

Dr hab. inż. Ireneusz Czarnowski, prof. UMG
Katedra Systemów Informacyjnych
Uniwersytet Morski w Gdyni
ul. Morska 83, 81-225 Gdynia

Gdynia, 16 września 2021r.

O C E N A

osiągnięcia naukowego pt. „Modelowanie mechanizmów optymalizacji w algorytmach ewolucyjnych”
oraz aktywności naukowej w postępowaniu habilitacyjnym
Pana dra inż. Karola Romualda Opary
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,
w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja

Podstawą przygotowanie niniejszej oceny jest pismo Z-cy Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk z dnia 30 lipca 2021 roku (BA3-0005-4/21LP) w sprawie powierzenia mojej osobie, uchwałą Rady Naukowej Instytutu Badań Systemach Polskiej Akademii Nauk z dnia 9 lipca 2021 roku, funkcji recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Karola Romualda Opary.

Pan Opara jest absolwentem kierunku informatyka na Wydziale Matematyki i Nauk Informacyjnych Politechniki Warszawskiej oraz kierunku metody ilościowe w ekonomii i systemy informacyjne Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka został Panu dr. inż. Karolowi Oparze nadany uchwałą Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk z dnia 21 listopada 2014 roku.

Pan dr Opara jest adiunktem w Instytucie Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk (IBS PAN). W latach 2012-2013 był stażystą *International Institute for Applied Systems Analysis* w ramach programu *Young Scientists Summer Programme* oraz programu *Mikhalevich Award*.

Pan dr Opara jako osiągnięcie naukowe, będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, przedstawił cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Cykl ten został zatytułowany „Modelowanie mechanizmów optymalizacji w algorytmach ewolucyjnych”.

Wartość wskaźnika indeksu Hirscha dr inż. Karola Romualda Opary według *Web of Science* (WoS) oraz na dzień sporządzenia niniejszej oceny jest równy 6, natomiast liczba cytowań prac (bez autocytowań),

których autorem lub współautorem jest Habilitant, wynosi 126. Według Scopus indeks Hirscha jest równy 6, a liczba cytowań (bez autocytowań) 173.

1. Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawiony do oceny cykl publikacji składa się z sześciu artykułów naukowych, które powstały w latach 2018 - 2020 i zostały opublikowane w:

- czasopiśmie *Swarm and Evolutionary Computation* – 3 artykuły,
- czasopiśmie *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* – 1 artykuł,
- materiałach konferencyjnych GECCO '20: Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion – 2 artykuły.

Czasopismo *Swarm and Evolutionary Computation* znajduje się na pozycji 19185 wykazu czasopism i materiałów z międzynarodowej konferencji naukowej sporządzonego zgodnie z obowiązującymi przepisami dot. ewaluacji jakości działalności naukowej – wykazu zwanego dalej „wykazem czasopism”. Czasopismu temu przypisano wartość punktową 140. *Impact Factor* (IF) wyznaczony za rok 2020 dla tego czasopisma wynosi 7.177.

Czasopismo *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* w wykazie czasopism znajduje się na pozycji 7976 z przypisaną liczbą punktów równą 200. Aktualny IF dla tego czasopisma wynosi 11.554.

Materiały konferencyjne, w których zostały opublikowane 2 artykuły z przedstawionego cyklu publikacji dotyczą międzynarodowej konferencji naukowej, która również znajduje się w „wykazie czasopism” na pozycji 392 listy międzynarodowych konferencji naukowych z przypisaną liczbą punktów równą 140. W australijskim rankingu konferencji naukowych CORE (core.edu.au) konferencji GECCO przypisano etykietę A.

Zainteresowania naukowe dr inż. inż. Karol Romuald Opara uwypuklone w cyklu publikacji przedstawionych jako osiągnięcie naukowe dotyczą aspektów usprawniania algorytmów ewolucyjnych, lepszego ich poznania i zrozumienia ich działania. Tym samym istotne dla rozwoju dyscypliny naukowej informatyka (w tym w rozumieniu dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja) są badania dotyczące algorytmów ewolucji różnicowych (ang.: *Differential Evolution* - DE), które zostały uwypuklone pracami [A1], [A2], [A3], [A5]. Nie należy jednak umniejszać roli wyników badań dotyczących w ogólności aspektom algorytmów ewolucyjnych, a zawartych w pracach [A4], [A6].

