dr hab. inż. Piotr A. Kowalski, prof. AGH
Katedra Informatyki Stosowanej i Fizyki Komputerowej,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
email: pkowal@agh.edu.pl

Kraków, 30.10.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Pawła Stawarza pt.
„Wyszukiwanie ścieżek w grach komputerowych w oparciu o dane zebrane o graczach"

1. Uwagi ogólne oraz struktura rozprawy

Prawną podstawą przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Pawła Stawarza jest Umowa z Politechniką Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza reprezentowaną przez Prorektora ds. Nauki Pana Profesora uczelni dr. hab. inż. Lesława Gniewka, którą otrzymałem 25 września 2023 r.

Recenzja została przygotowana na podstawie rozprawy doktorskiej. Przedmiotowa praca została zrealizowana pod kierunkiem Pana prof. ucz. hab. inż. Zbigniewa Świdra, w Katedrze Informatyki i Automatyki, na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Recenzowana rozprawa doktorska przedstawiona została w postaci woluminu wydanego przez Politechnikę Rzeszowską wraz z płytą CD zawierającą treść dysertacji.

Przedmiotem recenzowanej pracy doktorskiej jest obszerna analiza zagadnień związanych z wyszukiwaniem ścieżek w grach komputerowych opierając się na zebranych danych dotyczących zachowania graczy. Niniejsza rozprawa koncentruje się na badaniu gier komputerowych jako specyficznego przypadku wieloagentowych i wieloosobowych środowisk, w których uczestnicy rywalizują ze sobą, jednocześnie angażując się w elementy współpracy. Centralnym punktem jest proces wyszukiwania ścieżek, który sprowadza się do znalezienia optymalnej sekwencji połączonych krawędziami wierzchołków w skierowanym grafie, łączącej punkt początkowy z określonym punktem docelowym. Warto zauważyć, że takie środowisko jest złożone, ze względu na uczestnictwo wielu graczy, których zachowania są trudne do przewidzenia, głównie z powodu ewoluujących taktyk stosowanych przez nich w trakcie rozgrywki.

Temat rozprawy leży na pograniczu różnych dziedzin, w tym teorii grafów, sztucznej inteligencji, projektowania gier komputerowych oraz akwizycji i przetwarzania danych. Głównym celem pracy było opracowanie zaawansowanego algorytmu sterowania agentami w środowisku wieloosobowym i wieloagentowym, który miałby na celu poprawę jakości ścieżek ruchu agentów. Algorytm ten opiera się na informacjach dotyczących poprzednich i bieżących stanów środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem pozycji i akcji podejmowanych przez innych uczestników gry. W efekcie, rozprawa ta ma na celu rozwijanie nowych narzędzi i technik, które mogą być wykorzystane do poprawy jakości rozgrywki w grach komputerowych, a także do lepszego zrozumienia interakcji między graczami w złożonych wieloagentowych środowiskach.

Recenzowana praca doktorska stanowi głęboką analizę problematyki związaną z wyszukiwaniem ścieżek w grach komputerowych. Jej struktura i treść są starannie opracowane, a każdy rozdział wnosi istotny wkład w badania w dziedzinie algorytmów sterowania agentami w kontekście gier komputerowych.

