prof. dr hab. inż. Józef Korbicz, czł. rzecz. PAN
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych

Zielona Góra, 20 stycznia 2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Zakidalskiego

pt. Ewolucyjne sztuczne sieci neuronowe do wspomagania decyzji kredytowych

w bankowych systemach informatycznych

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej

Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Politechniki Gdańskiej j
dr. hab. inż. Jacka Raka, prof. PG

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Intensywny rozwój metod i technik sztucznej inteligencji i ich zastosowań w wielu obszarach ma szczególne znaczenie w informatycznych systemach bankowych do wspomagania podejmowania efektywnych decyzji kredytowych. Rozwój takich systemów informatycznych jest istotny zarówno z punktu widzenia kredytobiorcy, jak i – przede wszystkim - banku. Trudności w opracowaniu i wdrożeniu takich systemów wynikają głównie ze złożoności opisu oraz uwarunkowań procesu udzielana kredytów, który ma charakter złożonego zadania optymalizacyjnego. Opiniowana rozprawa doktorska jest udaną próbą częściowego rozwiązania tego problemu poprzez opracowanie systemu wspomagania decyzji kredytowych z zastosowaniem nowoczesnych metod i technik sztucznej inteligencji, a w szczególności algorytmów ewolucyjnych oraz sztucznych sieci neuronowych. Zaproponowane rozwiązanie oparto na wielokryterialnym podejściu do oceny wiarygodności kredytowej klientów indywidualnych. Sformułowane we wprowadzeniu robocza hipoteza rozprawy wraz z jej celem są dobrze sformułowane z punktu widzenia budowanego bankowego systemu do efektywnego wspomagania decyzji kredytowych. Należy stwierdzić, że tematyka rozprawy jest aktualna i istotna zarówno z naukowego punktu widzenia, jak i ze względu na możliwe praktyczne zastosowania w instytucjach finansowych.

Rozprawa ma charakter naukowo-aplikacyjny proponując rozwiązanie ważnego i trudnego zagadnienia informatycznego, dotyczącego oceny wiarygodności kredytowej klientów indywidualnych, z wykorzystaniem nowoczesnych metod uczenia maszynowego oraz algorytmów

ewolucyjnych do rozwiązywania złożonych problemów wielokryterialnej optymalizacji. Zaproponowany neuronowo-ewolucyjny algortym/system CENA (ang. *Creditworthiness Evolutionary Neural Assessment*) oparty na nowoczesnych technikach i metodach sztucznej inteligencji, posiada duży potencjał praktyczny i aplikacyjny w bankowych systemach informatycznych.

2. Koncepcja rozprawy i jej realizacja

Rozprawa o ogólnej objętości 121 stron wraz jednostronicowym streszczeniem opracowana jest w języku polskim. Składa się formalnie z pięciu rozdziałów oraz krótkiego trzystronicowego wprowadzenia, w którym przede wszystkim sformułowano cel pracy oraz problem badawczy i hipotezę rozprawy. Załączona bibliografia zawiera 212 pozycji i są to głównie artykuły w czasopismach specjalistycznych, referaty międzynarodowych konferencji naukowych, jak również monografie i książki wydane przez renomowane wydawnictwa światowe, jak i krajowe. Pomimo tak obszernego wykazu odczuwalny jest jednak niedostatek odniesień do niektórych prac z ostatnich dziesięciu lat, w tym np. monografii profesora Andrzeja Obuchowicza pt. *Stable Mutations for Evolutionary Algorithms*, Springer, 2019. Zaproponowana bibliografia pośrednio potwierdza fakt, że doktorant posiada dobrą wiedzę w zakresie dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja, a także problematyki bankowych systemów oceny zdolności kredytowych klientów indywidualnych.

Stosunkowo obszerny bo 30-stronicowy rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do tematyki sztucznych sieci neuronowych oraz algorytmów ewolucyjnych na podstawie przeglądu literatury. Omawia się klasyczne modele sieci neuronowych (wielowarstwowe, radialne, samoorganizujące), zagadnienia ich uczenia oraz zastosowania do oceny wiarygodności kredytowej. Przedstawiono również model uczenia głębokiego oraz metryki klasyfikacji. W końcowej części rozdziału scharakteryzowano algorytmy ewolucyjne i ich zastosowania w klasyfikacji wniosków kredytowych oraz w optymalizacji parametrów sztucznych sieci neuronowych. Całościowo przegląd ten został opracowany poprawnie i stanowi dobre wprowadzenie oraz podstawę do dalszych badań i rozważań.

