

## Recenzja rozprawy doktorskiej

*Michała Tomczyka*

zatytułowanej:

*New Directions in Interactive Evolutionary  
Multiple Objective Optimization Based on  
Holistic Preference Information*

### 1. Problem badawczy i jego znaczenie

*Jaki jest najważniejszy problem rozważany w rozprawie? Czy ma on charakter naukowy? Czy ma on znaczenie praktyczne?*

Na rozprawę doktorską mgr inż. Michała Tomczyka składa się cykl dziewięciu prac naukowych (wymienione poniżej), z których sześć P1 – P4, P6, P7 zostało już opublikowane w liczących się czasopismach naukowych, P5 i P8 to artykuły, które ukazały się w materiałach konferencji GECCO w roku 2019 i 2020 natomiast ostatnia praca P7 obecnie znajduje się w recenzji. Przedstawione prace mają charakter głównie teoretyczny, choć zawarte w nich rozważania ilustrowane są przykładami wskazującymi na istnienie praktycznych zastosowań. Prezentowany cykl prac opatrzony jest siedemdziesięciostronicowym wprowadzeniem w języku angielskim oraz rozszerzonym abstraktem w języku polskim. Cykl artykułów składa się z:

- [P1] M. Kadziński and M. K. Tomczyk. *Using ordinal regression for interactive evolutionary multiple objective optimization with multiple decision makers*. In B. Kamiński, G. E. Kersten, and T. Szapiro, editors, *Outlooks and Insights on Group Decision and Negotiation*, pages 185–198, Cham, 2015. Springer International Publishing
- [P2] M. Kadziński and M. K. Tomczyk. *Interactive evolutionary multiple objective optimization for group decision incorporating value-based preference disaggregation methods*. *Group Decision and Negotiation*, 26(4):693–728, 2017
- [P3] M. Kadziński, T. Tervonen, M. K. Tomczyk, and R. Dekker. *Evaluation of multi-objective optimization approaches for solving green supply chain design problems*. *Omega*, 68:168–184, 2017
- [P4] M. K. Tomczyk and M. Kadziński. *EMOSOR: Evolutionary multiple objective optimization guided by interactive stochastic ordinal regression*. *Computers & Operations Research*, 108:134–154, 2019
- [P5] M. K. Tomczyk and M. Kadziński. *Robust indicator-based algorithm for interactive evolutionary multiple objective optimization*. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO '19*, pages 629–637, New York, NY, USA, 2019. ACM
- [P6] M. K. Tomczyk and M. Kadziński. *Decomposition-based interactive evolutionary algorithm for multiple objective optimization*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 24(2):320–334, 2020

- [P7] M. Kadziński, M. K. Tomczyk, and R. Słowiński. *Preference-based cone contraction algorithms for interactive evolutionary multiple objective optimization*. *Swarm and Evolutionary Computation*, 52:100602, 2020
- [P8] M. K. Tomczyk and M. Kadziński. *On the elicitation of indirect preferences in interactive evolutionary multiple objective optimization*. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO '20*, New York, NY, USA, 2020. ACM
- [P9] M. K. Tomczyk and M. Kadziński. *Decomposition-based co-evolutionary algorithm for interactive multiple objective optimization*. *Applied Soft Computing* (submitted), 2020.

W wyżej wymienionych pracach były badane wielokryterialne metody i algorytmy wspomaganie podejmowania decyzji w tym algorytmy optymalizacji wielokryterialnej oparte o paradygmat algorytmu ewolucyjnego. Przedstawione prace eksploują owo podejście na różne sposoby osadzając je w różnych modelach decyzyjnych zarówno grupowego podejmowania decyzji jak i metod zakładających udział tylko jednego eksperta.

W pierwszej z prac [P1] autorzy proponują nową interaktywną metodę optymalizacji wielokryterialnej opartą o informacje potencjalnie wielu ekspertów. Jako punkt wyjścia autorzy przyjmują podejście NEMO (Necessary-preference-enhanced Evolutionary Multiobjective Optimizer) wykorzystujące już paradygmat ewolucyjny. Przedstawiony algorytm zilustrowany jest eksperymentami numerycznymi pozwalającymi wyrobić sobie pogląd na jakość otrzymanych rezultatów.

