

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr. inż. Karola Walendzika**

pt. „Połączenie algorytmów symulacyjnych oraz dziedzinowych metod heurystycznych  
w zagadnieniach dynamicznego podejmowania decyzji”

Opiniowana rozprawa wpisuje się w nurt badań operacyjnych i sztucznej inteligencji związanych z heurystycznym przeszukiwaniem przestrzeni rozwiązań w złożonych problemach decyzyjnych.

Jedną z technik realizujących powyższe zadanie jest technika symulacyjna Monte Carlo realizująca przeszukiwanie po drzewach. Technika ta, zwana pod nazwą UCT (*Upper Confidence bounds applied to Trees*), odniosła szczególne sukcesy w konstrukcji agentów grających w gry dwuosobowe, przede wszystkim Go.

Autor rozprawy skoncentrował się na łączeniu algorytmu UCT z dziedzinowymi metodami heurystycznego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań w zagadnieniach dynamicznego podejmowania decyzji, czyli podejmowania serii potencjalnie zależnych od siebie decyzji w otoczeniu, które zmienia się w czasie, zarówno w efekcie wykonywanych akcji jak i autonomicznie – w wyniku procesów, na które decydent nie ma wpływu. Celem tego łączenia było uzyskanie efektu synergii prowadzącego do bardziej efektywnego wyznaczania strategii decyzyjnych w dwóch zagadnieniach: budowa inteligentnego agenta *General Game Playing* (GGP), prowadzącego deterministyczne gry jedno- i wieloosobowe z pełną informacją, oraz zarządzanie projektem przy ograniczonych zasobach z uwzględnieniem ryzyka (ang. *Risk-Aware Project Scheduling Problem* – RAPSP).

Jest to ważna problematyka badawcza, także z punktu widzenia potencjalnych zastosowań, zatem w opinii recenzenta może stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej.

Podczas, gdy podstawowym celem autora było zaproponowanie i weryfikacja nowych sposobów łączenia metod heurystycznych i symulacyjnych w skuteczne rozwiązania hybrydowe na przykładzie GGP i RAPSP, zadania szczegółowe zostały sformułowane następująco:

- (i) Konstrukcja skutecznego agenta GGP, uzyskującego w grach dwuosobowych średnie wyniki lepsze niż referencyjna implementacja gracza oparta na algorytmie UCT z heurystyką historyczną.
- (ii) Opracowanie i porównanie kilku sposobów konstrukcji agenta GGP.
- (iii) Zaproponowanie nowej dynamicznej odmiany problemu harmonogramowania projektów, uwzględniającej ryzyko projektowe (RAPSP).
- (iv) Opracowanie i porównanie kilku strategii rozwiązywania RAPSP, w tym strategii hybrydowych.

Treść rozprawy podporządkowana jest powyższym zadaniom. Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów i załączników zawierających opisy gier oraz agenta GGP w różnych konfiguracjach, oraz implementacje programowe zaproponowanych rozwiązań.

Realizację zadań (i)-(ii) przedstawia rozdział 4. Zawiera on opis agenta GGP o nazwie *Magician*, na który składają się sposoby budowy przez agenta funkcji ewaluacyjnych, wykorzystywane przez niego algorytmy przeszukiwania oraz wyniki eksperymentów weryfikujących jego siłę gry.

Realizacja zadań (iii)-(iv) opisana jest w rozdziałach 5 i 6. W pierwszym z nich przedstawiono problemy harmonogramowania projektów z ograniczonymi zasobami oraz algorytmy ich rozwiązywania, które autor wykorzystał w badaniach. Rozdział następny poświęcony jest zagadnieniu harmonogramowania projektów z uwzględnieniem ryzyka (RAPSP). Zawiera on propozycję pięciu strategii harmonogramowania oraz opis eksperymentów weryfikujących ich skuteczność.

