

Kraków, 20.05.2026 r.

prof. dr hab. inż. Paweł Ocoń
Katedra Energetyki,
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Krakowska

Recenzja pracy doktorskiej

Model wspomagania procesu decyzyjnego na potrzeby zapewnienia energii dla Sił Zbrojnych
na podstawie zarządzania paliwem
autorstwa mgr inż. Artura Kępczyńskiego

promotor: **prof. dr hab. inż. Andrzej Frąckowiak**

promotor pomocniczy: **dr inż. Dariusz Łukowski**

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska została przygotowana w formie autoreferatu na podstawie cyklu publikacji. Sam autoreferat liczy 56 stron. W skład osiągnięcia wchodzi prace naukowe stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej

Doktorant przedstawił w autoreferacie następujący zbiór publikacji:

[1]. Kępczyński A., Application of machine learning in the process of commander decision support in the military fuel distribution system, Archives of Thermodynamics, Vol. 46(2025), No. 4, 201–214; doi: 10.24425/ather.2025.156850

Udział doktoranta: 100 %

[2]. Kępczyński A., Model wspomagania procesu decyzyjnego na potrzeby zapewnienia energii dla Sił Zbrojnych. Zarządzanie zasobami paliw w SZ, Warszawa: Wydawnictwo ITWL 2024, rozdział w monografii

Udział doktoranta: 100 %

[3]. Prokopowicz W., Kępczyński A., Zastosowanie sieci neuronowych do modelowania procesów decyzyjnych w wojskowym systemie dystrybucji paliw, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024, rozdział w monografii

Udział doktoranta: 50%: praca koncepcyjna nad celem i kształtem artykułu, współudział w analizie bieżącego stanu literatury, współudział w opracowaniu pierwotnej wersji artykułu i jego edycji, ocena i opracowanie wniosków końcowych

[4]. Łukowski D., Kępczyński A., Transformacja energetyczna – wyzwania dla sił zbrojnych, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024, rozdział w monografii

Udział doktoranta: 50%: praca koncepcyjna nad celem i kształtem artykułu, współudział w analizie bieżącego stanu literatury, współudział w opracowaniu pierwotnej wersji artykułu i jego edycji, wykonanie wykresów i schematów graficznych, ocena i opracowanie wniosków końcowych

[5]. Kępczyński A., Stępień S., Optymalizacja i wspomaganie AI w logistyce wojskowej, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024,

Udział doktoranta: 50%: praca koncepcyjna nad celem i kształtem artykułu, współudział w analizie bieżącego stanu literatury, współudział w analizie matematycznej, współudział w opracowaniu pierwotnej wersji artykułu i jego edycji, wykonanie wykresów i schematów graficznych, ocena i opracowanie wniosków końcowych

[6]. Kępczyński A., Lisowski G., Prokopowicz W., Stępień S., Metody adaptacyjne w logistyce energii wojsk. Zmiany w procesie kształcenia specjalistów służby czołgowo-samochodowej oraz wybrane zagadnienia dotyczące służby pp, 20-28. Warszawa: Wydawnictwo AWiR AKCES SUKCES-SPORT 2023

Udział doktoranta: 25%: Praca koncepcyjna nad celem i kształtem manuskryptu; współudział w analizie bieżącego stanu literatury; współudział w opracowanie pierwotnej wersji artykułu i jego edycji; wykonanie wykresów i schematów graficznych; ocena i opracowanie wniosków końcowych.

Udziały doktoranta zostały potwierdzone przez współautorów publikacji na podstawie oddzielnych oświadczeń.

Autoreferat zawiera następujące informacje:

Wykaz skrótów i oznaczeń, dane osobowe doktoranta, posiadane dyplomy, tytuły, odbyte szkolenia, informacje o dotychczasowym zatrudnieniu, wskazanie osiągnięć naukowych wchodzących w skład dysertacji, streszczenie w języku polskim i angielskim, uzasadnienie podjętej tematyki oraz wprowadzenie, określenie problemu badawczego oraz zadań badawczych, metody badawcze wykorzystane do realizacji rozprawy doktorskiej, obiekty badawcze oraz program realizacji badań, wyniki badań, badania i wyniki implementacyjne prototypu LSWD/LDSS (wyniki niepublikowane), opis wkładu własnego i elementów nowości, wnioski i kierunki dalszych badań, literaturę, wykaz publikacji przedstawionych do oceny, wykaz dorobku naukowego, organizacyjnego i innych osiągnięć, teksty publikacji

stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej, oświadczenia współautorów o wkładzie własnym doktoranta.