Druga praca [P2] jest kontynuacją [P1]. W pracy tej autorzy przedstawiają zbiór ewolucyjnych interaktywnych metod optymalizacji wielokryterialnej pozwalających na podejmowanie decyzji przez więcej niż jednego eksperta. Na podstawie przeprowadzonych badań formułują szereg ogólnych wniosków co do sposobu konstruowania podobnych rozwiązań. Autorzy wskazują między innymi, że uwzględnienie preferencji wielu ekspertów przyspiesza zbieżność proponowanych metod do frontu Pareto.

W artykule [P3] dokonano oceny możliwości zastosowania różnych metod optymalizacji wielokryterialnej w projektowaniu „zielonego” łańcucha dostaw. W ramach przeprowadzonych badań autorzy analizują dobór parametrów oraz strategie selekcji w dwóch popularnych algorytmach ewolucyjnych SPEA2 i NSGA-II. Analiza teoretyczna oparta jest o studium przypadku, w ramach którego zostały wyodrębnione trzy kryteria: kosztów, emisji dwutlenku węgla oraz drobnego pyłu zawieszonego. Co ciekawe w konkluzji autorzy wskazują, że emisję dwutlenku węgla można by w sposób istotny obniżyć akceptując tylko niewielki wzrost kosztów w odniesieniu do ich globalnego minimum.

Czwarta praca przedstawionego cyklu [P4] koncentruje się na rozwiązaniach nazywanych przez autorów EMOSOR (Evolutionary Multiple Objective Optimization with Stochastic Ordinal Regression). Są to podobnie jak poprzednio (prace P1 i P2) ewolucyjne interaktywne metody optymalizacji wielokryterialnej. Autorzy przetestowali eksperymentalnie kilkanaście różnych wariantów prezentowanych metod. Przeprowadzone testy Montecarlo wskazywały na przewagę podejścia EMOSOR nad innymi rozwiązaniami w tym podejściem NEMO.

W pracy [P5] autorzy przedstawiają kolejny interaktywny algorytm ewolucyjnej optymalizacji wielokryterialnej IEMO/I. Zaproponowany algorytm wykorzystuje ocenę wygenerowanych rozwiązań w wykorzystaniem indeksu hiperobjętości. Przeprowadzone eksperymenty Montecarlo wskazują na dobrą („konkurencyjną” w porównaniu z innymi algorytmami) jakość otrzymywanych rozwiązań.

Artykuł oznaczony jako [P6] zaproponuje interaktywny algorytm ewolucyjny (EA) wykorzystujący

dekompozycję problemu optymalizacji wielokryterialnej na pewną liczbę (pod)celów optymalizacyjnych. Interakcja z decydentem polega na ocenie wybranych par alternatyw w trakcie przebiegu całej procedury. Przeprowadzone testy wskazują na przewagę zaproponowanego algorytmu IEMO/D nad innymi wybranymi rozwiązaniami w tym NEMO-0 i NEMO-0- $L_{\alpha}$ .

Siódma praca cyklu [P7] przedstawia kolejny interaktywny algorytm ewolucyjny optymalizacji wielokryterialnej wychodzący od rozwiązania NSGA-II. Interakcja z decydentem/ekspertem polega na porównywaniu przez niego par rozwiązań. Wydajność algorytmu została przetestowana w trakcie przeprowadzonych eksperymentów numerycznych.

W pracy [P8] w sposób szczególny autorzy zajmują się wykorzystaniem w trakcie procesu ewolucji rozwiązania preferencji pośrednich takich jak porównania parami, intensywność preferencji, wskazanie najlepszej alternatywy w pewnym podzbiorze oraz porządkowanie pewnych niewielkich podzbiorów alternatyw. Wprowadzają również pewne rozszerzenia do metody IEMO/D związane między innymi z wykorzystaniem preferencji pośrednich. Zmodyfikowane podejście jest poddane eksperymentalnej ocenie. Jednym z wniosków płynących z przeprowadzonych badań jest wskazanie przewagi porównań parami jako sposobu pozyskiwania informacji pośredniej nad bardziej skomplikowanymi poznawczo formami informacji preferencyjnej.

