

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

„Semantyczne badania fragmentów Intuicjonistycznej Logiki Kontrolnej”

mgr Anny Glenszczyk

AUTOR RECENZJI: DR HAB. ALEKSY SCHUBERT
Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki
Uniwersytetu Warszawskiego

1 Problematyka i zawartość pracy

Tematyka rozprawy Rachunek- λ stanowi szeroko badany w literaturze format, w którym można reprezentować dowody w systemach logicznych, a także – na mocy izomorfizmu Curry’ego-Howarda – programy w językach programowania. Stanowi on formalizm, w którym analizowane mogą być zagadnienia związane z obliczalnością bez odrywania ich od językowej reprezentacji. Obecność jej stanowi o istotnej różnicy między tymi modelami, a modelami opartymi na maszynach Turinga czy różnego rodzaju automatach, i pozwala na bardziej precyzyjne ujmowanie niektórych niuansów związanych z procesem tworzenia oprogramowania.

Na przełomie lat 80. i 90. poprzedniego stulecia zaobserwowano (T. Griffin i grupa M. Felleisena), że format rachunku lambda z typami może zostać wzbogacony o tzw. operatory sterujące (ang. control operators), które pozwalają na przeniesienie obliczenia w inne miejsce przetwarzanego wyrażenia. Tego rodzaju wzbogacenie pozwala z jednej strony na wprowadzenie do języka programowania skoków zgodnych ze strukturą obliczenia (np. wyjątków, wielokrotnych powrotów z procedury, wyskoków z pętli itp.), a z drugiej strony przesuwa system logiczny typów z kategorii systemów intuicjonistycznych do kategorii systemów klasycznych.

Wraz z wykonaniem tych obserwacji naturalnie pojawiają się pytania, o to czym są operatory sterujące, czemu one odpowiadają w kontekście logiki intuicjonistycznej? Jedną z prób odpowiedzi na to pytanie jest system ICL (ang. Intuitionistic Control Logic) zaproponowany przez Dale Millera i Chucka Lianga. W systemie tym obecne są dwa rodzaje stałych odpowiadających za fałsz: 0 oraz \perp . Pierwsza z tych stałych reprezentuje tradycyjny fałsz intuicjonistyczny z założeniem, iż nie może on nigdy zachodzić. Druga z tych stałych reprezentuje fałsz klasyczny, który pozwala na prowadzenie ograniczonych rozumowań przez sprzeczność. Jednocześnie implikacja w tym systemie ma charakter intuicjonistyczny. W konsekwencji prowadzi to do powstania dwóch rodzajów negacji. Takie rozwiązanie pozwala w jednym systemie obserwować zachowania właściwe dla systemów czysto intuicjonistycznych, ale też i dysponować zachowaniami klasycznymi. W szczególności system ten pozwala na zdefiniowanie pewnych operatorów sterujących.

Przedstawiona do oceny praca skupia się na analizie własności negacyjnego fragmentu logiki ICL oraz pokazuje rozstrzygalność problemu spełnialności dla tego systemu.

Treść rozprawy Praca składa się z czterech rozdziałów i trzech załączników. Pierwszy rozdział zawiera wprowadzenie do zagadnień studiowanych w tekście, przedstawia Intuicjonistyczny Rachunek Zdań i jego zastosowania w informatyce. W rozdziale drugim wprowadzona zostaje logika ICL oraz przeanalizowany jest jej fragment zawierający pojedyncze zmienne oraz dowolne ich negacje. Przedstawiona została tutaj analiza, której wynikiem jest jawna reprezentacja wszystkich klas równoważności formuł zbudowanych ze zmiennej oraz jej negacji, a także jej domknięcie do kraty oraz kilka ciekawych fragmentów. W rozdziale trzecim przedstawione zostało zanurzenie logiki ICL w pewną logikę modalną. Przedstawiona logika, w wyniku zastosowanej translacji do logiki $S\omega S$, jest rozstrzygalna, a to zaś implikuje rozstrzygalność spełnialności w logice ICL. Czwarty rozdział zawiera podsumowanie. Załączniki 1 i 2 stanowią listy formuł, które wspierają niektóre rozumowania zastosowane w pracy. Załącznik 3 zawiera algorytm sprawdzający, czy formuła jest spełniona w zadanym modelu.