Zainteresowania badawcze i doświadczenie zawodowe doktoranta:

Doktorant jest zatrudniony w Ministerstwie Obrony Narodowej Departamencie Wojskowych Spraw Zagranicznych. Zainteresowania naukowe doktoranta koncentrują się na logistyce wojskowej i bezpieczeństwie energetycznym Sił Zbrojnych, ze szczególnym uwzględnieniem wspomagania decyzji w trudnych i niepewnych warunkach.

Jego badania opierają się na trzech głównych filarach:

- a) Zarządzanie energią i paliwami: obejmuje zapewnienie ciągłości zasilania, alternatywne metody pozyskiwania energii (energy harvesting), tworzenie rozproszonych sieci oraz przewidywanie zużycia energii przez wojsko.
- b) Nowoczesne technologie i automatyzacja: dotyczy zastosowania sztucznej inteligencji (AI), uczenia maszynowego, a także projektowania autonomicznych systemów logistycznych i modułowych systemów informatycznych wspierających dowodzenie.
- c) Planowanie operacyjne i analiza ryzyka: skupia się na modelowaniu procesów decyzyjnych, prognozowaniu zapasów (w tym analizy „what-if”), ocenie odporności systemów oraz strategicznym zarządzaniu zasobami podczas operacji militarnych.

Doktorant – oficer Wojska Polskiego w stopniu generała dywizji – jest inżynierem mechanikiem, absolwentem WOSS oraz WAT. Swoje kwalifikacje poszerzał na studiach podyplomowych z zakresu zarządzania kryzysowego i polityki obronnej, a także w ramach specjalistycznych, międzynarodowych kursów sztabowo-logistycznych zintegrowanych ze strukturami NATO.

Przebieg jego służby obejmuje m.in. stanowiska dydaktyczne, dowódcze w strukturach NATO oraz udział w misjach zagranicznych (ONZ, UE). W kraju odpowiadał za strategiczną reformę systemu logistycznego, projektując struktury Wsparcia Państwa Gospodarza (HNS) i wdrażając terytorialny system Wojskowych Oddziałów Gospodarczych (WOG). Jako ekspert uczestniczył w 2020 roku w negocjacjach polsko-amerykańskiej umowy o wzmożonej współpracy obronnej.

W latach 2021–2024, pełniąc obowiązki Szefa Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych, kładł szczególny nacisk na integrację wojska ze środowiskiem akademickim i ośrodkami naukowymi. Od 2026 roku kontynuuje służbę w dyplomacji jako Attaché Obrony RP w Chinach.

Mapowanie publikacji na cele, wyniki i rozdziały rozprawy doktorskiej

Główną osią przedstawionego do oceny autoreferatu doktoranta jest publikacja [2], która nakreśla docelową architekturę wykorzystania sztucznej inteligencji (AI) do zarządzania zaopatrzeniem wojska w paliwa. Wszystkie pozostałe artykuły stanowią kolejne etapy przenoszenia tej koncepcji w konkretne narzędzia, które w przyszłości można by zintegrować z wojskowymi systemami informatycznymi (ZWSI RON).