W pierwszym rozdziale, Autor rozpoczyna od wprowadzenia w temat, kontekstualizując go poprzez omówienie kluczowych momentów w historii teorii grafów, wyszukiwania ścieżek oraz sztucznej inteligencji. Przedstawia także istniejące algorytmy używane do rozwiązywania problemów w tej dziedzinie. Rozdział ten zawiera również tezę pracy i określa cele, co stanowi solidne wprowadzenie do głównego tematu rozprawy. Kolejny rozdział, pt. "Problemy w grach komputerowych", zawiera formalną analizę problemów związanych z wyszukiwaniem ścieżek w grach. Doktorant opisuje koncepcję świata gry i jego elementy składowe. Rozważa również wpływ obecności graczy na zachowanie agentów w grach komputerowych oraz analizuje efekt obserwatora. Dodatkowo, podaje przykłady systematyki gier ze względu na różne czynniki, takie jak czas, umiejętności, liczba wymiarów i liczba uczestników. Rozdział ten dostarcza solidne podstawy teoretyczne do zrozumienia problemu. Trzeci rozdział to "Przegląd istniejących rozwiązań". Autor dysertacji dokładnie omawia istniejące algorytmy wyszukiwania ścieżek i sterowania agentami w grach komputerowych. Szczegółowo analizuje takie procedury jak Dijkstra, A*, LPA*, D*, JPS, automaty skończone, drzewa zachowań, Monte Carlo Tree Search i uczenie głębokie. Omawia także algorytmy wsparcia decyzji, w tym mapy wpływów. Ten rozdział stanowi istotne tło dla zaproponowanego rozwiązania w pracy doktorskiej. W czwartym rozdziale, Doktorant prezentuje własny algorytm,

nazwany "algorytmem dynamicznego przewartościowywania krawędzi". Rozpoczyna od koncepcji, która stanowi podstawę algorytmu, a następnie rozwija ją o kluczowe elementy. Algorytm ma na celu polepszenie zachowania agentów w grach na podstawie danych przestrzennych związanych z wydarzeniami w świecie gry. Przeprowadza również weryfikację algorytmu na modyfikowanych danych w wieloagentowym środowisku testowym, co dowodzi praktycznej użyteczności proponowanego podejścia. Piąty rozdział, "Dane i środowiska testowe", skupia się na omówieniu danych i środowisk wykorzystanych do testowania analizowanych algorytmów. Kandydat podaje ograniczenia wynikające z charakterystyki algorytmów oraz dostępność odpowiednich danych i środowisk. Rozdział ten dostarcza kontekstu do eksperymentów przeprowadzonych w pracy. W rozdziale szóstym, Doktorant prezentuje dwa autorskie środowiska testowe, które posłużyły do weryfikacji tezy pracy. Pierwsze z nich jest prostym środowiskiem jednoosobowym, a drugie stanowi bardziej złożone, wieloosobowe środowisko. Autor szczegółowo opisuje klasy i komponenty tych środowisk oraz ich rolę w badaniach. Przedstawienie tych środowisk stanowi praktyczną demonstrację działania algorytmów w różnych scenariuszach. Siódmy rozdział stanowi podsumowanie przeprowadzonych badań i wyników. Natomiast w ostatniej ósmej cześci Autor przypomina tezę pracy, problem badawczy oraz narzędzia autorskie użyte do weryfikacji tezy. Ponadto podaje sugestie dotyczące potencjalnych kierunków dalszych badań w tej dziedzinie. Na samym końcu rozprawy występuje spis rysunków, skrótów, symboli oraz tabel, po czym spis pozycji bibliograficznych, które zostały użyte w recenzowanym dziele. Całość pracy obejmuje 163 stron.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy oraz aspektu badawczego

Rozprawa doktorska Pana mgr. Pawła Stawarza opiera się na dysertacji, w której tezę określono jako:

„Możliwe jest zwiększenie jakości ścieżki agenta w wieloosobowych i wieloagentowych środowiskach poprzez wykorzystanie danych o przeszłych i bieżących działaniach podejmowanych przez innych uczestników",

Dodatkowo sprecyzowano następujący cel pracy: *„stworzenie autorskiego algorytmu dynamicznego przewartościowywania krawędzi, wykorzystującego osadzanie informacji o zdarzeniach mających miejsce w trakcie rozgrywki na grafie mapy gry. Efektem pracy tego algorytmu jest ścieżka, która bierze pod uwagę preferencje*

konkretnych graczy i dostosowuje ścieżkę agenta do ich działań. Pomocniczymi celami było opracowanie dwóch autorskich środowisk testowych, dedykowanych do przeprowadzonych badań testowych.".

