

Recenzja osiągnięcia naukowego
“Algorytmy metaheurystyczne dla problemów ochrony grafów
przed zagrożeniami”
autorstwa dr inż. Krzysztofa Michalaka

Niniejszą recenzję przygotowałem w związku z powierzeniem mi przez Radę Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej roli recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr inż. Krzysztofa Michalaka.

Charakterystyka osiągnięcia

Osiągnięciem przedłożonym przez dr Michalaka jest cykl publikacji zatytułowany "Algorytmy metaheurystyczne dla problemów ochrony grafów przed zagrożeniami". Cykl składa się z 16 prac (A1-A16) i obejmuje **trzy wątki tematyczne**:

- 1. Metaheurystyczne algorytmy optymalizacji dla klasy problemów rozprzestrzeniania się zagrożeń w grafach.**
- 2. Metaheurystyczne algorytmy optymalizacji wspierane uczeniem maszynowym dla problemów rozprzestrzeniania się zagrożeń w grafach.**
- 3. Zastosowania proponowanych algorytmów do problemów rzeczywistych.**

Klasa problemów ochrony grafów przed zagrożeniami jest dobrze zdefiniowaną kategorią zadań optymalizacji, sformalizowaną w latach 1990-tych, która nadaje się do modelowania i rozwiązywania nietrywialnych problemów rzeczywistych, takich jak optymalizacja strategii gaszenia pożarów, minimalizacja konsekwencji upadłości firm, czy optymalizacja kosztów utrzymania ochrony przed cyberatakami. W związku z tym cykl jednoznacznie wpisuje się w dyscyplinę Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, a dokładniej w podobszary sztucznej inteligencji, algorytmów metaheurystycznych, optymalizacji i badań operacyjnych.

W ramach wątku 1, Kandydat zaproponował kilka nowatorskich algorytmów dedykowanych do rozwiązywania problemów ochrony grafów oraz rozszerzeń/generalizacji istniejących podejść, bazujących głównie na metaheurystyce obliczeń ewolucyjnych. Dotyczyły one m.in.:

- ujęcia wielokryterialnego (gdzie z każdym wierzchołkiem grafu związana jest więcej niż jedna kategoria wartości, np. wartość ekonomiczna, kulturalna, etc.) [A01],

- ewolucyjnej optymalizacji wielopopulacyjnej, która pozwala na częściową dekompozycję problemu [A02],
- uogólnienia pierwotnie deterministycznego ujęcia problemu ochrony grafu do modelu stochastycznego [A03],
- projektowania dedykowanych do problemu operatorów przeszukiwania i wariantów algorytmów, w tym operatorów krzyżowania bazujących na symulacjach antycypowanych efektów dalszego rozprzestrzeniania się zagrożenia [A04, A05],
- wariantów algorytmów optymalizacji w których optymalizacji podlegają nie tylko kryteria, ale także ograniczenia zasobowe dotyczące maksymalnej liczby jednocześnie chronionych węzłów [A06].

Proponowane warianty i rozszerzenia są w mojej ocenie dobrze uzasadnione i przemyślane; w szczególności z punktu widzenia zastosowań rzeczywistych, ujęcie stochastyczne, z racji obecności nieznanymi zmiennymi zakłócającymi jest bardziej realistyczne od wariantu deterministycznego. Podobnie zasadne jest uwzględnienie wielu kryteriów których nie da się trywialnie zagregować do jednej wielkości skalarnej. Kandydat przetestował proponowane algorytmy na znacznej liczbie problemów testowych (benchmarków) i konfrontował je podejściami referencyjnymi znanymi z literatury przedmiotu (m.in. Estimation of Distribution Algorithm, algorytmy mrówkowe, algorytm ewolucyjny, przeszukiwanie lokalne), uzyskując interesujące wyniki, często wskazujące na adekwatność i przewagę autorskich propozycji.

