

Warszawa, 28 lutego 2017 roku

Prof. dr hab. inż. Jacek Mańdziuk
Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych
Politechnika Warszawska

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba Kowalskiego zatytułowanej *General Game Description Languages*

Niniejsza recenzja została przygotowana na prośbę Dziekana Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego dr. hab. Tomasza Jurdzińskiego, prof. UWr wyrażoną w piśmie z dnia 16 grudnia 2016 roku.

Tematyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa dotyczy zagadnienia General Game Playing (GGP), czyli budowy agentów potrafiących, po odpowiednim procesie autonomicznej nauki / adaptacji, grać w dowolną synchroniczną, skończoną, deterministyczną grę z pełną informacją. Badania dotyczące GGP ulokowane są w dziedzinie sztucznej inteligencji, w dyscyplinie informatyka. Część spośród rozwiązań i wyników badawczych prezentowanych w rozprawie stanowi istotny wkład w rozwój obszaru GGP, a po odpowiedniej adaptacji może być także wykorzystana w kontekstach badawczych wykraczających poza tematykę rozprawy.

Hipotezy badawcze

Czytając rozprawę nie znalazłem jawnego sformułowania tzw. tezy doktorskiej czy hipotez badawczych. Niespełnienie zwyczajowego wymogu definiowania *explicite* hipotez badawczych, mogłoby być zrekomensowane jednoznaczną definicją celu rozprawy, rozumianego jako osiągnięcie (bądź dążenie do osiągnięcia) określonych rezultatów naukowych.

Tego typu sformułowania w rozprawie również nie znalazłem. Dysertacja przedstawia raczej zbiór kilku wątków badawczych dotyczących dziedziny GGP. Cytując stwierdzenie zamieszczone w streszczeniu polskojęzycznym pracy: „Rozprawa ta prezentuje nasz wkład w

rozwój dziedziny GGP złożony z rezultatów badań nad kilkoma konkretnymi problemami dotyczącymi ogólnych języków opisu gier”. Rozprawa nie wskazuje zatem konkretnego „problemu naukowego”, którego „oryginalne rozwiązanie” Autor w niej prezentuje – zgodnie z zapisami odnośnej ustawy (Art. 13).

Treść rozprawy

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, liczy 155 stron, zawiera streszczenie w językach polskim i angielskim, składa się z 8 rozdziałów, 4 dodatków oraz spisu literatury. W rozdziale wprowadzającym Doktorant przybliży zagadnienie GGP, wymienia autorskie wyniki naukowe przedstawione w rozprawie oraz krótko charakteryzuje strukturę pracy.

Rozdział drugi stanowi formalne wprowadzenie do tematyki GGP, w szczególności przedstawione są różne realizacje języków opisujących wybrane klasy gier, począwszy od systemu Metagame odnoszącego się do „symetrycznych gier szachopodobnych” (symmetric chess-like games), poprzez klasę „uproszczonych gier planszowych” (Simplified BoardGames), aż do bazującego na PROLOGu języka opisu gier Game Description Language (GDL). Język GDL został zaproponowany w roku 2005 przez badaczy należących do Stanford Logic Group jako narzędzie opisu gier w ramach corocznych międzynarodowych zawodów GGP organizowanych pod egidą Uniwersytetu Stanforda. Językowi GDL oraz formule GGP poświęcona jest znaczna część rozdziału z uwagi na to, że prace badawcze Autora rozprawy skoncentrowane są przede wszystkim w tym właśnie obszarze. Autor omawia składnię języka oraz przybliży techniczne aspekty przeprowadzania corocznych zawodów GGP. Omówione są także wybrane podejścia stosowane w programach (agentach komputerowych) uczestniczących w kolejnych edycjach zawodów w latach 2005 – 2015. W dalszej części rozdziału Doktorant omawia język Video GDL służący do opisu prostych gier animowanych oraz język Card GDL definiujący gry karciane.