Pracę kończy rozdział 7 podsumowujący wyniki rozprawy. Donosi on, że w przypadku agenta GGP, dla części rozpatrywanych gier możliwa jest automatyczna budowa dość efektywnej funkcji ewaluacyjnej biorącej pod uwagę wyniki symulacji i ich korelacje z wynikami gry. Porównanie dwóch nowych metod przeszukiwania drzewa gry pokazuje, że ich skuteczność zależy w dużej mierze od jakości wygenerowanej funkcji ewaluacyjnej oraz złożoności gry (w stosunku do limitu czasu dostępnego na ruch), jednak zazwyczaj osiągają one wyniki lepsze niż bazowy algorytm UCT. W przeprowadzonych eksperymentach hybrydowy

algorytm Guided UCT okazał się silniejszy od bazowego UCT w co najmniej 3 z 5 badanych gier. Jednocześnie dla ograniczeń czasowych od 15s do 30s dominował we wszystkich grach poza Othello, która została celowo uwzględniona jako ta, dla której badane podejście najgorzej radzi sobie z konstrukcją funkcji ewaluacyjnej. Można zatem wyciągnąć uśredniony wniosek, potwierdzający hipotezę o możliwości budowy algorytmu hybrydowego o średniej skuteczności wyższej od standardowej metody UCT z heurystyką historyczną. Natomiast w przypadku RAPSP, hybrydowa metoda łącząca Proactive UCT i GRASP skutecznie połączyła zalety obu podejść. Podział odpowiedzialności pomiędzy metodę UCT (zarządzanie ryzykiem) a dziedziczną metodę heurystyczną (harmonogramowanie zadań) pozwolił na osiągnięcie rezultatów lepszych niż w przypadku poszczególnych metod składowych działających samodzielnie.

Rozprawa napisana jest na ogół poprawnym językiem choć nie jest łatwa w czytaniu. Zawiera wszystkie niezbędne składowe rozprawy doktorskiej: przegląd problematyki, ukazanie celowości podejścia hybrydowego dla uzyskania efektu synergii, realizację tego podejścia w odniesieniu do dwóch znaczących zagadnień badań operacyjnych i sztucznej inteligencji, oraz weryfikację hipotezy synergii w eksperymencie obliczeniowym dla szeregu wariantów hybrydyzacji.

Wyniki badań przedstawione w rozprawie zostały już przez autora opublikowane w szeregu artykułach przedstawionych na konferencjach międzynarodowych, w szczególności na trzech konferencjach IEEE, w serii *Lecture Notes in Computer Science and Artificial Intelligence* Springera oraz w czasopiśmie *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games* oraz *Expert Systems*.

Wobec powyższego z pewnością można uznać, że cel rozprawy został osiągnięty.

Nie kwestionując wartości wyników zawartych w rozprawie zgłaszam poniżej kilka uwag i pytań dyskusyjnych:

- a. W części dotyczącej konstrukcji agenta grającego w szachy lub Othello, autor porównuje swoją propozycję algorytmu hybrydowego GUCT z bazowym algorytmem UCT z heurystyką historyczną, natomiast nie porównuje skuteczności GUCT z komercyjnymi i dość popularnymi programami specjalizowanymi do prowadzenia tych gier, typu Chess Assistant lub FRITZ. Czy wiadomo autorowi jak zachowałby się jego algorytm w tej konfrontacji?

- b. Algorytm GRASP dla problemu RAPSP w swej koncepcji zawiera już element symulacji, czy zatem dodanie do GRASP algorytmu symulacyjnego Proactive UCT nie jest dublowaniem funkcji symulacyjnych?
- c. W przypadku RAPSP, ryzyko, a nawet „zbiór ryzyk” zdefiniowany jest w dość wirtualny sposób (choć autor na str. 104 obiecuje szczegółową definicję). Jakie konkretnie dane o ryzyku autor uważa za dostępne w badanym zagadnieniu (np. dane o prawdopodobieństwie awarii maszyny lub absencji pracowników stanowiących ograniczony zasób niezbędny do realizacji projektu) ? Dlaczego nie zostały one skonkretyzowane ?

Inne uwagi szczegółowe przekazałem autorowi bezpośrednio w trakcie seminarium z jego udziałem, które odbyło się w Poznaniu, w dniu 4 kwietnia br., w Zakładzie Inteligentnych Systemów Wspomagania Decyzji Instytutu Informatyki Politechniki Poznańskiej.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Walendzika stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i świadczy o nabyciu przez jej autora istotnej wiedzy i umiejętności samodzielnego prowadzenia badań, wobec czego wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