W ramach wątku 2, dr Michalak zaproponował szereg podejść angażujących uczenie maszynowe (UM) do wspomagania procesu rozwiązywania instancji problemów z rozważanej klasy. Podejścia te zasadzają się na uczeniu modelu UM na efektach modyfikacji roboczych rozwiązań gotowymi operatorami (efektach w sensie polepszania/pogarszania jakości rozwiązań). Tak pozyskana wiedza dziedziczona, zmaterializowana w nauczonym modelu, jest następnie wykorzystywana przez Kandydata w kolejnych przebiegach algorytmu ewolucyjnego na różne sposoby, m.in. do:

- inicjalizacji populacji początkowej [A07],
- ukierunkowywania operatorów przeszukiwania na podstawie atrybutów charakteryzujących graf w otoczeniu danego wierzchołka, w tym:
 - decydowania o ochronie wierzchołków grafu w danej iteracji symulacji, za pomocą ukierunkowanego uczeniem maszynowym operatora mutacji [A08],
 - kolejności w której powinny być chronione, poprzez sterowanie zachowaniem operatora krzyżowania [A09].

Prace z tej części wątku ilustrowały działanie proponowanych algorytmów m.in. na problemie optymalizacji szczepień, gdzie rozważany graf modeluje sieć kontaktów pomiędzy osobami [A08, A10] i na problemie gaszenia pożarów [A09]. Rozszerzenia prezentowane w pracach [A07-A09] zostały następnie wspólnie wykorzystane w pracy [A10], której przedmiotem była *wielokryterialna* odmiana zadania optymalizacji szczepień. W odróżnieniu od poprzednich prac, Kandydat wykorzystał w niej, poza siecią neuronową, także inne typy klasyfikatorów UM.

W kolejnej pracy niniejszego wątku [A11] Kandydat wykorzystał sieci neuronowe do generowania rozwiązań dwukryterialnego problemu zapobiegania upadłości finansowej. W tej samej pracy podjął także próbę ewolucyjnej optymalizacji tychże sieci neuronowych, co przyniosło najlepsze wyniki w porównaniu z algorytmami referencyjnymi. W pracy [A12], także

dotyczącej zapobieganiu upadłości finansowej, wykorzystano sieć neuronową do estymacji jakości rozwiązań celem redukcji kosztów obliczeniowych wyznaczenia wartości funkcji przystosowania, które są zazwyczaj wysokie, z racji konieczności przeprowadzenia symulacji komputerowej (ang. surrogate model). Doświadczenia zebrane w ramach prac [A11] i [A12] Kandydat wykorzystał następnie w pracy [A13], dotyczącej problemu optymalizacji szczytów, gdzie uczył i wykorzystywał modele podejmujące decyzje dotyczące części rozwiązań na podstawie cech topologicznych lokalnego otoczenia danego wierzchołka grafu.

W ramach wątku 3, dr Michalak skupił się na wykorzystaniu doświadczeń zebranych w wyżej wymienionych pracach w zastosowaniach praktycznych, skonstruowanych przez badaczy Uniwersytetu Turyńskiego oraz Banku Centralnego Brazylii z którymi Kandydat nawiązał współpracę. W pracy [A14] Kandydat zamodelował w postaci grafu powiązania pomiędzy podmiotami gospodarczymi a następnie przeprowadzał symulacje procesu spłacania zobowiązań wobec wierzycieli, stosując różne strategie priorytetyzacji regulowania zaległości finansowych. Przeprowadzone badania doprowadziły do wyciągnięcia wartościowych wniosków dotyczących wpływu wyżej wymienionych strategii na tzw. ryzyko systemowe.

W pracy [A16] Habilitant zaproponował wykorzystanie optymalizacji wielokryterialnej do poprawy efektywności i stabilności systemu finansowego, reprezentowanego jako graf banków połączonych krawędziami reprezentującymi udzielane im wzajemnie pożyczki. Model zakładał dwa kryteria, poziom rezerw bankowych oraz estymatę strat wynikających z ewentualnego kryzysu. Proponowane podejście przetestowano na rzeczywistych danych opisujących system bankowy w Brazylii.