Rozdział napisany jest bardzo dobrze. Autor zdecydowanie posiada głęboką wiedzę dotyczącą omawianych języków opisu gier i widać, że porusza się w omawianej tematyce z dużą swobodą. Nie mam istotnych uwag do tej części pracy, niemniej warto sprostować kilka występujących w niej nieścisłości czy niedopowiedzeń. Po pierwsze, omawiając główne techniki wykorzystywane do budowy graczy GGP Autor nie wspomina o sieciach *propnet*, które stanowiły podstawę sukcesu zwycięzców turnieju w latach 2014-2015. Nieco istotniejsze jest pominięcie na stronie 21 informacji o tym, że optymalna wartość teoretyczna parametru C (wynosząca pierwiastek z 2) jest prawdziwa przy założeniu, że wyniki gier znormalizowane są do przedziału $[0,1]$. Trzecia uwaga dotyczy możliwych wariantów zrównoleglenia metody MCTS/UCT. Obok trzech możliwości wskazanych przez Autora

istnieje jeszcze naturalna metoda hybrydowa łącząca warianty *tree* i *root*, o której wspomina, cytowana przez Doktoranta, praca [207].

Rozdział trzeci omawia zagadnienie uczenia się reguł gier należących do klasy Simplified Boardgames na podstawie obserwacji, tj. analizy zapisów rozegranych gier bądź zapisów gier rozszerzonych o listę możliwych (dopuszczalnych) ruchów w danej pozycji. Rozdział napisany jest w sposób czytelny i formalnie poprawny. Jedyną moją uwagę dotyczy opisu wyników eksperymentalnych, który warto byłoby rozszerzyć o dyskusje dotyczącą doboru parametru K - kluczowego z punktu widzenia opisywanej metody, który jest wybrany w sposób arbitralny.

W rozdziale czwartym rozważane jest zagadnienie automatycznego generowania treści gry (ang. Procedural Content Generation), która spełnia określone wymogi estetyczne i merytoryczne. Autor omawia podstawowe techniki automatycznego generowania zasad gry oraz przedstawia wstępne wyniki własnych badań dotyczących możliwości wykorzystania metod ewolucyjnych w rozważanym zagadnieniu. Ocena osobników w populacji dokonywana jest w oparciu o arbitralnie ustaloną funkcję ewaluacyjną składającą się z 9 komponentów. Składowe te wybrane są zgodnie z intuicją i prawidłowo umotywowane. Jedyną wątpliwość budzi definicja składowej S , która – wydaje się, że błędnie – nie uwzględnia remisów, tzn. rezultaty 2:98:0 oraz 2:0:98 (w/r/p) prowadzą do tej samej oceny (1/50). O ile definicje cech składowych funkcji oceny są w zasadzie zrozumiałe, o tyle dobór współczynników towarzyszących tym składowym nie jest w żaden sposób uzasadniony. Nie wiadomo dlaczego akurat takie wartości współczynników zostały przyjęte ani jaka jest wrażliwość metody na ich dobór. Brakuje także wyników (i ich dyskusji) dotyczących oceny wygenerowanych gier przez ludzi. Skoro celem prac jest wytworzenie gier „przyjaznych” dla ludzi, opieranie się w ocenie metody jedynie na sztuczne skonstruowanej funkcji oceny jest dyskusyjne.

W dalszej części rozdziału przedstawiona jest druga metoda oceny generowanych gier przyjmująca - jako założenie bazowe - stwierdzenie, że gry interesujące (dla ludzi) można zdefiniować jako takie, w których silne algorytmy uzyskują wyniki znacząco lepsze od algorytmów słabych. Przy tych założeniach, Autor porównuje skuteczność procesu ewolucyjnego tworzenia gier w stosunku do metody generowania losowego i porównuje oba podejścia z wynikami oceny kilku wybranych gier szachopodobnych zdefiniowanych przez ludzi. Uzyskane wyniki wskazują na wyraźną przewagę proponowanego podejścia ewolucyjnego nad losowym generowaniem gier w przypadku porównywania wartości średnich dla wszystkich ocenianych gier. Z drugiej strony obie metody prowadzą do zbliżonych wyników w przypadku porównywania wartości maksymalnych uzyskanych dla ocenianych gier. W tym kontekście nasuwa się pytanie czy tego typu eksperymenty realizowane są w celu wytworzenia kolejnych, na przykład, 100 gier szachopodobnych czy raczej chodzi o znalezienie jednej naprawdę interesującej gry tego rodzaju. W pierwszym

