

Zielona Góra, 22.04.2024r.

Prof. dr hab. inż. Marcin Witczak  
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych  
Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki  
Uniwersytet Zielonogórski  
Ul. Podgórna 50  
65- 246 Zielona Góra  
M.Witczak@issi.uz.zgora.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Mgra inż. Teodora Niżyńskiego**  
**pod tytułem**

**„Uczenie maszynowe i analiza krajobrazu przestrzeni w rozwiązywaniu wybranych  
problemów szeregowania zadań i marszrutyzacji”**

**opracowana na zlecenie**

**Politechniki Wrocławskiej**

---

**I. Problem naukowy i obszar rozprawy**

Problemem naukowym stanowiącym przedmiot recenzowanej rozprawy doktorskiej jest uczenie maszynowe i analiza krajobrazu przestrzeni rozwiązań, zastosowane do rozwiązywania wybranych problemów szeregowania zadań i marszrutyzacji. Powyższy problem badawczy jest szeroko spotykany w przemyśle. Oznacza to, że praca ma szerszy wymiar niż tylko teoretyczny. Przemysł jest branżą podatną na innowacje, na co dowodem jest dążenie do obniżenia kosztów wytwarzanych produktów oraz zwiększenia niezawodności procesów technologicznych. Na przestrzeni ostatnich lat zostało opracowanych wiele koncepcji, takich jak Przemysł 4.0 oraz Internet rzeczy, które są intensywnie wspierane za pomocą szeroko rozumianego uczenia maszynowego. Na szczególną uwagę zasługują metody przeszukiwania przestrzeni rozwiązań optymalizujące pracę przedmiotowych procesów i systemów. W ramach dysertacji przeprowadzono analizę różnorodnych problemów z zakresu badań operacyjnych, informatyki oraz automatyki – od

WPLYNĘŁO

24-04-2024

RSN-WT /170/2024

klasycznego problemu komiwojażera, poprzez cykliczny problem gniazdowy, aż po cykliczny problem przydziału w niepermutacyjnym problemie przepływowym szeregowania zadań. Przegląd literatury przedstawiony w rozprawie przedstawia znaczącą liczbę metod umożliwiających rozwiązanie powyższych problemów.

Celem przedstawionych badań było udowodnienie następujących tez:

- korzystając ze sztucznych sieci neuronowych lub analizy krajobrazu przestrzeni rozwiązań możliwe jest poprawienie efektywności działania konwencjonalnych algorytmów metaheurystycznych, rozumiane jako uzyskiwanie w tym samym koszcie (np. czasowym) rozwiązań o wyższej jakości;
- sposób przeprowadzenia próbkowania przestrzeni rozwiązań może mieć istotny wpływ na wartości estymacji miar tej przestrzeni;
- korzystając ze sztucznych sieci neuronowych oraz analizy krajobrazu przestrzeni rozwiązań możliwe jest rozwiązywanie problemu wyboru algorytmu;
- możliwe jest zastępowanie elementów klasycznych algorytmów metaheurystycznych przez zaawansowane metody oparte o sieci neuronowe w ramach uczenia ze wzmocnieniem.

Natomiast, do najważniejszych zadań badawczych należy zaliczyć:

- modyfikację istniejących algorytmów metaheurystycznych z wykorzystaniem metod opartych o sieci neuronowe, w tym uczenia ze wzmocnieniem oraz mechanizmów neuronowych do rozwiązywania problemów;
- opracowanie metody rozwiązywania problemu wyboru algorytmu dla klasycznego problemu komiwojażera, wykorzystującą analizę przestrzeni rozwiązań i uczenie maszynowe;
- analizę wpływu stopnia próbkowania przestrzeni rozwiązań na wartości numeryczne metryk analizy przestrzeni rozwiązań;
- przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych na instancjach losowych oraz na popularnych, uznanych zbiorach danych.

Podsumowując, należy podkreślić, że rezultatem praktycznym pracy jest również aplikacja pozwalająca na weryfikację efektywności opracowanych technik.

## II. Koncepcja i struktura rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera 10 rozdziałów oraz bibliografię obejmującą 314 pozycji. Podstawę pracy stanowią rozdziały od 6ego do 9ego, które prezentują oryginalne wyniki naukowe Doktoranta w zakresie zastosowania sieci lokalnych optimów i uczenia maszynowego w rozwiązywaniu szeregu praktycznych problemów optymalizacyjnych. Kolejne rozdziały pracy zorganizowane są w następujący sposób:

- **Rozdział 1** stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy. Prezentuje on podstawowe cele i zakres pracy. Obejmuje także podstawowe definicje, zastosowania oraz motywacje podjęcia tematu przez Autora.