Praca [A15] proponuje wykorzystanie metaheurystyki obliczeń ewolucyjnych do minimalizacji następstw epidemii chorób zwierząt hodowlanych. W odróżnieniu od pozostałych prac cyklu, autor *explicite* zamodelował niekompletność posiadanej informacji, przyjmując że rzeczywista topologia krawędzi grafu może różnić się od tej obserwowanej.

Ocena osiągnięcia

Hipotezy stawiane przez dr Michalaka w pracach cyklu są interesujące, a proponowane algorytmy konsekwentnie budują na dorobku i dobrych praktykach metod metaheurystycznych (w szczególności obliczeń ewolucyjnych), skupiając się na operatorach przeszukiwania, reprezentacji rozwiązań i szeroko rozumianym 'lepszym informowaniu' procesu przeszukiwania o charakterystyce rozwiązań, m.in. przez ocenę wielokryterialną i wykorzystanie modeli uczenia maszynowego (z mojej perspektywy szczególnie doceniam badania w tym ostatnim obszarze). Proponowane rozszerzenia trafnie adresują niedoskonałości wcześniejszych metod, sygnalizując adekwatne intuicje badawcze Kandydata. Stawiane hipotezy i wyniki mają interesujące przełożenie na obszary zastosowań, w tym interpretacje ekonomiczne, w czym Kandydatowi pomogła zapewne długoletnia afiliacja w Uniwersytecie Ekonomicznym (świadczy to też o znacznej interdyscyplinarności badań dr Michalaka). Warto podkreślić że proponowane przez Kandydata techniki są ogólne, tj. aplikowalne do wielu różnych instancji rozważanych problemów, a także do wielu klas problemów które da się zamodelować przy pomocy procesów temporalnych zachodzących na grafach.

Przedłożony cykl jest tematycznie bardzo zwarty, co interpretuję jako znamię znacznej konsekwencji badawczej dr Michalaka. Prace składające się na cykl prezentowane były na bardzo dobrych i dobrych konferencjach obliczeń ewolucyjnych (GECCO, 140 pkt MNiSW, EvoCOP, 70 pkt) oraz ukazywały się w wysoko punktowanych czasopismach (European Journal of Operational Research, 140 pkt, Physica A, 70 pkt, Soft Computing, 70 pkt, Applied Soft Computing, 200 pkt). Dr Michalak jest samodzielnym autorem aż 13 z 16 prac wchodzących w skład cyklu (tj. wszystkich z wątków 1 i 2, dotyczących konstrukcji algorytmów), co jednoznacznie wskazuje na jego samodzielność i zdolność do prowadzenia długofalowej strategii badawczej. Autoreferat został przygotowany starannie i stanowi przekonującą syntezę tej części dorobku Kandydata.

W związku z tym uważam przedłożony cykl artykułów za aktualny i wnoszący wartościowe przyczynki zarówno do badań podstawowych w obszarze heurystycznej optymalizacji dyskretnej, jak i do zastosowań praktycznych. **Moja ocena przedłożonego cyklu jest zdecydowanie pozytywna.**

Z drobnych uwag polemicznych, które nie podważają mojej pozytywnej oceny, zastanawia brak bardziej wnikliwego rozróżnienia na grafy skierowane i nieskierowane – spodziewam się że dla niektórych z rozważanych przez Kandydata podklas problemów oraz zastosowań praktycznych bardziej adekwatne jest modelowanie rzeczywistości grafem skierowanym, a dla innych grafem nieskierowanym. Wydaje się też że w autoreferacie nie ma wzmianki odnośnie klasy złożoności studiowanych problemów – oczywiście fakt że stosuje się do nich algorytmy heurystyczne wskazuje na ich NP-trudność, niemniej byłoby pożądane stwierdzić to jawnie. Idąc dalej, w pracy A06 rezygnacja z ograniczenia na maksymalną liczbę wierzchołków które mogą być chronione w danym kroku symulacji (N_t) jest moim zdaniem dyskusyjna, ponieważ w realistycznych scenariuszach zasoby są zawsze ograniczone, i często niewystarczające (z drugiej strony wygląda na to że jest to modelowane kryterium f_2 (s. 23 autoreferatu)). Sugestia że współczesne metody uczenia maszynowego nie są/byłyby w stanie generować kompletnych rozwiązań-grafów, padające na s. 26 autoreferatu, jest dyskusyjne – mamy dziś do dyspozycji m.in. grafowe sieci głębokie czy modele typu transformer pracujące z grafami, skutecznie generujące grafy o znacznych rozmiarach.