Przedstawione do oceny publikacje, zostały przedłożone w kolejności chronologicznej ich powstania (opublikowania). Niemniej jednak można je rzeczywiście ocenić w kolejności wskazanej przez dr. Oparę w autoreferacie. A zatem, ocenę cyklu publikacji rozpocznę od pracy [A2], która stanowi teoretyczne studium dotyczące algorytmów ewolucji różnicowej. W pracy tej dokonano wyraźnie szerokiego przeglądu prac dotyczących DE. W oparciu o ten przegląd dokonano również systematyki podejść proponowanych jako DE. W pracy zawarto także dyskusję na temat implementacyjnym DE. Istotna jest również dyskusja na temat dynamiki zmian populacji w algorytmach DE. Ta dyskusja następnie znajduje odzwierciedlenie w kolejnych pracach cyklu publikacji, tj. [A4] i [A5], ale do tych prac odniosę się w dalszej części oceny. Praca [A2] to również wskazanie kierunku przyszłych studiów nad algorytmami DE, wraz uwypukleniem ważności dla podejmowania takich studiów. Wkład Habilitanta w powstanie tej pracy jest znaczący (zgodnie z przedstawioną deklaracją wynosi on 75%) i obejmuje nakreślenie

koncepcji pracy, analizę bibliometryczną, szczegółowy przegląd literatury oraz w szczególności syntetyczne przedstawienie kluczowych dokonań teoretycznych dotyczących DE.

Praca [A3] to studium nad algorytmami ewolucji różnicowej w kontekście operatora mutacji, a w szczególności zjawiska dopasowywania się rozkładu próbkowania dla operatora mutacji zwanego *contour fitting*. W pracy [A3] podjęto się teoretycznego wyjaśnienia mechanizmu zwanego *contour fitting*. Wartością pracy jest również przedstawiony wynik badania dotyczący selekcji rozwiązań dla operatora mutacji. Zaproponowano tu podejście wyboru rozwiązań oparte na prawdopodobieństwie proporcjonalnym do optymalizowanej funkcji celu. Dyskusja oparta na wynikach eksperymentów pokazała, iż zaproponowane rozwiązanie (operator mutacji – DE/prop/1) pozwala na utrzymywanie lepszej różnorodności rozwiązań w populacji, co w ogólności poprawia zbieżność algorytmu. Dr Opara w powstaniu pracy [A3] był zaangażowany w znacznym stopniu (jego wkład wynosi 75%). Jego rolą było wyprowadzenie twierdzeń dla potrzeb wyjaśnienia działania operatora *contour fitting*, analizę zbieżności algorytmu DE (w szczególności algorytmu *Differential Mutation Evolutionary Algorithm*) oraz przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych.

Studium nad operatorem mutacji różnicowej zawarto również w pracy [A1]. Praca ta stanowi przegląd proponowanych w literaturze operatorów mutacji różnicowej dla DE. Autorzy [A1] podjęli także próbę uogólnienia opisu tych operatorów, wprowadzając tak zwany czynnik skalujący. Czynnik ten pozwala aproksymować zasięg jednego operatora mutacji różnicowej drugim. Ponadto wykazano, że najistotniejszym elementem różnicującym poszczególne operatory mutacji jest zasięg próbkowania. Dyskusja wyników badania symulacyjnego sprowadziły Autorów pracy [A1] do wniosku o nieistotnych statystycznie różnicach pomiędzy operatorami. Konkluzja Autorów [A1] może być istotna dla parametryzacji algorytmu DE oraz w związku z konkretną jego implementacją. Wkład dra Oparę w powstaniu pracy [A1] jest znaczący (stanowi 75%) i obejmuje wyprowadzenie dowodów matematycznych oraz przeprowadzenie szczegółowych obliczeń i badań symulacyjnych.

Badania nad DE zostały również odzwierciedlone w pracy [A5]. [A5] jest samodzielną pracą dra Oparę, w której podejmuje on analizę dynamiki zmian populacji w algorytmie DE. Istotnym rezultatem wyników badań Habilitanta zawartych w [A5] jest wykazanie relacji opisującej szybkość zbieżności algorytmu DE z jego parametrami kontrolnymi, w tym z czynnikiem skalującym w mutacji różnicowej.