przypadku metoda autorska posiada widoczną przewagę, w drugim wyprzedza metodę generowania losowego jedynie nieznacznie.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawia autorskie rozszerzenie języka GDL do wersji rtGDL (Real-time GDL) obejmującej gry, w których występują czynniki zależne od czasu bądź, w których konkretny moment wykonania danej akcji czy wystąpienia zmiany w środowisku gry ma znaczenie. Klasa rtGDL obejmuje gry z nieskończoną liczbą stanów oraz nieskończoną liczbą akcji w danym stanie. W oczywisty sposób stanowi ona nietrywialny nadzbiór klasy gier opisywalnych za pomocą GDL. Warto podkreślić, że tak istotne rozszerzenie uzyskiwane jest poprzez wprowadzenie jedynie dwóch nowych słów kluczowych oraz modyfikację trzech istniejących, odnoszących się bezpośrednio do opisu stanu gry w GDL (init, true, next). Autor omawia szczegółowo ograniczenia syntaktyczne języka rtGDL, formalny model definicji gry, oraz kluczowe aspekty implementacyjne w kontekście zasad rozgrywania potencjalnych turniejów rtGDL (na wzór corocznych zawodów GGP). Rozdział kończą rozważania dotyczące możliwość analogicznego do GDL rozszerzenia klasy gier z niepełną informacją GDL-II (Imperfect-information GDL) do wersji uwzględniającej zdarzenia oznaczone stemplem czasowym (rtGDL-II). Wynikowa klasa gier stanowiłaby najszerszą spośród aktualnie rozważanych klas w środowisku badaczy i entuzjastów General Game Playing.

Omawiany rozdział stanowi (obok rozdziału 7) zdecydowanie najlepszy fragment pracy. Rozszerzenie języka GDL do wersji rtGDL stanowi konkretny, niebanalny i niebudzący wątpliwości wyniki naukowy znacząco rozszerzający zakres dziedziny GGP. Ciekaw jestem czy Autor otrzymał jakiś sygnał zwrotny ze środowiska GGP odnośnie możliwości wykorzystania gier rtGDL w przyszłych turniejach.

Kolejny rozdział dysertacji omawia zagadnienie translacji opisów gier pomiędzy różnymi reprezentacjami (językami opisu). W szczególności Autor przedstawia formalny sposób translacji gier karcianych (opisanych językiem Card Game Description Language) do klasy gier GDL z niepełną informacją (opisywanej językiem GDL-II). W drugiej części rozdziału Autor porównuje skuteczność graczy komputerowych opisanych językiem GDL ze skutecznością gracza wykorzystującego metodę różnic czasowych w klasie gier Simplified Boardgames.

Rozdział napisany jest poprawnie niemniej nie bardzo widoczna jest myśl łącząca obie – dość odległe – omówione wyżej jego części. Z uwag szczegółowych: na stronie 105 Autor wskazuje na możliwość inicjalizacji liczników odwiedzin węzłów w oparciu o lekką obliczeniowo heurystykę w celu uzyskania ich wstępnego posortowania. Warto w tym kontekście zacytować prace [234], która także podejmuje ten wątek. Druga uwaga dotyczy wniosku odnośnie potencjalnych kierunków rozwoju dziedziny GGP. Doktorant sugeruje odejście od pełnej swobody doboru gier GGP na rzecz ich zawężenia do podklas gier, w

których mogłyby brać udział bardziej specjalizowane programy. Oczywiście takie podejście ma swoje zalety, niemniej jego skutkiem byłoby odejście od bazowej idei przyświecającej badaczom GGP, mianowicie uniwersalności metod wykorzystywanych przez programy grające. Osobiście byłbym raczej zwolennikiem istotnego zwiększenia czasów STRAT CLOCK i PLAY CLOCK, dzięki czemu możliwe byłoby zastosowanie bardziej skomplikowanych niż dotychczas mechanizmów nauki (np. sieci neuronowych czy metod ewolucyjnych) bądź znaczące zwiększenie liczby symulacji MCTS/UCT umożliwiające dokładniejsze niż obecnie szacowanie wartości poszczególnych akcji.