Krótki, ośmiostronicowy rozdział drugi dotyczy charakterystyki algorytmów neuronowo-ewolucyjnych, w tym ewolucyjnego uczenia sieci neuronowych. Przedstawiono kanoniczne i modułowe ewolucyjne sieci neuronowe, które – jak wskazano – dotychczas nie były stosowane do wielokryterialnego konstruowania klasyfikatorów oceny wiarygodności kredytowej klientów banku.

Z kolei rozdział trzeci poświecono wprowadzeniu do problematyki bankowej czyli omówieniu sytuacji decyzyjnych i kryteriów do oceny wiarygodności wniosków kredytowych. Zaprezentowano wykaz danych dotyczących potencjalnych kredytobiorców wraz z przykładami pochodzącymi z kilku instytucji finansowych. Omówiono wybrane kryteria oceny klientów indywidulnych, takie jak scoring punktowy, dwuklasowa miara kredytowa, wieloklasowy rating, ryzyko z tytułu niewywiązywania się klienta z zobowiązań czy zysk banku

wynikający ze spłaty kredytu. Przedstawiono również ograniczenia nałożone na dane wejściowe, kryteria cząstkowe oraz aspekty związane z oceną wiarygodności kredytowej.

Rozdział czwarty poświęcony jest ważnemu problemowi, który dotyczy zagadnień optymalizacji klasyfikatorów do oceny wiarygodności kredytowej. Omówiono wybrane zagadnienia klasyfikacji kredytowej jako problem optymalizacji jednokryterialnej (maksymalny przychód) oraz wielokryterialny (maksymalny przychód oraz stopień wykorzystania odnawialnej linii kredytowej dla przydzielonych limitów kart kredytowych). Przedstawiono także zagadnienia polioptymalizacji modeli klasyfikujących z wykorzystaniem metryk uczenia oraz zastosowanie optymalizacji wielokryterialnej do wyznaczania kompromisowego klasyfikatora wybieranego ze zbioru Pareto-optymalnego. Dodatkowo omówiono problem klasyfikacji wieloetykietowej oraz uczenia zespołowego pozwalającego na poprawę zdolności uogólniania klasyfikatora wektorowego.

W ostatnim rozdziale piątym przedstawiono opracowany przez doktoranta neuronowo-ewolucyjny system CENA, przeznaczony do wyznaczania Pareto-optymalnych klasyfikatorów i wykorzystany do rozwiązania sformułowanego w rozdziale czwartym problemu optymalizacji wielokryterialnej. Przedstawiono szczegółowy schemat blokowy algorytmu CENA oraz wyniki kilka eksperymentów przeprowadzonych z wykorzystaniem publicznie dostępnych zestawów danych: *German Credit Data*, *Give Me Some Credit* oraz *Lending Club*, (w wersji uproszczonej z serwisu Kaggle). Jednym z eksperymentów było strojenie hiperparametrów systemu CENA na podstawie jednokryterialnej instancji maksymalizacji *pola pod krzywą ROC*. W eksperymencie wygenerowano 1400 struktur sieci neuronowych i pokazano strukturę o najwyższej wartości wskaźników AUC ROC. Zaprezentowano również przykłady konfliktów między kryteriami np. wzrost trafności może spowodować spadek F1-score lub pola pod krzywą ROC dla liderów w populacji. W innych eksperymentach badano wyznaczanie reprezentacji klasyfikatorów Pareto-optymalnych, klasyfikatory maksymalizujące trafność i *F1-score* dla zestawu danych *Give Me Some Credit* czy maksymalizację trafności, *F1-score* i pole pod krzywa ROC dla zestawu danych *Lending Club*. Wyniki eksperymentów przedstawiono między inny w postaci wygenerowanych neuronowych struktur klasyfikatorów, w tym klasyfikatorów optymalnych w sensie Pareto, jak również dwuwymiarowych przekrojów ocen niezdominowanych dla wybranych kryteriów. Zbiorcze wyniki eksperymentów zaprezentowane w Tabeli 5.1 stosunkowo dobrze ilustrują możliwości i właściwości opracowanego algorytmu/systemu CENA.

