które wymagałyby pogłębionej dyskusji. Jest napisana bardzo przystępnym językiem, choć nie jest on bardzo powściągliwy. Nie jest to wada, ale przy czytaniu i ocenie takiej pracy warto zdawać sobie z tego sprawę, gdyż pomaga to we właściwym oszacowaniu wartości tej pracy.

Nasuwają się jednak następujące pytania:

- dlaczego Autor w metodzie konstrukcji hybrydowego kontrolera dla planowania czasowego z preferencjami, opisaney w Rozdziale 5, wybrał logikę liniową LTL, a nie logikę czasu rozgałęzionego, np. Computational Tree Logic (CTL), czy też jej czasową wersję Real Time CTL (RTCTL)². Czy było to podyktowane chęcią wykorzystania automatów Büchiego ?
- dlaczego Autor w metodzie konstrukcji hybrydowego kontrolera dla planowania czasowego z preferencjami, opisaney w Rozdziale 5, ograniczył się do semantyki czasu dyskretnego, a nie rozważał semantyki czasu ciągłego.

7. *Konkluzja*

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Ustawy stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje zatem o dopuszczenie dra Krystiana Jobczyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. Bożena Woźna-Szcześniak, prof. nzw. AJD

²E. A. Emerson, A. K. Mok, A. P. Sistla, and J. Srinivasan. *Quantitative temporal reasoning*. Real-Time Systems, 4(4): 331-352, 1992.

