

Recenzja

**osiągnięć naukowych dr. inż. Krzysztofa Michalaka
w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja**

Podstawą przygotowania niniejszej recenzji jest pismo nr RDN ITiT/318/2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Wrocławskiej prof. dr. hab. Wojciecha Bożejki z dnia 1 października 2024 r. Recenzja została sporządzona na podstawie następujących otrzymanych przez recenzenta dokumentów przedstawiających dorobek Habilitanta:

- autoreferatu,
- tekstów publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego Habilitanta,
- oświadczeń współautorów publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego dotyczących ich wkładu procentowego i merytorycznego.

Wstęp

Dr inż. Krzysztof Michalak jest absolwentem kierunku informatyka prowadzonego przez Wydział Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej. Studia ukończył w roku 2001 broniąc pracy magisterskiej pt. *Inteligentne metody poszukiwania liniowych kodów korekcyjnych* napisanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Haliny Kwaśnickiej. W roku 2010 także na Wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka broniąc z wyróżnieniem rozprawy pt. *Mieszana metoda wyboru cech do zadania klasyfikacji* przygotowanej również pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Haliny Kwaśnickiej.

Od lutego 2012 Habilitant jest pracownikiem Katedry Technologii Informacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, początkowo jako asystent, obecnie na stanowisku adiunkta.

Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawionym przez Habilitanta osiągnięciem naukowym w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* [Dz. U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami] jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych (art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b ustawy) zatytułowany *Algorytmy metaheurystyczne dla problemów ochrony grafów przed zagrożeniami*. W skład cyklu wchodzi 16 prac ([A01]–[A16]) opublikowanych w latach 2014–2023. Ukazały się one w:

- czasopiśmie naukowych
 - *Applied Soft Computing* — 2 pozycje w latach 2017 (IF = 3.907, 40 pkt.) i 2022 (IF = 8.7, 200 pkt.);

WPLNYEŁO

- *European Journal of Operational Research* (IF = 6.4, 140 pkt.);
- *Soft Computing* — 2 pozycje w latach 2021 (IF = 3.732, 70 pkt.) i 2023 (IF = 4.1, 70 pkt.);
- *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* (IF = 3.3, 70 pkt.);
- recenzowanych materiałach z międzynarodowych konferencji naukowych
 - *Genetic and Evolutionary Computation Conference GECCO*, konferencja kategorii A rankingu CORE — 4 pozycje w latach 2017 (15 pkt.), 2018 i 2019 (po 140 pkt.);
 - *Parallel Problem Solving from Nature PPSN*, konferencja kategorii A rankingu CORE (140 pkt.);
 - *International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning IDEAL*, konferencja kategorii C w rankingu CORE — 3 pozycje w latach 2014 (10 pkt.) i 2018 (15 pkt.);
 - *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization EvocOP* — 2 pozycje w latach 2015 (10 pkt.) i 2017 (15 pkt.).

Godny podkreślenia jest fakt, że tylko 3 artykuły nie są publikacjami samodzielnymi. Spośród nich dwie mają 4 autorów, przy czym deklarowany udział Habilitanta wynosi 20%, a jedna 2 autorów z deklarowanym udziałem Habilitanta określonym na 75%.

Algorytmy metaheurystyczne są jedną z bujnie rozwijających się dziedzin obliczeń miękkich i stanowią w wielu sytuacjach interesujące metody poszukiwania przybliżonych rozwiązań problemów optymalizacji zarówno ciągłej, jak i kombinatorycznej. Niestety dziedzina ta cierpi na nadmiar wyników badań o niskiej wartości naukowej spowodowanej nadużywaniem metody konstrukcji „nowych” algorytmów w oparciu o rozmaite ekstrawaganckie „inspiracje naturą” poparte nierzadko brakiem realnej weryfikacji skuteczności lub choćby oryginalności tego rodzaju technik. Niewątpliwą zasługą Habilitanta jest unikanie tego rodzaju podejścia.