W ostatniej, dziewiątej pracy [P9] zgłoszonego cyklu jest zaproponowany algorytm CIEMO/D. W przeciwieństwie do poprzednio przedstawionych algorytmów ewolucyjnych, CIEMO/D równocześnie ewoluje wiele mniejszych sub-populacji. Ewolucja każdej subpopulacji przebiega w ramach innego modelu preferencji. Dzięki temu algorytm ten może eksplorować równocześnie różne obszary przestrzeni rozwiązań. Przeprowadzone eksperymenty numeryczne potwierdzają wysoką wydajność zaproponowanego rozwiązania na tle przebadanej konkurencji.

Podsumowując przedstawiony zbiór publikacji należy stwierdzić, że rozumiany jako praca doktorska ma on niewątpliwie wysokie walory naukowe oraz zauważalne znaczenie praktyczne. Ciekawym wątkiem pojawiającym się w kilku pracach jest wykorzystanie porównań parami alternatyw w kontekście akwizycji preferencji decydenta. Na uwagę zasługują również rozważania dotyczące strategii akwizycji danych preferencyjnych (strategii interakcji) tj. wyznaczania zarówno tego o co jest decydent / ekspert odpytywany jak i momentu, w którym takie pytania są zadawane. Przedstawione prace mają również znaczenie dla samej dziedziny obliczeń ewolucyjnych pokazując różne możliwości stosowania tego paradygmatu obliczeń w dziedzinie systemów wspomagania decyzji.

Niedogodnością w ocenie pracy jest pewna segmentacja zakresu i rezultatów opisywanych w przedstawionych pracach. W rezultacie nie mamy do czynienia z jednym a z wieloma problemami badawczymi podobnie nie z jednym (kilkoma) rezultatami a z szeregiem wyników częściowych składających się na większy obraz włożony w ramy obliczeń ewolucyjnych. Możemy tu znaleźć i problem efektywności algorytmów ewolucyjnych, organizacji interaktywnej współpracy pomiędzy decydentem a metodą, badania odporności otrzymanych rozwiązań czy sposobu wykorzystanie różnego rodzaju informacji preferencyjnej. W szczególności to ostatnie wydaje się szczególnie ciekawe z praktycznego punktu widzenia.

Wszystkie przedstawione prace (za wyjątkiem ostatniej) ukazały się w bardzo dobrych czasopiśmie naukowych posiadających wysokie punktacje oraz znaczące współczynniki cytowań (tzw. impact factor), a także wysoko punktowanej konferencji naukowej GECCO. Zgodnie z wykazem czasopism przygotowanym przez MNiSW periodyki, w których ukazały się wskazane prace posiadają przypisanie do dyscypliny „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, a część z nich jest lokowana również w

dyscyplinie „Informatyka”.

## 2. Wkład autora

*Jaki jest najważniejszy wkład autora opisywane w rozprawie? Jeżeli niezbędne, recenzent może rozróżnić wkład deklarowany przez autora rozprawy i wkład, który sam recenzent uważa za najważniejszy. W tym wypadku należy podać powody, dla których recenzent nie zgadza się z twierdzeniami autora (np. ktoś wcześniej zaproponował już dany pomysł, lub jest on oryginalny, ale niepoprawny z powodów opisanych w sekcji 3). Prosimy także o komentarze dotyczące praktyczności zaproponowanych rozwiązań (może być tak, że problem jest bardzo praktyczny, ale zaproponowane rozwiązanie nie). Jeżeli ma to zastosowanie, recenzent może odwołać się do innych wskaźników jakości (np. jakości publikacji, patentów autora, cytowań, wdrożonych zastosowań...).*