W pracy można wyróżnić wykonanie globalnych zadań, często o charakterze nowatorskim. Jednym z głównych jest wprowadzenie algorytmu dynamicznego przewartościowywania krawędzi (Dynamic Graph Reweighting) przeznaczonego do pracy z grafami, którego celem jest wielokryterialna optymalizacja ścieżki ruchu agenta, a kryteriami optymalizacji jest zarówno koszt ruchu jak i wiarygodność ścieżki.

Cała struktura pracy jest logiczna i dobrze ustrukturyzowana, a omówienie poszczególnych zagadnień jest dokładne i dogłębne. Praca wydaje się wnosić istotny wkład w dziedzinę wyszukiwania ścieżek w grach komputerowych oraz algorytmów sterowania agentami. Autor dokładnie opisuje zarówno istniejące rozwiązania, jak i własny algorytm, a także przeprowadza solidną weryfikację swoich rozważań. Praca jest dobrze przygotowana i może stanowić cenne źródło wiedzy dla badaczy zainteresowanych tym obszarem.

3. Ocena rozprawy

a. Uwagi krytyczno-polemiczne:

W niniejszej cześć pokrótce przedstawione zostaną główne mankamenty dysertacji. Ze względu na istotność tejże części recenzji niniejsze uwagi zostaną przedstawione w punktach, do których łatwiej będzie się odnieść Doktorantowi.

1. W rozdziale 2, w części 2.1.2 zostało stwierdzone że: „Uczestników gry można podzielić na dwa rozłączne podzbiory zawierające ludzi oraz agentów sterowanych przez sztuczną inteligencję i zdefiniowane tak, jak zaprezentowano w równaniu (2.7). Zbiór H jest zbiorem zawierającym wyłącznie ludzi, zaś zbiór A wyłącznie agentów." Następnie w trzeciej części równania (2.7) użyty został operator przecięcia się zbiorów A oraz H wskazując P jako wynik tej operacji. W myśl pierwszej części zacytowanej tu sentencji, zbiór ten powinien być zbiorem pustym, co stoi w sprzeczności z równaniem (2.6).
2. Szkoda że Doktorant w przypadku opisu stempli czasowych (Rozdział 2) nie sformalizował w jaki sposób są one umieszczone w aparcie formalnym gry. Ponadto w poszczególnych składowych do równania (2.9) czas praktycznie jest nie wprowadzony. Dopiero wyłącznie w opisie (2.9) delikatnie jest wprowadzony czas w

następujący sposób „Stan gry w pewnej chwili t oznaczony zostanie symbolem S(t).", ale samo równinie (2.9) wspomnianego czasu już nie posiada wyróżnionego.

3. Na końcu dysertacji – oprócz listy skrótów oraz użytych symboli – warto zdefiniować w jaki sposób są rozumiane pewne operatory w szczególności nawiasy. Doktorant używa w pracy {}, () oraz *nazwa*(), ale nie do końca wiadomo czym różni się zapis {} od () ?
4. Dlaczego w równaniu (2.10) występuje p skoro jego komponentą jest S, które to składa się z P ?
5. W dysertacji na stronie 48 znajduje się rysunek przedstawiający „schemat przykładowej sieci neuronowej", jednak niejasnym jest, jaki jest jego cel w pracy? Podrozdział, w którym ten rysunek jest cytowany nazwany został „Uczenie głębokie", które w żaden sposób nie nawiązuje do przedstawionej topologii, która zakłada sieć z dowolną liczbą warstw w pełni połączonych (fully connected), a wiadomym jest, że takie podejście zostało zarzucone wiele lat temu ze względu na zbyt dużą złożoność obliczeniową.
6. W pracy, brakuje podjęcia tematu złożoności obliczeniowej (czasowej i pamięciowej) proponowanego algorytmu oraz nawiązania owej analizy do innych istniejących podobnych rozwiązań algorytmicznych.