Prace ocenianego cyklu koncentrują się na problemach ochrony grafów przed zagrożeniami, w których struktura przestrzeni poszukiwań związana jest z grafem skierowanym reprezentującym system, którego pożądane stany wyznaczają kryteria optymalizacji. Zagrożeniami w tym kontekście nazywane są szczególne etykietowania wierzchołków grafu, które są negatywnie oceniane przez wspomniane kryteria, a które propagują wzdłuż krawędzi grafu. Optymalizacja polega więc na znalezieniu sposobu przydzielenia odpowiednich etykiet do kolejnych wierzchołków. Zadania tego rodzaju są typowo trudne, uzasadnione jest zatem wykorzystanie do ich rozwiązania metod miękkich, w tym algorytmów metaheurystycznych. Badania Habilitanta dotyczą trzech klas zadań ochrony grafów. Są to:

- problemy ochrony przed pożarami (ang. *Firefighter Problem, FFP*) omawiane w publikacjach [A01]–[A06] i [A09],
- problemy optymalizacji szczepień omawiane w publikacjach [A08], [A10], [A13] i [A15],
- problemy ochrony przed upadłością omawiane w pracach [A07], [A11], [A12], [A14] i [A15].

Ponadto prace podzielić można na trzy obszary tematyczne:

- prace poświęcone opracowaniu nowych algorytmów metaheurystycznych niewykorzystujące technik uczenia maszynowego — prace [A01]–[A06],
- prace poświęcone zastosowaniom uczenia maszynowego w konstrukcji algorytmów metaheurystycznych — prace [A07]–[A13],
- prace związane z zastosowaniami metaheurystyk w problemach świata rzeczywistego — prace [A14]–[A16].

W pierwszym z opisanych obszarów da się wyróżnić dwa nurty. Pierwszy z nich stanowi publikacja [A03], a drugi pozostałe 5 publikacji.

Praca [A01] zawiera rozwinięcie klasycznego problemu FFP do postaci wielokryterialnej przez przypisanie wektorowych wartości wierzchołkom grafu. Funkcją celu jest w tym przypadku suma wartości wierzchołków nieobjętych pożarem. Do rozwiązania problemu zastosowany został algorytm ewolucyjny, przy czym oryginalnym wkładem Habilitanta jest opracowanie mechanizmu nazwanego przez Autora autoadaptacją polegającego na dynamicznym doborze operatorów genetycznych z prawdopodobieństwem wyznaczonym przez ich skuteczność.

Praca [A02] kontynuuje badanie wielokryterialnego problemu FFP. Habilitant przedstawia w niej nową metaheurystykę wielopopulacyjną o nazwie Sim-EA stanowiącą rodzaj realizacji klasycznego modelu wyspowego. W podejściu tym każda populacja składowa rozwiązuje skalaryzowaną wersję problemu oryginalnego, a wektory wag określane są według zasady wziętej z algorytmu MOEA/D. Mechanizm migracji między populacjami warunkowany jest przez bliskość geometryczną odpowiednich wektorów wag. Dynamika poszczególnych populacji wyznaczona jest przez algorytm ewolucyjny wykorzystujący autoadaptację z publikacji [A01]. Habilitant wykazuje w pracy wyższość swojego algorytmu nad oryginalnym MOEA/D. Natomiast pewien niedosyt pozostawia brak porównania z klasycznym w obszarze optymalizacji wielokryterialnej algorytmem NSGA-II (lub którymś z jego wariantów).

Innowacja algorytmiczna opisana w pracy [A04] polega na zastosowaniu w algorytmie Sim-EA oryginalnego operatora krzyżowania SimX dostosowanego do problemu FFP i opartego o symulację rozprzestrzeniania się pożaru w stanach grafu określonych przez potencjalne osobniki potomne. Praca wykazuje wyższość operatora SimX nad 10 innymi operatorami krzyżowania stosowanymi w problemach, w których rozwiązanie ma postać permutacji.

