

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Krzysztofa Magiery**

Przedmiotem rozprawy jest złożoność obliczeniowa oraz algorytmy dla problemów kontroli wyborów w ograniczonych dziedzinach. Istotnym fragmentem tego zagadnienia jest złożoność obliczeniowa oraz algorytmy dla rozstrzygania czy dany profil preferencji należy do ograniczonej dziedziny zadanego typu. Problem ten jest również rozważany w pracy.

Wybór społeczny to dziedzina nauki rozwijana w ramach ekonomii i nauk politycznych, a w ostatnich czasach również w informatyce. Zajmuje się ona problemem wyboru alternatyw lub rankingu alternatyw na podstawie preferencji wielu agentów. Problem ten pojawia się w sposób naturalny w systemach wieloagentowych i w rozproszonej sztucznej inteligencji, gdzie zachodzi potrzeba dokonywania takich wyborów w sposób zdecentralizowany. Jedną z dziedzin wyboru społecznego, rozwijaną w ramach informatyki, jest obliczeniowy wybór społeczny, zajmujący się między innymi obliczeniowymi własnościami różnych metod wyborczych. Dziedzina ta jest intensywnie rozwijana zwłaszcza w ramach sztucznej inteligencji jak i w badaniach na styku informatyki i ekonomii. Wyniki osiągnięte w pracy stanowią wkład w tę dziedzinę badań.

Rozprawa napisana jest w języku angielskim, liczy 118 stron, składa się z siedmiu rozdziałów, streszczeń w języku angielskim i polskim, oraz liczącej 96 pozycji bibliografii.

Pierwsze dwa rozdziały pracy mają charakter wstępny. W Rozdziale 1 przedstawiono krótki wstęp do problemu wyboru społecznego, kontroli wyborów oraz jej złożoności obliczeniowej. Rozdział zawiera również przegląd literatury oraz streszczenie wkładu pracy w badania nad problemem kontroli wyborów. Rozdział 2 zawiera formalne definicje podstawowych pojęć używanych w pracy. Kolejne cztery rozdziały zawierają wyniki osiągnięte w pracy. Każdy z tych rozdziałów zawiera wprowadzenie dodatkowych pojęć w nim używanych, przegląd literatury związanej z problemami badanymi w rozdziale oraz informacje o wkładzie autora w publikacje związane z rozdziałem i wyjaśnienia w przypadku, gdy wyniki zostały osiągnięte przez innych naukowców.

Rozdział 3 dotyczy problemu rozstrzygania czy zadany profil preferencji należy do zadanej ograniczonej dziedziny. W rozdziale rozważane są dziedziny preferencji jednowierzchołkowych, z pojedynczym przecięciem oraz preferencji „top-monotonic”. Jest to moim zdaniem najlepszy rozdział pracy, zarówno pod względem znaczenia i trudności osiągniętych wyników jak i prezentacji materiału. W pracy pokazano, że problem rozstrzygania przynależności do każdego z typów ograniczonych dziedzin jest rozwiązywalny w czasie wielomianowym. Wszystkie wyniki osiągnięto tą samą techniką, poprzez redukcję do problemu SAT-2CNF. Podejście to jest bardzo naturalne i przejrzyste, ponieważ formalne definicje własności jednowierzchołkowości, pojedynczego przecięcia oraz własności „top-monotonicity” dają się wyrazić w klarowny sposób przy pomocy formuł 2CNF.

Ponadto rozwiązanie problemu spełnialności pozwala na odtworzenie liniowego porządku alternatyw, bądź agentów, w przypadku własności pojedynczego przecięcia, istotnych z punktu widzenia problemów kontroli wyborów, rozważanych w kolejnych rozdziałach. Naturalność przyjętego podejścia wcale nie oznacza, że wyniki i konstrukcje użyte do rozwiązania problemu przynależności są proste. Zwłaszcza główny wynik rozdziału, pokazanie, że problem stwierdzania czy dany profil preferencji spełnia własność „top-monotonicity” jest rozwiązywalny w czasie wielomianowym, wymaga skomplikowanej konstrukcji i złożonego dowodu. Dzięki temu, że konstrukcja rozdziału jest bardzo dobrze przemyślana, dowód głównego wyniku oraz całe podejście do rozstrzygania przynależności do ograniczonych dziedzin oparte o redukcję do SAT-2CNF przedstawione są w sposób przystępny i przejrzysty. Autor wykorzystuje prostsze problemy, rozstrzygania przynależności do dziedziny preferencji jednowierzchołkowych oraz przynależności do dziedziny preferencji z pojedynczym przecięciem, do przedstawienia głównych idei metody. Dowód dla dziedzin spełniających warunek „top-monotonicity” przedstawiony jest najpierw dla dziedziny narcystycznych profili preferencji, a dopiero później dla dowolnych dziedzin profili preferencji wejściowych. Dodatkowo autor ilustruje kolejne kroki użytej konstrukcji starannie dobranymi przykładami. Cały rozdział czyta się z przyjemnością, a sposób w jaki został napisany demonstruje dojrzałość doktoranta i zasługuje na pochwałę. Należy również dodać, że wyniki rozdziału zostały opublikowane w artykule w jednym z najlepszych czasopism z dziedziny sztucznej inteligencji, Journal of Artificial Intelligence Research.