b. Uwagi szczegółowe i techniczne

W ramach tego punktu, muszę podkreślić bardzo staranne i przemyślane przygotowanie całego woluminu z pracą doktorską. Oczywiście można tu wskazać kilka uwag związanych z pojedynczym nałożeniem się oznaczeń używanych symboli czy dość skąpym opisem pewnych części pracy. Dla przykładu podam, że na stronie 52, Doktorant używa oznaczenia p jako współczynnika propagacji a w rozdziale 2 notacja ta została przypisana poszczególnym uczestnikom gry. W tym miejscu jednak chciałbym również zaznaczyć, iż Doktorant w pracy używa personifikacji np. stwierdzając iż „Literatura wspomina wiele algorytmów ...". Autor również nie ustrzegł się nielicznych mankamentów natury technicznej takich jak błędy interpunkcyjne czy też pomyłki w oznaczeniach (o których nadmieniano wcześniej), itp. jednak w żadnej mierze nie rzutują one na relatywnie wysoką ocenę pracy.

c. Ocena ogólna

Doktorant bardzo dobrze rozumie pojęcie oraz zakres procedur przeznaczonych do pracy z grafami zarówno w ujęciu ogólnym, jak i w badanym kontekście. W szczególności potrafi: opisać ich cechy i własności, syntetyzować algorytmy pozwalające na głęboką analizę własności proponowanych rozwiązań , przedstawić wyniki analizy, oraz wybrać i omówić możliwe do zastosowania procedury. Sposób sformułowania problemu badawczego, przedstawiony w dysertacji, świadczy o dojrzałości naukowej Autora. Analizowany w pracy problem jest bardzo dokładnie sprecyzowany. Warto również dodać, że – realizując pracę – Pan mgr inż. Paweł Stawarz wykazał się solidnym warsztatem informatycznym polegającym na samodzielnym zaprogramowaniu głównych algorytmów. Takie umiejętności są niezmiernie istotne, gdyż potwierdzają, że jest On niezależnym naukowcem. Ponadto uważam, że wykonane przez Niego eksperymenty, których liczba jest znaczna, świadczą, że Kandydat ma szczególne predyspozycje do pracy badawczej. Potrafi dobrać odpowiednie wskaźniki oceny jakości modeli, zilustrować wyniki na rysunkach, przedstawić ważne rezultaty w tabelach i wyciągnąć istotne wnioski. Dodany do pracy opis matematyczny powoduje, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska jest kompletna i w pełni wartościowa.

4. Podsumowanie

Recenzowana praca doktorska jest przykładem oryginalnego rozwiązania ciekawych zagadnień praktycznych. Do ich rozwiązania Autor rozprawy wykorzystał we właściwy sposób zaawansowane narzędzia informatyki jakimi są algorytmy działające na danych grafowych. Świadczy to o Jego dużej kompetencji w praktycznym posługiwaniu się narzędziami współczesnej informatyki. Niewątpliwie cennym jest umieszczenie pewnych zasobów w ogólnodostępnych repozytoriach, co daje możliwość na wykorzystanie ich zarówno w innych badanych zagadnieniach jak i pozwala na porównanie wydajności i efektywności innych procedur. Uzyskane w pracy wyniki uważam za niewątpliwie oryginalną (nowatorską) propozycję rozwiązania zagadnień technicznych, które zostały wielokrotnie zweryfikowane na drodze rzetelnie przeprowadzanych analiz walidacyjnych. Można zatem uznać, że recenzowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy projektowo-naukowej, o której mówi bieżąca Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Konkludując uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Stawarza zdecydowanie spełnia wymagania stawiane w odpowiednich przepisach rozprawom doktorskim i wobec tego stawiam wniosek o jej dopuszczenie do dalszych, przewidzianych Ustawą, etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Piotr Kowalski

dr hab. inż. Piotr A. Kowalski, prof. AGH