- **Rozdział 2** prezentuje wybrane problemy optymalizacji dyskretnej, takie jak problemy: komiwojażera, przepływowy, gniazdowy czy cykliczny problem szeregowania i przydziału operacji w wielostanowiskowym gnieździe produkcyjnym. Ich wybór nie jest przypadkowy, tzn. został podyktowany ich analizą w dalszej części rozprawy.
- **Rozdział 3** zawiera opis klasycznych metod optymalizacji dyskretnej, z podziałem na metody dokładne oraz przybliżone. W szczególności, obejmuje on algorytmy konstrukcyjne, algorytmy przeszukiwania lokalnego oraz algorytmy populacyjne. Powyższy przegląd ogranicza się oczywiście do metod stosowanych w pracy.
- **Rozdział 4** obejmuje podstawy dotyczące sztucznych sieci neuronowych i związane z nimi techniki uczenia maszynowego. Szczegółowo omówiono różnice między klasycznym podejściem do sieci neuronowych, a uczeniem głębokim oraz uczeniem ze wzmocnieniem. Doktorant uwypukla również znaczenie podziału danych na zbiory treningowy, walidacyjny oraz testowy umożliwiających uzyskanie sztucznych sieci neuronowych o możliwie dużych zdolnościach uogólniania.
- **Rozdział 5** skupia się na analizie krajobrazu przestrzeni rozwiązań, wliczając następujące cechy przestrzeni rozwiązań: szorstkość, epistazę czy neutralność. Rozdział wprowadza również rozwiązanie bazujące na, tzw. metodzie lokalnych optimów stosowaną szeroko w dalszych rozdziałach pracy.
- **Rozdział 6** stanowi pierwszy z rozdziałów prezentujących wyniki badań własnych doktoranta. Opisano w nim eksperymenty dotyczące rozwiązywania zagadnienia wyboru algorytmu optymalizacyjnego w kontekście problemu komiwojażera. Informacje konieczne do podjęcia właściwej decyzji wyboru algorytmu stanowiły rezultat zastosowania analizy przestrzeni rozwiązań zastosowaniem sieci lokalnych optimów.
- **Rozdział 7** przedstawia rezultaty badania związane z zaobserwowaną zmiennością numeryczną miar sieci lokalnych optimów, która zależną od stopnia próbkowania przestrzeni.
- **Rozdział 8** prezentuje rezultaty badań dotyczące modyfikacji wybranego mechanizmu składowego klasycznej metaheurystyki przeszukiwania z zabronieniami za pomocą neuronowego mechanizmu pamięci. Jej celem było potwierdzenie możliwości usprawnienia klasycznych metod optymalizacji.
- **Rozdział 9** prezentuje badania Doktoranta związane z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych w ramach podejścia bazującego na uczeniu ze wzmocnieniem. Przedstawiono w nim również pomysł konstrukcji bardziej zaawansowanego systemu optymalizacji dyskretnej, wraz ze wstępnymi wynikami dotyczącymi modyfikacji schematu chłodzenia algorytmu symulowanego wyżarzania.
- **Rozdział 10** stanowi podsumowanie rozprawy.
- **Wykaz bibliograficzny** obejmuje 314 pozycji, które bardzo dobrze odzwierciedlają istniejący stan wiedzy.

### III. Oryginalne osiągnięcia i znaczenie poznawcze

Przedmiotem pracy badawczej było uczenie maszynowe i analiza krajobrazu przestrzeni rozwiązań, zastosowane do rozwiązywania wybranych problemów szeregowania zadań i marszrutyzacji. Autor zauważył i przeanalizował szereg interesujących aspektów problemu, które były pomijane lub stanowiły marginalny element w innych opracowaniach. Stąd też konieczne okazało się rozwiązanie wielu cząstkowych zadań. Do najważniejszych osiągnięć rozprawy można zaliczyć:

- modyfikację istniejących algorytmów metaheurystycznych z wykorzystaniem metod opartych o sieci neuronowe, w tym uczenia ze wzmocnieniem oraz mechanizmów neuronowych do rozwiązywania problemów;
- opracowanie metody rozwiązywania problemu wyboru algorytmu dla klasycznego problemu komiwojażera, wykorzystującą analizę przestrzeni rozwiązań i uczenie maszynowe;
- analizę wpływu stopnia próbkowania przestrzeni rozwiązań na wartości numeryczne metryk analizy przestrzeni rozwiązań;
- przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych na instancjach losowych oraz na popularnych, uznanych zbiorach danych.