Na podstawie skrótowego omówienia treści rozprawy stwierdzam, że mgr. inż. Marcin Zakidalski w dobrym stopniu wykazał się umiejętnościami formułowania problemów naukowych na podstawie analizy stanu wiedzy oraz efektywnego wykorzystania dostępnej literatury światowej. Zaproponowane rozwiązanie problemu zwiększenia efektywności decyzji kredytowych w bankach i instytucjach finansowych, oparte na systemie neuronowo-ewolucyjnym, zostało

poparte badaniami eksperymentalnymi. Wykonane obszerne badania eksperymentalne z wykorzystaniem dostępnych publicznie zbiorów danych zagranicznych instytucji finansowych potwierdzają przydatność i efektywność zaproponowanego systemu CENA wspomagającego podejmowanie decyzji kredytowych. System posiada pewien potencjał wdrożeniowy. Rozprawa ma charakter praktyczno-teoretyczny, a do opisu systemu i analizy jego charakterystyk zastosowano właściwy formalizm matematyczno-techniczny dla dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja. Ponadto wykazał się stosunkowo dobrą wiedzą między innymi z takich metod badawczych jak analiza systemów informatycznych, uczenie maszynowe, sztuczne sieci neuronowe, algorytmy ewolucyjne, optymalizacja wielokryterialna czy eksperymentalne badanie/analiza systemów informatycznych.

3. Osiągnięcia oryginalne, wkład autora

Realizując cel badawczy oraz potwierdzając sformułowaną tezę rozprawy, mgr inż. Marcin Zakidalski uzyskał szereg interesujących i oryginalnych wyników naukowych, zweryfikowanych w drodze eksperymentalnych badań komputerowych z wykorzystaniem publicznie dostępnych zbiorów danych bankowych.

Do ważnych osiągnięć naukowych oraz wkładu autora w rozwój dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja* między innymi zaliczam następujące:

a) opracowanie efektywnego systemu informatycznego opartego na wykorzystaniu metod uczenia maszynowego, a w szczególności wielokryterialnych modeli algorytmów ewolucyjnych operujących na populacji sztucznych sieci neuronowych do wyznaczania reprezentacji Preto-optymalnych modeli klasyfikujących stosowanych do oceny wiarygodności kredytowej wniosków;

b) opracowanie metodologii, kryteriów i ograniczeń oceny wiarygodności kredytowej stanowiących podstawę formalizacji problemu optymalizacji wielokryterialnej;

c) opracowanie koncepcji oraz wstępnej implementacji komputerowego systemu CENA do wspomagania oceny wiarygodności wniosków kredytowych klientów indywidualnych;

d) przeprowadzenie szerokich badań symulacyjnych i eksperymentalnych z wykorzystaniem dostępnych publicznych baz danych zagranicznych instytucji finansowych. Załączone liczne wyniki badań eksperymentalnych w formie schematów (architektury sieci neuronowych), wykresów i tabel stosunkowo dobrze ilustrują podstawowe właściwości zaproponowanego systemu, który posiada pewien potencjał wdrożeniowy w bankach i instytucjach finansowych.

Przedstawione w rozprawie oryginalne wyniki naukowe oraz wkład mgr. inż. Marcina Zakidalskiego do dyscypliny *Informatyka techniczna i telekomunikacja* potwierdzone badaniami eksperymentalnymi częściowo zostały już opublikowane w kilku zespołowych pracach naukowych, między innymi w materiałach konferencyjnych IFIP International Conference on *Computer Information Systems and Industrial Management* (2019) oraz International Conference on *Artificial Intelligence and Soft Computing* (2014) wydanych przez światowe wydawnictwo *Springer*. Jest to jednak dosyć skromy dorobek publikacyjny, w którym brakuje artykułów w czasopismach informatycznym, a ponadto został opublikowany ponad pięć lat temu.