W rozdziale 7 Doktorant przedstawia autorską implementację kompilatora języka GDL do języka C++. Z praktycznego punktu widzenia zagadnienie kompilacji gry opisanej w języku GDL do języka znacznie efektywniejszego obliczeniowo ma kolosalne znaczenie i każdy twórca programów startujących w turniejach GGP musi się z nim zmierzyć. Implementacja kompilatora zaproponowana przez mgr Jakuba Kowalskiego jest bardzo efektywna i przyspiesza obliczenia od kilku do kilkudziesięciu razy w porównaniu z podejściami konkurencyjnymi.

Jak wspomniałem wcześniej omawiany rozdział (obok rozdziału 5) stanowi najlepszy fragment pracy i czyta się go z autentyczną przyjemnością. Uzyskane wyniki bez wątpienia potwierdzają istotny wkład badań wykonanych przez Doktoranta w tym zakresie do rozwoju dziedziny General Game Playing.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie wyników przedstawionych w pracy, przypomina podstawowe wnioski płynące z przeprowadzonych badań oraz zarysowuje możliwości kontynuacji prac badawczych w obszarze poruszonych w rozprawie zagadnień.

Rozprawę dopełniają 4 załączniki techniczne oraz spis literatury obejmujący 241 pozycji, z których większość opublikowana została w okresie ostatnich 10 lat. Dobór pozycji bibliograficznych oraz sposób posługiwania się zawartymi w cytowanych pracach wynikami potwierdza pogłębioną wiedzę Autora w zakresie szeroko rozumianej problematyki gier GGP. Szkoda, że do spisu wkradło się trochę błędów. Sprawdziłem – dla przykładu – cytowania kilku moich współautorskich prac i w 4 z nich znalazłem błędy lub braki w opisie.

Oryginalny wkład Autora rozprawy

Oryginalny wkład Autora w ramach rozważanego w rozprawie zagadnienia naukowego dotyczy czterech następujących obszarów:

1. Opracowania oraz implementacji kompilatora języka GDL (dokładniej gier opisanych w języku GDL);
2. Zaproponowania rozszerzenia języka GDL umożliwiającego opis gier rozgrywanych w czasie rzeczywistym, bez formalnego podziału na tury;
3. Opracowanie heurystycznego algorytmu nauki zasad danej gry na podstawie obserwacji (w praktyce analizy archiwalnych zapisów przebiegu gry);
4. Opracowanie metody oceny „jakości” gry wygenerowanej w sposób automatyczny (za pomocą określonej procedury) w oparciu o wyniki uzyskiwane w tej grze przez odpowiednio dobrane programy grające (agentów sztucznej inteligencji).

Wymienione wyżej rezultaty badawcze zostały częściowo opublikowane w ramach trzech konferencji o zasięgu międzynarodowym.

Konkluzja

Pracę doktorską mgr Jakuba Kowalskiego czyta się dobrze. Autor sprawnie operuje językiem angielskim, posiada bogate słownictwo, a poruszane zagadnienia przedstawione są w sposób spójny i logiczny, bazując na formalizmie matematycznym. Liczba błędów literowych czy stylistycznych, które zauważyłem w trakcie czytania bez wątpienia mieści się w „zwyczajowych granicach”.

Na szczególne podkreślenie zasługują rozdziały 5 i 7 zawierające oryginalne i ważne dla rozwoju dziedziny GGP wyniki Autora. Oba wymienione wyżej fragmenty dysertacji odnoszą się do kluczowych aspektów dziedziny GGP ale mogą być także potencjalnie wykorzystane w innych kontekstach badawczych, wykraczających poza ramy rozprawy.

Słabszą stroną rozprawy jest jej konstrukcja i brak hipotez badawczych czy wyraźnie sformułowanej myśli przewodniej. W efekcie praca stanowi dość eklektyczny zbiór rozważań, pomysłów i wyników eksperymentalnych, których wspólny mianownik stanowi zagadnienie General Game Playing.

Wymienione w recenzji uwagi krytyczne nie zmniejszają mojej ogólnie wysokiej oceny dysertacji. Rozprawa dotyczy aktualnej, istotnej i szeroko rozwijanej tematyki badawczej, a jej treść bez wątpienia dowodzi szerokiej wiedzy, dużej pomysłowości badawczej i wysokich kwalifikacji programistycznych jej Autora.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane przez odnośną Ustawę i wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie jej Autora, mgr inż. Jakuba Kowalskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