Z kolei praca [A05] stanowi studium na temat operatorów przeszukiwania lokalnego dostosowanych do problemu FFP. Jego owocem jest oryginalny algorytm przeszukiwania lokalnego ED-LS, który utrzymując jakość rozwiązań na dobrym poziomie znacząco zmniejsza całkowity koszt obliczeniowy algorytmu optymalizacji przez istotną redukcję rozmiaru przeszukiwanego otoczenia bieżącego osobnika.

Analiza wpływu parametru N_f oznaczającego liczbę wierzchołków, które można jednocześnie ochronić przed zagrożeniem, na rozwiązanie problemu FFP prowadzi w pracy [A06] do określenia bezparametrowej wersji problemu, w której N_f staje się komponentem rozwiązania. Habilitant analizuje trzy konkurencyjne reprezentacje rozwiązań i dobór odpowiednich dla każdej z nich operatorów genetycznych.

Praca [A03] zachowuje pewną odrębność w stosunku do wcześniej omówionych z dwu powodów. Po pierwsze, traktuje o jednokryterialnej wersji problemu FFP, a po drugie używa innego rodzaju metaheurystyki. Jest to mianowicie algorytm estymacji rozkładu (ang. *Estimation of Distribution Algorithm*, EDA). Habilitant proponuje oryginalny algorytm typu EDA wykorzystujący model probabilistyczny oparty o informację o średnim wyniku ewaluacji uzyskanym przy wskazaniu danego wierzchołka jako chronionego w konkretnym stanie grafu. Praca wykazuje wyższość zaproponowanego algorytmu nad kilkoma innymi algorytmami EDA, algorytmem mrówkowym, algorytmem genetycznym i algorytmem poszukiwania lokalnego ze zmiennym sąsiedztwem w zakresie zadań FFP z grafem o co najmniej 1000 wierzchołków. Wobec tych osiągnięć nieco dziwi brak kontynuacji badań nad zastosowaniami EDA w problemach FFP zarówno w omawianym cyklu, jak i ogólnie w dalszym dorobku naukowym Habilitanta.

Drugi obszar badawczy dotyczy zastosowania uczenia maszynowego w konstrukcji algorytmów metaheurystycznych. Prace z tego obszaru wskazują kilka sposobów wykorzystania modeli uczenia maszynowego do wspomagania optymalizacji kombinatorycznej.

Praca [A07] dotyczy problemu ochrony grafu przed ryzykiem systemowym. Stosowany w niej model zbioru reguł wytrenowany na rozwiązaniach zadań dla ustalonej na 1000 liczby wierzchołków grafu jest wykorzystany do zmodyfikowania części losowo wygenerowanej populacji początkowej algorytmów ewolucyjnych rozwiązujących inne zadania. Eksperymenty wskazują na to, że optymalnym podejściem jest modyfikowanie stosunkowo dużej (80%) części populacji początkowej i stosunkowo dużej (również

80%) części genotypu modyfikowanego osobnika.

W pracy [A08] wielowarstwowy perceptron używany jest do wskazania osobników mających zostać poddanych mutacji zarówno deterministycznie, jak i stochastycznie przy pomocy prawdopodobieństw wyliczanych przez model. Dane treningowe dla sieci neuronowej uzyskiwane są w trakcie działania algorytmu ewolucyjnego na wybranych zadaniach. Wyniki wskazują na wyższość tak określonej procedury mutacji nad klasyczną mutacją bitową.

W artykule [A09] zaproponowany został operator krzyżowania, w którym klasyfikator będący siecią neuronową decyduje o kolejności występowania rodzicielskich wierzchołków grafu w osobniku potomnym. Dane treningowe dla klasyfikatora generowane są w tym przypadku przez algorytm przeszukiwania lokalnego, który eksploruje otoczenie rozwiązania znalezione przez algorytm ewolucyjny.