Ocena pozostałego dorobku

Poza przedłożonym cyklem, Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora opublikował co najmniej 12 innych prac w czasopismach (m.in. EJOR, Pattern Recognition, Knowledge-Based Systems) oraz 27 prac w materiałach konferencyjnych i pracach zbiorowych (m.in. konferencje GECCO, PPSN, CEC). Większość z nich dotyczyła generycznych wielokryterialnych algorytmów metaheurystycznych, algorytmów przeszukiwania lokalnego, innych klas problemów (m.in. wyznaczanie tras przepływu zapasów, ang. Inventory Routing Problem), oraz wykorzystania metod ewolucyjnych w metodach wizualizacji dla zadań optymalizacji. Znaczna liczba tych prac oraz wysoki poziom większości czasopism i konferencji w których się one ukazały utwierdzają mnie w pozytywnej ocenie sylwetki Habilitanta.

Wskaźniki bibliometryczne dr Michalaka oceniam jako bardzo dobre. Całkowita liczba cytowań według serwisu Google Scholar na moment przygotowywania dokumentacji to 928 (razem z autocytowaniami); na moment przygotowywania niniejszej recenzji wskaźnik ten osiąga już

wartość 1113. Indeks Hirscha Habilitanta według serwisu Google Scholar wynosi 13; serwis Web of Science podaje odpowiednio wartość 9 na moment składania dokumentacji i 11 na moment przygotowywania recenzji. Łączny wskaźnik Impact Factor dr Michalaka to 65.8. W kategoriach wskaźników bibliometrycznych dorobek Habilitanta prezentuje się zatem bardzo przekonująco.

Dr Michalak uczestniczył w przynajmniej 5 projektach badawczych, finansowanych przez NCN, NAWA oraz z POIG. Przynajmniej jeden z tych projektów realizowanych był w konsorcjum międzynarodowym. W jednym z tych projektów pełnił rolę kierownika, a w jednym głównego wykonawcy.

Po uzyskaniu stopnia doktora, Habilitant prezentował swoje osiągnięcia co najmniej 34 razy na wydarzeniach o zasięgu międzynarodowym, w zdecydowanej większości organizowanych za granicą. Jest od dłuższego czasu członkiem komitetów programowych pięciu dobrych i bardzo dobrych konferencji. Zrecenzował znaczną liczbę prac dla czasopism naukowych oraz wniosków projektowych dla agend finansujących badania. Odbył staże na Uniwersytecie Turyńskim oraz Universidad de Zaragoza, łączenie spędzając na nich ponad pół roku.

Dr Michalak uzyskał w sumie po doktoracie 12 nagród Rektora Uniwersytetu Ekonomicznego, prowadził zajęcia wykładowe i laboratoryjne kilku przedmiotów, w tym w języku angielskim oraz co najmniej jeden przedmiot autorski. Pełnił też przynajmniej raz rolę promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim.

Podsumowanie oceny

Całość dorobku naukowego dr inż. Krzysztofa Michalaka, zarówno w przedłożonym cyklu jak i w pozostałych publikacjach, oceniam bardzo wysoko. Pozostały dorobek Habilitanta jest także moim zdaniem znaczący i zdecydowanie spełnia w mojej ocenie zwyczajowe oczekiwania i wymagania ustawowe.

Podsumowując, moja ocena całokształtu dorobku dr inż. Krzysztofa Michalaka jest zdecydowanie pozytywna, a zatem wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie go do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