W ramach pracy doktorskiej, oprócz listy publikacji, wstępu, rozszerzonego abstraktu, doktorant przedstawił kilka oświadczeń współautorów precyzujących ich udział w powstałych pracach, zabrakło jednak oświadczeń doktoranta. W tym przypadku poprosiłem o doprecyzowanie udziału doktoranta w pracach i otrzymałem satysfakcjonujące wyjaśnienia. W pozostałych przypadkach, tj. wtedy gdy autorem był tandem doktorant – promotor, na podstawie otrzymanych wyjaśnień, przyjąłem, iż każdorazowo głównym wykonawcą oraz osobą odpowiedzialną za szczegóły rozwiązań był dyplomant natomiast rola promotora ograniczała się do wskazywania głównych idei oraz kierunków, w których ma rozwijać się dana praca. W przypadku pracy doktorskiej takie założenie jest jak najbardziej dopuszczalne i możliwe. Na tej podstawie można stwierdzić, że do istotnych osiągnięć doktoranta należy: zaprojektowanie wraz z promotorem oraz implementacja szeregu interaktywnych algorytmów ewolucyjnych, a także implementacja środowisk do przeprowadzenia eksperymentów numerycznych, analiza i wizualizacja otrzymanych danych. W przedstawionych wynikach znajduje się również praca (P3) pokazująca możliwość rzeczywistego zastosowania rozważanych metod. Trzeba jednak zauważyć, że w praktyce „podejmowanie decyzji” to pewien całościowy proces, w którym metoda obliczeniowa stanowi tylko pewną istotną część całości. Ponieważ metody interaktywne w sposób naturalny dość silnie ingerują w proces podejmowania decyzji (w szczególności decydenci, eksperci muszą być interaktywnie dostępni) to warto by nieco więcej czasu poświęcić na skonfrontowanie powstałych metod i algorytmów z rzeczywistymi sytuacjami w których biorą udział realnie istniejące osoby. W kontekście oceny umiejętności aplikanta, wobec konstrukcji pracy doktorskiej jako cyklu publikacji, pewnym mankamentem jest brak pracy jedno-autorskiej. Praca taka pozwoliła by z jednej strony przyglądać się warsztatowi edytorskiemu doktoranta, z drugiej umożliwiła by głębsze spojrzenie na sposób w jaki doktorant stawia problemy badawcze oraz prowadzi całość wyводу naukowego.

## 3. Poprawność

*Czy stwierdzenia zawarte w rozprawie są godne zaufania? Czy uzasadnienia są poprawne? Wskaż zauważone słabości i błędy. Wskaż także te aspekty dotyczące poprawności, które są najbardziej wartościowe (elegancja dowodów, plan eksperymentów, analiza danych empirycznych, jakość prototypowego oprogramowania/sprzętu...).*

Choć przede wszystkim o wartości przedłożonej pracy decyduje cykl publikacji to oprócz tego zbioru można w niej znaleźć również dość rozbudowany, bo przeszło siedemdziesięciostronicowy wstęp w języku angielskim oraz rozszerzony abstrakt w języku polskim. Wstęp rzeczywiście dość dobrze wprowadza czytelnika w tematykę poszczególnych prac natomiast po jego przeczytaniu można odnieść wrażenie, że jedyne co spaja poszczególne prace to powtarzający się w każdej z prac paradygmat algorytmu ewolucyjnego. Oczywiście taka opinia oparta na pierwszym wrażeniu jest krzywdząca, bo po dokładniejszym przestudiowaniu pracy analogie pomiędzy różnymi pracami zaczynają być widoczne, natomiast niestety nie są te analogie oczywiste zaraz po przeczytaniu wprowadzenia do cyklu publikacyjnego. W moim odczuciu zabrakło w tym fragmencie pracy dokładniejszej syntezy otrzymanych wyników, szerszego omówienia

podobieństw i różnic pomiędzy poszczególnymi zaproponowanymi algorytmami czy też omówienia podobieństw i różnic w sposobie weryfikacji otrzymanych wyników. Zamiast tego autor często enumeratywnie wymienia czy to powstałe algorytmy i ich własności (Tabela 5.1) czy też podjęte kierunki badawcze (str. 5 – 8). Takie podejście pozostawia niedosyt, bowiem czytelnik z chęcią dowiedział by się na przykład czy i w jakim stopniu wcześniej powstałe prace były inspiracją do powstania kolejnych tj. czy luka badawcza zidentyfikowana w jednej pracy była początkiem kolejnego opracowania, czy rozwiązania przyjęte w jednej pracy mogą być w prosty sposób przeniesione do innej, czy algorytmy zaprojektowane z udziałem jednego eksperta mogą być łatwo rozszerzone do wersji z udziałem wielu ekspertów, jakie relacje łączą poszczególne publikacje cyklu itd.