Zaproponowane metody umożliwiają rozwiązanie problemów z zakresu badań operacyjnych, informatyki oraz automatyki – od klasycznego problemu komiwojażera, poprzez cykliczny problem gniazdowy, aż po cykliczny problem przydziału w niepermutacyjnym problemie przepływowym szeregowania zadań.

Świadczy to jednoznacznie o osiągnięciu przez autora celu postawionego we wstępnej części pracy, zdefiniowanego w postaci tez.

Dorobek naukowy autora rozprawy obejmuje 1 artykuł czasopiśmie indeksowanym w JCR:

- Applied Sciences (100 pkt.);

trzy prace w materiałach międzynarodowych konferencji naukowych:

- International Conference on Dependability and Complex Systems
- International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing
- International Conference of System of Systems Engineering

oraz jeden artykuł w pracy zbiorowej "Modelling and Performance Analysis of Cyclic Systems" wydanej przez Springer.

Uwzględniając wymienione osiągnięcia naukowo-badawcze oraz fakt ich opublikowania w wyżej wymienionych pozycjach, uważam że mgr inż. Teodor Niżyński zrealizował cel rozprawy, udowodnił postawione tezy oraz wykazał się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów teoretycznych i praktycznych szeroko rozumianej

współczesnej informatyki technicznej i telekomunikacji w zakresie optymalizacji i uczenia maszynowego.

#### **IV. Uwagi i komentarze dotyczące rozprawy**

Uwagi ogólne:

- 1) Str. 135: Zbiór algorytmów optymalizacyjnych pochodzących z biblioteki Google Optimization Tools posiada szereg parametrów od których zależy ich zbieżność i szybkość zbieżności. Przyjęcie arbitralnie dopuszczalnego czasu obliczeń na poziomie 1 sekundy nie jest najlepszym rozwiązaniem. Dodatkowo przedstawiona w Tab. 6.1. średnia względna jakość rozwiązań dla poszczególnych algorytmów wymaga szerszych wyjaśnień. W szczególności, Doktorant powinien szczegółowo przedstawić warunki liczenia tej średniej, jak również wskazać jej przedziały ufności.
- 2) Str. 137 i dalsza część pracy: Co Doktorant rozumie pod pojęciem „dokładnie spróbkowana”? Chciałbym zwrócić uwagę Doktoranta na kilka rozwiązań dotyczących, tzw. teorii stochastycznej odporności, która umożliwia udzielenie odpowiedzi na to pytanie.  
Witczak, Marcin, and Przemyslaw Pretki. "Design of an extended unknown input observer with stochastic robustness techniques and evolutionary algorithms." *International Journal of Control* 80.5 (2007): 749-762
- 3) Str. 162: Struktura neuronowego mechanizmu wyboru rozwiązania przedstawiona na rys. 8.2 wymaga bardziej szczegółowego opisu. Konieczne jest formalne zdefiniowanie struktury neuronów oraz samej sztucznej sieci neuronowej. Celowe jest również przedstawienie szczegółów jej konstruowania. Jak dobrać ją w sposób optymalny?
- 4) Rozdział 9 ma charakter czysto werbalny. Uważam, za celowe przedstawienie przez Doktoranta kompletnego schematu obliczeniowego wraz z elementami regulującymi jego działanie.
- 5) Str. 198: „podejście hybrydowe polegałoby na wykorzystaniu agenta który, na przestrzeni iteracji algorytmu przeszukiwania, wybiera akcję odpowiadającą wykorzystaniu pewnego mechanizmu przeszukiwania spośród kilku alternatyw”. Jak Doktorant wyobraża sobie taką hybrydę i uzasadnienie jej zbieżności?

#### **V. Podsumowanie recenzji**

Reasumując, podniesione wyżej uwagi krytyczne i komentarze nie wpływają jednak na wysoką ocenę oryginalnych i opublikowanych osiągnięć naukowo-badawczych, zasadniczych wyników zawartych w recenzowanej pracy oraz jej ogólną pozytywną ocenę. Przedstawione wyniki stanowią niewątpliwie rozwiązanie istotnego problemu naukowego o praktycznym wymiarze, a także dobrze świadczą o erudycji Doktoranta. Stwierdzam zatem, że przedstawiona przez magistra inżyniera Teodora Niżyńskiego rozprawa pt. „Uczenie

maszynowe i analiza krajobrazu przestrzeni w rozwiązywaniu wybranych problemów szeregowania zadań i marszrutyzacji” spełnia w pełni kryteria stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora w Ustawie - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie mgra Teodora Niżyńskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

Prof. dr hab. inż. Marcin Witzak