2 Ocena

Wiedza teoretyczna Wykonanie badań przedstawionych w rozprawie wymagało dobrej znajomości logiki. Kandydatka sprawnie operuje metodami semantycznymi logiki, zna dobrze tematykę logik intuicjonistycznych oraz logiki modalne. Zna też podstawowe techniki teorii dowodów. Jednak przedstawiony materiał nie pozwala na stwierdzenie, że autorka biegle rozumie i stosuje techniki związane z pokazywaniem rozstrzygalności czy złożoności problemów spełnialności w logikach. W niektórych wypadkach sięgnięcie po stosunkowo proste metody z tego zakresu dałoby ciekawsze i mocniejsze rezultaty niż te zawarte w pracy.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej Przedstawiony materiał jest rzetelnym świadectwem tego, że autorka potrafi podjąć wybrany szczegółowy temat w światowej literaturze logicznej i opracować go na przyzwoitym poziomie, uzyskując nowe wyniki, które przynoszą istotną syntetyczną wiedzę. Pewien niepokój budzi jednak, że przedstawione konstrukcje są stosunkowo proste i dosyć standardowe. Na pewno przedstawione rezultaty i techniki wskazują, że autorka osiągnęła biegłość w dziedzinie większą niż spodziewana biegłość autora pracy magisterskiej. To jednak nie oznacza, że osiągnięta została biegłość wystarczająca do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W sytuacji gdy czasopisma naukowe oferują nierzadko materiał bardziej skomplikowany i pomysłowo opracowany, może okazać się, iż autorka ze swoimi utworami będzie napotykała trudną do pokonania barierę recenzji odmownych stwierdzających, iż zaproponowane rezultaty mają charakter inkrementalny.

Stojąc wobec tych wątpliwości, chciałbym jednak zauważyć, że system ICL wnosi istotne spojrzenie dla zrozumienia pojęć fałszu, negacji i sprzeczności. W związku z tym zaproponowane przez autorkę opracowanie dotyczące negacyjnego fragmentu tej logiki można uznać za znaczące i nie mające charakteru inkrementalnego. Świadczy to o tym, że autorka ma potencjał do przebijania wspomnianej bariery, czego też istnieją namacalny dowód w postaci publikacji tego materiału w czasopiśmie *Studia Logica*. To zaś można uznać za przesłankę w minimalnym stopniu wystarczającą, aby stwierdzić, iż kandydatka jest gotowa do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jednak w recenzowanych przeze mnie dotychczas rozprawach siła analogicznego świadectwa była znacząco wyższa.

Uwagi merytoryczne Kandydatka w swojej pracy nie ustrzegła się pewnych istotnych mankamentów. Problemy te nie decydują o poprawności wyników pracy, ale rozwiązanie przynajmniej części z nich przyczyniłoby się do istotnego zwiększenia wartości pracy.

Wydaje się, że autorka była bardzo niedaleko od precyzyjniejszego określenia złożoności problemu spełnialności w badanej logice. Translacja ICL na język logiki modalnej QML, która została przedstawiona na stronie 60. rozprawy, w istocie zamyka się we fragmencie, który następnie jest tłumaczony do stosunkowo słabego podsystemu $S\omega S$ (formuły wolne z pewną dodatkową stałą logiczną). Spełnialność w takim systemie można byłoby za pomocą techniki automatowej sprawdzać w czasie deterministycznym wykładniczym po zastosowaniu automatów rozpoznających języki drzew.

Podobną złożoność można byłoby też otrzymać technikami teorii dowodu. Wydaje się dosyć dobrze uzasadniona hipoteza, że dla dowolnego początkowego sekwentu, który jest wyprowadzalny, istnieje wyprowadzenie, w którym formuły, jakie tam występują, są podformułami formuł początkowego sekwentu. Taka obserwacja prowadzi do algorytmu o złożoności wykładniczej, podobnej do algorytmu z wykorzystaniem wcześniej wymienionej techniki wywodzącej się z teorii modeli.

Oczywiście nie sprawdziłem wszystkich szczegółów tych konstrukcji, ale naszkicowane powyżej techniki są w moim mniemaniu dosyć standardowe i fakt, że rozprawa nie odnosi się do możliwości ich zastosowania — szczególnie w wypadku techniki opartej na automatach — budzi niedosyt.

Pewne też zdziwienie budzi wyłączenie algorytmu badania spełnialności formuł w modelach logiki ICL do Załącznika 3. Omówienie własności tego algorytmu byłoby istotnym wzbogaceniem siły przedstawionej rozprawy.

Uwagi redakcyjne Oprócz wspomnianych powyżej mankamentów związanych z zakresem przeprowadzonych badań znalazłem pewną liczbę potknięć natury redakcyjnej. Oto ich zestawienie:

- Na stronie 6. po słowie *otrzymać* powinien być przecinek.
- Na przełomie strony 8. i 9. użyta jest niegramatyczna forma *Intuicjonistyczny Rachunkiem Zdań*.
- Na dole strony 10. powinien być przecinek między [51] a słowem *korzystając*.
- Na stronie 13. odstęp między słowem *prawdziwa* a przecinkiem przed słowem *jeżeli* powinien być usunięty.
- Przed Twierdzeniem 1.2.3 po [41], a przed słowem *obejmującej* powinien być przecinek.
- W Definicji 1.2.5 wprowadzone jest pojęcie *wartościowania*, którego znaczenie jest potem oddawane za pomocą słowa *waluacja*.
- Wprowadzone na dole strony 15. struktury $\langle K, \leq, r \rangle$ to bardziej acykliczne grafy skierowane niż drzewa. Porządki częściowe bez dodatkowych ograniczeń prowadzą do takich właśnie struktur, a nie drzew.
- Na stronie 18. przecinek powinien pojawić się między *Rosser* a *opierając*; między *niezupetności* a *pokazali*; przed *aby uściślić*.
- Na stronie 18. referencja [30] jest użyta w roli rzeczownika, co nie jest zbyt eleganckie.
- Na stronie 19. zamiast *między inny* powinno być *między innymi*.
- Na stronie 19. błędy *typograficzne* powinny być raczej błędami *typologicznymi*.
- Na stronie 22. powinien być przecinek po wyróżnionym *falsum klasycznym*.