Badanie dynamiki zmian populacji w ogólnym przypadku dla algorytmów ewolucyjnych jest przedmiotem pracy [A4]. W pracy tej podjęto dyskusję dywersyfikacji populacji, a tym samym szybkości zbieżności algorytmu ewolucyjnego. Poprzez wprowadzenie równań dynamiki zmian populacji zaproponowano sposób monitorowania stanu eksploracji przestrzeni rozwiązań, co ze strony implementacyjnej pozwala na monitorowanie stosowanych mechanizmów adaptacji. Autorzy [A4] poprzez zaproponowany model szumowej funkcji celu pokazali również, że istnieje możliwość wykrywania niepożądanych kierunków eksploracji przestrzeni rozwiązań w algorytmie ewolucyjnym. Wyniki badań pozwoliły Autorom również na wskazanie sposobu wyznaczenia prawdopodobieństw dla wybranych operatorów selekcji. Wyniki teoretyczne pracy [A4] znajdują również odzwierciedlenie w dyskusji eksperymentów obliczeniowych oraz uzyskanych na ich drodze wyników. Wynik pracy badawczej zawarty w [A4] dostarcza również nowego narzędzia diagnostycznego dla metod optymalizacji. Narzędzie to poprzez macierz kowariancji pozwala na ocenę zmian zachodzących w populacji rozwiązań, co może być przydatne w analizie zbieżności algorytmu. Wkład dra Oparę w przygotowanie pracy [A4] jest nie jest tak znaczący jak ma to miejsce w przypadku pozostałych artykułów cyklu publikacji (stanowi on 25%). Obejmuje on przeformułowanie dowodów matematycznych oraz w szczególności dyskusję znaczenia wyników analitycznych.

Praca [A6] odnosi się do kwestii walidacji algorytmów ewolucyjnych z wykorzystaniem benchmarków. W pracy [A6] zaproponowano parametryzację wybranych funkcji benchmarkowych, tym samym ich przekształcenia, w efekcie uzyskując szerszy możliwy do wykorzystania zbiór benchmarków. Proponując parametryzację funkcji benchmarkowych zwrócono uwagę na szerszą możliwość porównywania zarówno mocnych jak i słabych stron algorytmu, czyli innymi słowy na wieloaspektową ocenę algorytmów metaheurystycznych. Dr Opara jest w przewadze autorem pracy [A6]. Wkład ten stanowi 85%. Zaliczyć do niego należy zaproponowanie koncepcji badań, zaproponowanie sposobu dla parametryzacji danych benchmarkowych oraz przeprowadzenie głównych analiz.

Podsumowując, osiągnięcie naukowe dra Oparę przedstawione do oceny w szczególności dotyczy analizy działania algorytmów ewolucji różnicowej. Za istotny wkład tego osiągnięcia należy tu uznać wyprowadzenie twierdzeń związanych ze zbieżnością algorytmów ewolucji różnicowej, analizę dynamiki zmian rozwiązań w populacji podczas ewolucji DE oraz badanie różnych strategii dla mutacji różnicowej, tym samym przedstawianie istotnych wyników teoretycznych i ogólnych wniosków dla tej klasy algorytmu. Częściowo wyniki analityczne nad algorytmami ewolucji różnicowej zostały przeniesione na ogólną postać algorytmu ewolucyjnego, co wnosi dodatkową wartość dla badań nad algorytmami ewolucji populacji. Udział Habilitanta w uzyskaniu tych wyników świadczy także o jego świadomym podejmowaniu badań, które mają charakter szerszy w ujęciu poznawczym i nie ograniczają się jedynie do wąskiego obszaru i zagadnień jakim są algorytmy DE. Nie bez znaczenia dla badań nad algorytmami ewolucyjnymi jest także zaproponowanie transformacji funkcji benchmarkowych, co może być użyteczne dla badań koncentrujących się na poznawaniu algorytmów ewolucyjnych, czy w ogólności poszukiwaniu i badaniu algorytmów optymalizacji globalnej.

Chciałbym również podkreślić, iż badania oraz ich zakres uwypuklony w osiągnięciu naukowym przedstawionym przez dra Oparę do oceny mają w dużej mierze charakter analityczny wprowadzający nową wartość na grunt wiedzy teoretycznej o algorytmach ewolucji różnicowej. Dr Opara w pracach objętych osiągnięciem naukowym wykorzystał szeroko aparat matematyczny opisując od strony formalnej badane algorytmy. Wyniki badań dra Oparę nie są jednak zorientowane na teorię informatyki, lecz mają istotną wartość merytoryczną dla potrzeb implementacji algorytmów DE, wcześniej ich zaprojektowania oraz tzw. ich strojenia. Nie pozostają one też bez znaczenia dla algorytmów ewolucyjnych w szerszym tego słowa znaczeniu. Nie można tu pominąć faktu, iż przedstawione wyniki uzyskano również w oparciu symulacje oraz eksperymenty obliczeniowe, co podkreśla charakter techniczny prowadzonych badań. Tym samym należy je uznać za istotne dla obszaru dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Wyniki badań dra Oparę podkreślające szerzej walor techniczny i implementacyjny odzwierciedlają również inne publikacje, które nie stanowią zbioru publikacji osiągnięcia naukowego, ale zostały dołączone do dokumentacji postępowania.