Uwzględniając wymienione oryginalne wyniki badań naukowych, istotny wkład naukowy do dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja oraz ich częściowe opublikowanie w materiałach międzynarodowych konferencji informatycznych wydanych przez międzynarodowe wydawnictwo *Springer*, uważam, że mgr inż. Marcin Zakidalski zrealizował cel badawczy w stopniu akceptowalnym, a na drodze badań eksperymentalnych uzasadnił sformułowaną tezę rozprawy.

4. Uwagi i komentarze

Ogólnie całą rozprawę oceniam pozytywnie pod względem merytorycznym oraz redakcyjnym. Zgłoszone uwagi zamieszczone niżej mają charakter dyskusyjny lub edytorski.

a) We wprowadzeniu (str.6) znajduje się jednoznaczne stwierdzenie: *„Na podstawie krytycznej analizy literatury przedmiotu można stwierdzić, że wielokryterialnego podejścia do oceny wiarygodności kredytowej klientów indywidualnych do tej pory nie zaprezentowano w literaturze przedmiotu"* bez wcześniejszego dokonania przeglądu literaturowego i oceny stanu badań w zakresie tematyki rozprawy.

b) Działanie proponowanego systemu/algorytmu CENA (schemat blokowy rys.5.1) polega na wyznaczaniu najlepszej struktury sieci neuronowej (klasyfikatora), w sensie przyjętego kryterium, z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych. Jest to złożony problem obliczeniowy, który wymaga stosunkowo dużej mocy obliczeniowej i czasu jego wykonania. Z informatycznego punktu widzenia w rozprawie brakuje takiej analizy złożoności obliczeniowej, jak również zastosowania lub tylko omówienia bardziej wyrafinowanych metod obliczeniowych. Tylko na końcu rozprawy (str.106) znajduje się komentarz, że problem zrównoleglenia wykonania algorytmu będzie przedmiotem przyszłych badań.

c) Rozwiązując zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej otrzymujemy rozwiązania Pareto-optymalne. W rozprawie, w rozdziale piątym, gdzie pokazano zastosowanie algorytmu CENA do generowania Pareto-optymalnych neuronowych klasyfikatorów odczuwalne jest niedostateczne przedstawienie problemu wyboru klasyfikatora kompromisowego. Jakimi przesłankami należy się kierować przy wyborze takiego klasyfikatora?

d) Uwaga redakcyjna. Ogólnie rozprawa jest dobrze opracowana pod względem redakcyjnym ale do uwag redakcyjnych należy zaliczyć: brak jednolitego systemu numerowania, np. wzory numerowane są np. 4.1.23 ale tabele np. Tabela 5.1, a rysunki np. Rys.1.8. Jednolity system to numer rozdziału.numer wzoru (rysunku, tabeli).

Stwierdzenia zawarte w rozprawie są poprawnie prezentowane, zarówno te dotyczące ogólnej wiedzy doktoranta w zakresie podejmowanej tematyki, jak i te dotyczące proponowanych nowych oryginalnych rozwiązań. Należy też zwrócić uwagę na poprawność zaplanowanych badań eksperymentalnych systemu CENA z wykorzystaniem rzeczywistych danych bankowych i instytucji finansowych, a przede wszystkim na poprawną analizę otrzymanych wyników dotyczących charakterystyk zaproponowanego komputerowego systemu do oceny wiarygodności kredytowej klientów bankowych i instytucji finansowych.

5. Podsumowanie

Mając na uwadze wszystkie aspekty rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Zakidalskigo, a w szczególności odnotowane osiągnięcia naukowe i aplikacyjne oraz wykaz publikacji współautorskich, jak również uwagi dyskusyjne, które nie mają znaczącego wpływu na końcową ocenę rozprawy:

- **stwierdzam**, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania Prawa o szkolnictwie wyższym i nauki z dnia 20 lipca 2018 roku (art. 168) w dziedzinie *inżynieryjno-technicznej* w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja ;*
- **rozprawę zaliczam do kategorii**: zadowalająco spełniająca wymagania rozpraw doktorskich w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja;*
- **wnoszę** o przyjęcie rozprawy przez Radę Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Politechniki Gdańskiej.