- Na stronie 22. korzysta się w definicji światów urojonych pojęcia *światy istotnie powyżej ko-*
rzenia, co jest mniej więcej tak samo jasne, jak definiowane pojęcie.
- Na stronie 23. dobrze byłoby określenie *największym elementem różnym od elementu największego algebry* uściślić, podając o jaki porządek w pierwszym słowie *największym* chodzi.
- Na stronie 27. powinno być *supremum* zamiast *supremu*.
- Na stronie 27. powinno być *fragment negacyjny* zamiast *fragment negacyjnym*.
- Na stronie 29. Twierdzenie 2.2.3 powinno zostać opatrzone referencją do miejsca, z którego ono pochodzi.
- Trochę brakuje uzupełnienia Twierdzenia 2.2.3 o twierdzenie o podstawieniu postaci: *Jeżeli $\Gamma \vdash \phi; [\Delta]$, to także $\Gamma(\psi/p) \vdash \phi(\psi/p); [\Delta(\psi/p)]$. Z tego zaś wynika przedstawione twierdzenie oraz fakt, że: *Jeżeli $\vdash \phi \leftrightarrow \theta; []$, to także $\vdash \phi(\psi/p) \leftrightarrow \theta(\psi/p)$*]. Z tego faktu wygodnie korzystać w wielu miejscach pracy.*
- Dowód Lematu 2.3.1 zgrabniej byłoby przeprowadzić przez redukcję do innego przypadku indukcyjnego tego lematu poprzez usunięcie jednej negacji. Obecny dowód przypadku (2) jest niepotrzebnie skomplikowany przez usuwanie dwóch negacji. Tymczasem przypadek (3) stosuje strategię usuwania jednej, więc nie widać dobrego powodu, dla którego nie miałyby być podobnie w (2). Taka strategia dowodowa być może wymagałaby delikatnego przeformułowania samego lematu, ale bez istotnego zaburzania jego właściwej treści i znaczenia poszczególnych przypadków.
- W Przykładzie 2.3.2 wniosek od słów *To znaczy* wydaje się przedwczesny i słabo uzasadniony.
- W dowodzie Faktu 2.4.5 w istocie formuła $\neg\neg p \rightarrow \neg \sim p$ jest dowodliwa i nie ma kontrmodelu. Usterka ta nie ma wpływu na wyniki rozprawy.
- Dowody w Fackie 2.4.7 nie przebiegają zgodnie z przedstawionymi systemami. Dobrze byłoby wytłumaczyć konwencję ich zapisu.
- Na stronie 53. powinien być przecinek między *pracy* a *podając*.
- Na stronie 58. [4] jest traktowane jako rzeczownik.
- Na stronie 58. powinien być przecinek między ICL a *opieramy się*.
- Na stronie 59. warto byłoby w stwierdzeniu *Sięgamy więc do logiki modalnej z kwantyfikatorami* zaznaczyć, że chodzi o kwantyfikatory drugiego rzędu.
- W Definicji 3.2.1 czy w definicji semantyki kwantyfikatora szczegółowego nie powinno być zastrzeżenia, że $P \neq \emptyset$?
- Na stronie 63. powinien być przecinek między ICL a *jest rozstrzygalna*.

Należy podkreślić, że powyższa lista jest stosunkowo krótka, więc można uznać, iż praca jest napisana dosyć starannie, językiem polskim, który w zasadzie nie budzi żadnych moich wątpliwości. Powyższe niedociągnięcia redakcyjne nie decydują o poprawności uzyskanych wyników.

3 Wnioski

Jak wynika z przeprowadzonego omówienia, praca zawiera ciekawe wyniki. Niewątpliwie rezultaty te są oryginalne i świadczą dobrze o sprawności i kulturze matematycznej oraz o wiedzy kandydatki. Poprawność rozumowań została przeze mnie sprawdzona i treść techniczna zrozumiana na tyle, iż nie mam wątpliwości, że otrzymane wyniki końcowe są poprawne. Pomimo wskazanych powyżej wątpliwości, mogę jednak stwierdzić, że praca **spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim** przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* i wnioskuję o dopuszczenie mgr Anny Glenszczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Warszawa, 21 grudnia 2017
Aleksy Schubert