W pracy [A10] Habilitant stosuje mechanizmy przedstawione w publikacjach [A07]–[A09] do rozwiązania dwukryterialnego problemu optymalizacji szczepień. Z uwagi na obecność dwu kryteriów algorytm ewolucyjny użyty zarówno w fazie treningu, jak i właściwej fazie optymalizacji został oparty na algorytmie MOEA/D. W pracy zbadano wykorzystanie zestawu konkurencyjnych klasyfikatorów obejmującego wielowarstwowy perceptron, naiwny klasyfikator bayesowski, SVM i kilka prostszych modeli. Największą dokładność klasyfikacji osiągnęła sieć neuronowa. Zastosowanie jej w optymalizacji poprawiło jakość rozwiązań dla liczby wierzchołków grafu znacznie przewyższającej liczbę wierzchołków zadań w zestawie treningowym.

W pracy [A11] opisano zastosowanie modeli uczenia maszynowego w rozwiązywaniu dwukryterialnego problemu zapobiegania upadłościom firm. Habilitant porównał trzy podejścia do rozwiązania. Pierwsze wykorzystuje algorytm ewolucyjny bez wspomaganie modelem. W drugim podejściu wytrenowany na danych zebranych w trakcie działania algorytmu MOEA/D zestaw sieci neuronowych generuje ciąg rozwiązań dla każdego z nowych problemów optymalizacji. Trzecie podejście polega na zastosowaniu algorytmu ewolucyjnego do optymalizacji wag sieci neuronowej generującej rozwiązania. Najlepsze wyniki osiągnięto przy pomocy trzeciego podejścia.

Praca [A12] opisuje zastosowanie sieci neuronowej jako surogatu funkcji celu w dwukryterialnym problemie zapobiegania upadłościom. Surogat jest douczany co określoną liczbę epok algorytmu ewolucyjnego i z ustalonym prawdopodobieństwem wykorzystywany w fazie ewaluacji. Algorytm ewolucyjny w ten sposób wspomagany uzyskał lepsze wyniki od niewspomaganej przy porównywalnym czasie wykonania.

Artykuł [A13] dotyczy zastosowania metody analogicznej do opisanej w pracy [A11], tzn. trenowania modelu uczenia maszynowego przy pomocy algorytmu ewolucyjnego, w problemie optymalizacji szczepień. W ramach eksperymentów porównane zostały dwa wybrane modele: sieć neuronowa oraz zestaw reguł. Wyniki wskazały na wyższą jakość rozwiązań otrzymanych przy pomocy tego drugiego modelu.

Ostatni obszar badawczy omawianego cyklu zawiera trzy prace przygotowane we współpracy z zespołami badawczymi z Uniwersytetu Turyńskiego i Banku Centralnego Brazylii i dotyczące zastosowania problemów ochrony grafów i algorytmów metaheurystycznych do rozwiązania problemów rzeczywistych. Naturalne jest w tym przypadku, że są to publikacje wieloautorskie.

Praca [A14] analizuje wpływ preferencji dotyczących kolejności spłacania zobowiązań wobec wierzycieli na ryzyko systemowe. Artykuł ten jest najluźniej powiązany z resztą cyklu, ponieważ nie traktuje o zastosowaniu algorytmów metaheurystycznych. Nie ma w nim też oryginalnych algorytmów z dziedziny uczenia maszynowego. Wykorzystuje natomiast postawienie problemu zapobiegania upadłościom znane z pracy [A11] oraz analizę opartą o symulacje. Wyniki tej analizy pokazują zależność między gęstością grafu i wielkością początkowego kryzysu a stopniem propagacji zagrożeń, jak również wpływ strategii spłaty zobowiązań na zależność między gęstością grafu a ryzykiem systemowym.