Rozdział 4 dotyczy problemu kontroli wyborów w dziedzinach z pojedynczym przecięciem (lub ich odpowiedniku, w przypadku głosowań opartych o aprobatę). Dokładniej, w tym rozdziale rozważane są dwa rodzaje modyfikacji wyborów: modyfikacja zbioru kandydatów (dodawanie albo usuwanie nie więcej niż zdanej liczby kandydatów) oraz modyfikacja zbioru alternatyw (dodawanie albo usuwanie nie więcej niż zadanej liczby alternatyw). Celem modyfikacji wyborów jest sprawienie by wskazany kandydat został jedynym zwycięzcą (konstruktywny wariant kontroli wyborów) lub nie był jedynym zwycięzcą (destruktywny wariant kontroli wyborów). W rozdziale rozważana jest reguła większościowa, reguła Condorceta oraz głosowanie oparte o aprobatę. W przypadku reguły większościowej rozważane są problemy kontroli poprzez dodawanie albo usuwanie kandydatów. Pokazano, że zarówno problem konstruktywnej jak i destruktywnej kontroli wyborów jest dla tej reguły rozwiązywalny w czasie wielomianowym, zarówno w przypadku dodawania jak i usuwania kandydatów. W przypadku problemu destruktywnej kontroli przez dodawanie kandydatów algorytm oparty jest na obserwacji, że cel kontroli można osiągnąć przez dodanie co najwyżej trzech kandydatów. Daje to podstawę dla prostego algorytmu przeglądającego wszystkie trzy-elementowe podzbiory zbioru kandydatów. W przypadku problemów konstruktywnej kontroli użyto eleganckiej metody opartej o redukcje Turinga do pewnego ograniczonego problemu związanego z dodawaniem kandydatów. Algorytm dla ograniczonego problemu oparty jest o programowanie dynamiczne. Problem destruktywnej kontroli przez usuwanie kandydatów rozwiązany jest przy użyciu podobnej metody. W przypadku reguły Condorceta rozważany jest konstruktywny problem kontroli wyborów zarówno poprzez dodawanie jak i poprzez usuwanie głosujących. W obu przypadkach problem rozwiązywalny jest w czasie wielomianowym w oparciu o twierdzenie o wyborcy medianowym. W przypadku wyborów opartych o aprobatę dziedziny preferencji z pojedynczym przecięciem nie są adekwatne. W związku z tym autor rozważa odpowiednik tej własności dla wyborów aprobatowych, tak zwaną własność przedziałową dla

głosujących. W rozdziale pokazano, że konstruktywny problem kontroli wyborów zarówno poprzez dodawanie jak i poprzez usuwanie głosujących rozwiązywalny jest w czasie wielomianowym. Algorytmy zaproponowane dla obu przypadków oparte są o programowanie zachłanne. Podobnie jak Rozdział 3, Rozdział 4 napisany jest z dużą dbałością o przejrzystość i zrozumiałość proponowanych metod, algorytmów i argumentów użytych w dowodach. Między innymi wszystkie kluczowe kroki przedstawionych konstrukcji zilustrowane są starannie dobranymi przykładami (aczkolwiek jeden z przykładów wymienionych w rozdziale nie znajduje się w pracy). Wyniki rozdziału opublikowane zostały na konferencji AAMAS, flagowej konferencji dziedziny systemów wieloagentowych.