Po przeczytaniu całości pracy, oprócz powyższej, po części edytorskiej, uwagi, nasuwa się również pytanie natury bardziej ogólnej. Otóż, w przypadku wszystkich interaktywnych algorytmów ewolucyjnych nieodzownym elementem przeprowadzanych symulacji jest postać decydenta (lub decydentów). Decydenci owi współpracują z metodą obliczeniową przekazując dodatkowe informacje w trakcie działania algorytmu. W przeprowadzonych eksperymentach postać decydenta, a właściwie jego preferencji, była reprezentowana zwykle dość prosto np. w postaci wektora wag [P2] czy funkcji Czebyszewa [P5]. W rzeczywistości jednak decydemtem jest człowiek, który może zachowywać się nie zawsze racjonalnie, jego uważność może spadać wraz z trwaniem całego eksperymentu, w końcu jakość udzielanych odpowiedzi może zależeć od formy prezentacji. Powstaje zatem pytanie czy w celu oddania całego spektrum możliwych zachowań decydenta niecelowym było by w rozważanych przypadkach sięgnięcie po paradygmat inteligentnego agenta oraz ewolucyjnych systemów wieloagentowych. Na ile przyjęcie takiej perspektywy mogło by wpłynąć na jakość otrzymanych rozwiązań?

Pomimo powyższych uwag ogólna poprawność przedstawionych w artykułach konkluzji, zrekapitulowanych w obszernej części stanowiącej wprowadzenie do cyklu publikacji, nie budzi zastrzeżeń. Na uwagę zasługują dość czytelne zapisy algorytmów w pseudo-kodzie pozwalające czytelnikowi w szybki i łatwy sposób zrozumieć ideę prezentowanych rozwiązań.

#### 4. Wiedza kandydata

*Które z rozdziałów (lub sekcji w rozdziałach) rozprawy omawiają istniejący stan wiedzy i dzięki temu potwierdzają ogólny stan wiedzy kandydata w zakresie Informatyki? Jakie obszary tych dyscyplin zostały omówione w tych rozdziałach/sekcjach? Jaka jest opinia recenzenta o jakości tych rozdziałów sekcji? Jaka jest opinia recenzenta o bibliografii? Na ile bibliografia jest kompletna? Prosimy o podanie innych argumentów za lub przeciw stwierdzeniu, że kandydat posiada ogólną wiedzę w dyscyplinie Informatyka.*

Wspólnym obszarem dziedzinowym wszystkich prac prezentowanego cyklu są interaktywne algorytmy ewolucyjny oraz ogólnie rozumiane komputerowe metody wspomaganie decyzji. W każdym z artykułów, poza być może dwiema pracami konferencyjnymi, można znaleźć bardzo obszerny przegląd literatury odnoszący się do stanu wiedzy w obszarze, w którym lokuje się dana praca. Pozycje literaturowe są dobrze i rzetelnie omówione oraz prawidłowo cytowane. Zaproponowane przez doktoranta nowe algorytmy są dobrze osadzone w spektrum już istniejących rozwiązań. Staranność i dokładność z jaką autorzy publikacji traktują kwerendę bibliograficzna wskazuje na dobrą orientację aplikanta w zakresie algorytmów ewolucyjnych oraz metod optymalizacji wielokryterialnej.

Obliczenia i algorytmy ewolucyjne, czy ogólniej algorytmy inspirowane naturą, są jednym z podstawowych obszarów wiedzy we współczesnej informatyce. Podobnie w obrębie szeroko rozumianych nauk informatycznych lokowane są komputerowe metody wspomaganie decyzji. Tym

samym prezentowane artykuły w sposób oczywisty mają charakter prac informatycznych. Szereg zaproponowanych algorytmów ewolucyjnych, zaprojektowanie, implementacja i przeprowadzenie eksperymentów numerycznych wyraźnie świadczą o posiadanej przez doktoranta wiedzy z zakresu algorytmiki oraz programowania.

## 5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

- A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

Zdecydowanie Tak

Raczej Tak

Trudno powiedzieć

Raczej Nie

Zdecydowanie Nie

- B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka?

Zdecydowanie Tak

Raczej Tak

Trudno powiedzieć

Raczej Nie

Zdecydowanie Nie

- C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Zdecydowanie Tak

Raczej Tak

Trudno powiedzieć

Raczej Nie

Zdecydowanie Nie

Tym samym, uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez par 13. wyżej wymienionej ustawy i popieram starania aplikanta zmierzające do otrzymania stopnia naukowego doktora.

Ponadto, biorąc pod uwagę znaczący (jak na obecny etap rozwoju naukowego) dorobek publikacyjny mgra Michała Tomczyka rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.



podpis