Publikacja [A15] opisuje zastosowanie ewolucyjnych algorytmów optymalizacji do rozwiązania problemu zapobiegania epidemiom wśród zwierząt hodowlanych. Wykorzystanie danych rzeczywistych w tym przypadku polegało na oparciu modelu rozprzestrzeniania się choroby na informacji o faktycznym transporcie zwierząt. Habilitant zaadaptował następnie model grafowy tak, by możliwe było uwzględnienie wiedzy niepewnej. Dokonał także porównania wyniku optymalizacji stosującej algorytm ewolucyjny

ze strategiami szczepień stosowanymi w epidemiologii. Badania wykazały przewagę optymalizacji ewolucyjnej tylko w sytuacjach, w których stopień niepewności był stosunkowo niewielki.

Praca [A16] poświęcona jest wykorzystaniu optymalizacji wielokryterialnej w zagadnieniu poprawy efektywności i stabilności systemu bankowego. Strategią rozwiązania w tym przypadku jest ponownie algorytm MOEA/D. W ramach eksperymentów dokonano porównania skuteczności wprowadzenia jednorodnej regulacji dla całego rynku ze skutecznością regulacji na poziomie poszczególnych banków. Eksperymenty wykazały wyraźną wyższość scenariusza drugiego.

Nieco zaskakującą cechą prac z ostatniego obszaru jest to, że Habilitant nie wykorzystał w nich żadnej z opracowanych przez siebie oryginalnych metod optymalizacji. Fakt ten dziwi wobec wyników opisanych w publikacjach z pozostałych grup, które dowodzą wyższości oryginalnych metod Habilitanta nad metodami powszechnie używanymi, które wybrał do rozwiązania problemów świata rzeczywistego.

Pomimo wyżej wskazanych mankamentów opisany cykl jest materiałem wartościowym. Traktuje problem stosowania metaheurystyk w problemach ochrony grafów przed zagrożeniami w sposób wszechstronny: od analizy zastosowania klasycznych algorytmów ewolucyjnych, zwłaszcza w wersji wielokryterialnej, uwieńczonej zdefiniowaniem nowych operatorów genetycznych i nowego algorytmu przeszukiwania lokalnego, przez wnikliwą analizę kilku sposobów sprzężenia algorytmów ewolucyjnych z modelami uczenia maszynowego, po rozwiązanie problemów rzeczywistych. Nie budzi też zasadniczych zastrzeżeń powiązanie tematyczne publikacji.

Konkluzja

Wskazane wyżej argumenty świadczą o tym, że publikacje wchodzące w skład cyklu pt. *Algorytmy metaheurystyczne dla problemów ochrony grafów przed zagrożeniami* są w istotnym stopniu **powiązane tematycznie** oraz że wnoszą **znaczący wkład w dziedzinę obliczeń miękkich**.

Czasopisma, w których ukazały się artykuły Habilitanta mają punktację ministerialną (odniesioną do aktualnej skali) nie mniejszą niż 70. Na uwagę zasługują dwie publikacje w wysoko cenionym w dziedzinie obliczeń miękkich czasopiśmie *Applied Soft Computing* (200 punktów ministerialnych). Łączny IF dla tych publikacji wynosi 30.319, co należy uznać za wynik znaczący. Wszystkie prace konferencyjne zostały opublikowane w materiałach konferencji międzynarodowych uwzględnionych w zestawieniu ministerialnym. 5 z nich to wystąpienia na wysoko notowanych w środowisku algorytmów metaheurystycznych konferencji GECCO i PPSN. Oznacza to, że przedstawiony cykl **spełnia wymogi formalne art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy**.

Podsumowując, należy stwierdzić, że osiągnięcia naukowe dr. inż. Krzysztofa Michałaka całkowicie **spełniają wszystkie wymagania art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym**. Moja opinia o jego wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk inżynierijsko-technicznych w dyscyplinie informatyka jest zatem **pozytywna**.

Moniej Smotke