Rozdział 5 dotyczy zliczania dopuszczalnych modyfikacji zbiorów kandydatów bądź głosujących pozwalających na osiągnięcie konstruktywnego lub destruktywnego celu kontroli wyborów. W rozdziale rozważana jest jednowierzchołkowa dziedziną profili preferencji oraz trzy metody wyborcze: metoda większościowa, wybory  $k$ -aprobatowe oraz metoda Condorceta. Dopuszczalne modyfikacje jakie brano pod uwagę w tym rozdziale to dodawanie bądź usuwanie nie większej niż zadana liczby kandydatów bądź głosujących. Wyniki dla metody większościowej są niemal natychmiastowymi wnioskami z istniejących wyników bądź wyników osiągniętych dla wyborów 1-aprobatowych. Dla wyborów  $k$ -aprobatowych pokazano, że liczba dopuszczalnych modyfikacji zbiorów kandydatów prowadzących do osiągnięcia konstruktywnych bądź destruktywnych celów może zostać obliczona w czasie wielomianowym. Podobny wynik pokazano dla analogicznych modyfikacji zbioru głosujących. Dla wszystkich przypadków podano algorytmy oparte na programowaniu dynamicznym, pozwalające na wyznaczenie liczby dopuszczalnych modyfikacji. W przypadku metody Condorceta analogiczny wynik uzyskano dla modyfikacji zbioru głosujących. Tu również podano algorytmy oparte na programowaniu dynamicznym. Ze wszystkich czterech rozdziałów zawierających wyniki pracy prezentacja tego rozdziału jest najłabsza. Treść dowodów jest bardzo gęsta, wprowadzonych jest w nich wiele oznaczeń, które w ostateczności prowadzą do dość skomplikowanych formuł rekurencyjnych stanowiących podstawę zaproponowanych w dowodach algorytmów opartych na programowaniu dynamicznym. Autor nie zadbał tym razem o przykłady bądź wyjaśnienia w języku naturalnym konstrukcji użytych w dowodach. Drobną niedogodnością jest również brak definicji wyborów  $k$ -aprobatowych. Wyniki dla wyborów  $k$ -aprobatowych zostały niezależnie uzyskane przez innego naukowca, co zostało dokładnie wyjaśnione w podrozdziale „Acknowledgements”.

Rozdział 6 dotyczy złożoności problemu kontroli wyborów z wieloma zwycięzcami, w wyniku których wyłaniany jest komitet o zadanym rozmiarze. Celem konstruktywnej kontroli wyborów jest w tym przypadku zapewnienie, że wskazany kandydat należy do zwycięskiego komitetu. Celem destruktywnej kontroli wyborów jest zapewnienie, że wskazany kandydat nie należy do zwycięskiego komitetu. W rozdziale rozważane są dwie metody wyborcze: wybory oparte o aprobatę oraz wybory oparte o aprobatę ułamkową (ang. *satisfaction approval voting*). Rozważana jest jedynie kontrola wyborów poprzez usuwanie głosujących bądź kandydatów. W przypadku głosowania opartego o aprobatę pokazano, że problem destruktywnej kontroli poprzez usuwanie głosujących jest NP-trudny. W przypadku głosowania opartego o aprobatę ułamkową pokazano, że problem destruktywnej kontroli poprzez usuwanie kandydatów lub poprzez usuwanie głosujących jest NP-trudny oraz, że taką złożoność mają również problemy konstruktywnej kontroli poprzez usuwanie kandydatów bądź usuwanie głosujących. Wszystkie wyniki uzyskane są dość standardowymi technikami przez redukcję z problemu Exact 3-Set Cover. W czasie powstawania

pracy wyniki tego rozdziału zostały uzyskane niezależnie przez innego naukowca. Jest to dokładnie wyjaśnione w podrozdziale „Acknowledgements”.

Rozprawa zredagowana jest bardzo starannie, z dbałością o styl i przejrzystość. Język angielski, w którym napisano rozprawę, jest ogólnie bardzo dobry (poza drobnymi usterkami). Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością zagadnień wyboru społecznego oraz technik używanych w obliczeniowym wyborze społecznym. Metody zaproponowane w Rozdziałach 3 i 4 demonstrują jego pomysłowość a sama prezentacja materiału umiejętność przekazywania złożonych pomysłów. Wyniki z tych rozdziałów zostały bardzo dobrze opublikowane.

Rozprawa spełnia wszystkie zwyczajowe i formalne warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr. Krzysztofa Magiery do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Marcin Dziubiński