2. Ocena pozostałej aktywności naukowej

Na samym już wstępie oceny chciałem podkreślić, że dorobek naukowy dra Oparę charakteryzujący jego pozostałą aktywność naukową nie pozostaje bez znaczenia dla dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. Jest on relatywnie szeroki i pokazuje różne obszary zainteresowania Habilitanta, tym samym potwierdza interdyscyplinarność Habilitanta.

Analizując pozostałą aktywność naukową dra Oparę należy stwierdzić, że wyraźnym jest tu obszar badawczy związany z optymalizacją globalną, projektowaniem i testowaniem różnych algorytmów i metod wspomagających poszukiwanie rozwiązań. Ten obszar wpisuje się w nurt objęty osiągnięciem

naukowym, niemniej jednak traktuje on zagadnienia optymalizacji oraz projektowanie i dobór algorytmów ewolucyjnych wyraźnie szerzej. Sam Habilitant podkreśla, iż w cyklu publikacji znalazły się jedynie wybrane i najnowsze prace. Fakt ten świadczy o dużej dojrzałości badawczej dra Oparę i potwierdza szeroki warsztat merytoryczny Habilitanta. Aktywność naukowa dra Oparę to przecież też jego zaangażowanie na rzecz projektowania algorytmów i rozwiązywania rzeczywistych problemów technicznych, w tym dotyczących infrastruktury drogowej i transportu. Ta aktywność wiązała się z przeniesieniem uzyskanych wyników badań do praktyki, a opracowane rozwiązania zostały wdrożone komercyjnie, w tym na terenie Niemiec. Wyzwania stawiane infrastrukturze drogowej znalazły się również w zainteresowaniu Habilitanta poprzez problem przetwarzania obrazów i analizy stanu nawierzchni autostrad.

Inne zaangażowanie badawcze dra Oparę dotyczyło systemów transferu gotówki pomiędzy oddziałami i punktami operacyjnymi banków. Jeszcze inny obszar dotyczył telemedycyny. W pracach z tego obszaru dr Opara jest autorem kilku prac, które odwołują się do problemów klasyfikacji stanów chorobowych.

Dr Opara jest również współautorem pracy [C4] potwierdzającej jego aktywność badawczą związaną z rozwojem narzędzi do analizy danych. Ten nurt zainteresowanie potwierdzają również prace dotyczące odwrotnej analizy skupień, ze szczególnym uwypukleniem monografii [M2].

Powyżej odzwierciedlona aktywność naukowa Habilitanta wiązała się nierzadko z podejmowaniem współpracy ze sferą gospodarczą. Stąd również wynikały komercyjne wdrożenia rozwiązań, w których opracowaniu uczestniczył dr Opara. Dr Opara jest również jednym z współautorów rozwiązania, dla którego złożono wniosek patentowy.

Nie bez znaczenia dla kariery naukowej pozostaje wspomniany już przez ze mnie na wstępie tego dokumentu udział dra Oparę w programach stażowych. Warto podkreślić są również wykłady zaproszone i wystąpienia konferencyjne. O aktywności naukowej dr Oparę świadczy również jego udział w komitatach naukowych konferencji naukowych. Był również recenzentem artykułów naukowych i konferencyjnych.

Koniecznym do zauważania jest udział dra Oparę w kilku projektach badawczych lub badawczo-rozwojowych, w tym w roli kierownika lub wykonawcy. Należy również podkreślić, że projekty te były finansowane ze środków zagranicznych.

Dr Opara jest również aktywny na niwie akademickiej i organizacyjnej. Przygotowywał i prowadził przedmioty zarówno dla studentów jak i doktorantów. Był promotorem pracy magisterskiej. Był i jest członkiem ciał koleżeńskich Instytucie Badań Systemowych PAN, którym również przewodniczy.

Dr Opara za swoje osiągnięcia naukowe oraz aktywność naukową otrzymał nagrodę Rektora Politechnik Warszawskiej oraz Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców.

3. Wniosek końcowy

Osiągnięcie naukowe dr inż. Karola Oparę jest spójne tematycznie i stanowi istotny wkład w rozwój informatyki. Nie bez znaczenia dla nauki pozostaje również jego aktywność naukowa oraz dorobek naukowy nie objęty osiągnięciem naukowym.

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr inż. Karola Opary stanowi ważny wkład w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja. Stwierdzam również, że osiągnięcie naukowe oraz wykazana aktywność naukowa dr inż. Karola Romualda Opary spełniają oczekiwania ustawy wobec osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Moja opinia jest pozytywna, tym samym wnioskuję o dalsze procedowanie i nadanie dr. inż. Karolowi Oparze stopnia doktora habilitowanego dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w zakresie informatyka.