Wkład poszczególnych publikacji układa się w trzy główne obszary:

- a) Fundamenty techniczne i algorytmy ([1], [3]): Doktorant dobrał i przetestował konkretne modele uczenia maszynowego do krótkoterminowego prognozowania zużycia paliwa. Zdefiniował też sam proces decyzyjny – określił zmienne, ograniczenia oraz możliwości tworzenia scenariuszy (wariantowania).
- b) Bariery organizacyjne ([2]): Badania zidentyfikowały kluczowe problemy spowalniające procesy decyzyjne, takie jak rozproszenie źródeł danych i długi czas ich przygotowania.
- c) Działania strategiczne i bezpieczeństwo ([4], [5], [6]): Prace te osadzają techniczne algorytmy w realiach geopolitycznych i operacyjnych. Doktorant analizuje tu wpływ transformacji energetycznej (z naciskiem na to, że paliwa płynne wciąż pozostaną kluczowe), wykorzystanie AI do oceny ryzyka oraz konieczność budowy elastycznych, odpornych na zakłócenia systemów logistycznych.

Uzasadnienie potrzeby podjętych badań

Paliwo to dla wojska zasób krytyczny – jego brak paraliżuje działania, a nadmiar przy małych magazynach stwarza zagrożenie. Obecnie największym problemem w zarządzaniu nim jest rozproszenie danych. Logiści tracą czas na ręczne scalanie informacji z różnych systemów, zamiast na bieżąco podejmować decyzje.

Doktorant w rozprawie proponuje konkretne rozwiązanie tego problemu: wdrożenie systemu wspomaganie decyzji (LSWD) opartego na sztucznej inteligencji. Algorytmy (sieci neuronowe) działają tu jako inteligentna nakładka na wojskowe bazy danych (ZWSI RON). System przetwarza bieżące informacje i generuje prognozy na przyszłość – ostrzega dowódcę, gdy zapasy niebezpiecznie zbliżają się do poziomu minimum lub maksimum, a także podrzuca mu gotowe warianty działania do wyboru.

Choć praca skupia się wyłącznie na dystrybucji paliwa w Oddziałach Gospodarczych, jest to poligon doświadczalny dla znacznie większego projektu. Zaprojektowany mechanizm jest uniwersalny – docelowo można go wpiąć w systemy całych Sił Zbrojnych i w ten sam sposób zarządzać amunicją, transportem czy częściami zamiennymi.

Określenie problemu badawczego tezy oraz zadań badawczych

Problem badawczy sprowadza się do znalezienia optymalnej architektury logistycznego systemu wspomaganie decyzji (LSWD) dla gospodarki paliwowej na szczeblu oddziału gospodarczego. Głównym wyzwaniem jest zaprojektowanie narzędzia, które w warunkach deficytu informacji oraz wysokiej dynamiki operacyjnej zapewni stabilne prognozy krótkoterminowe. System ten musi nie tylko przewidywać zapotrzebowanie, ale również generować konkretne warianty działania (optymistyczny, optymalny, pesymistyczny), umożliwiając decydującym bieżącą kontrolę stanów magazynowych i minimalizację ryzyka naruszenia progów krytycznych (MIN/MAX).

Teza rozprawy doktorskiej zakłada, że zastosowanie perceptronu wielowarstwowego (MLP), uczonego metodą regularyzacji bayesowskiej (BR), stanowi najefektywniejszy mechanizm predykcyjny dla tak zdefiniowanego problemu. Zapewnia on optymalną zdolność generalizacji i najniższe błędy prognozy. Ponadto przyjęto, że powiązanie algorytmów sztucznej inteligencji z analizą scenariuszową – w ramach której użytkownik może samodzielnie parametryzować uwarunkowania operacyjne – znacząco podnosi użyteczność całego rozwiązania w realnym procesie dowodzenia.

W celu udowodnienia postawionej tezy doktorant podzielił proces badawczy na sześć etapów operacyjnych:

1. Analiza procesu gospodarowania paliwem w OG oraz identyfikacja zmiennych decyzyjnych i uwarunkowań wpływających na poziom zapasu.
2. Opracowanie struktury danych (krok tygodniowy) oraz przygotowanie zbioru historycznego do uczenia i walidacji.
3. Dobór i porównanie konfiguracji MLP oraz algorytmów uczenia (BFGS/BR/LM/RP) z wykorzystaniem miar R, RMSE i MSE.
4. Opracowanie logiki scenariuszowej (trzy warianty) powiązanej z parametrami operacyjnymi, zasobowymi i popytowymi.
5. Implementacja prototypu LSWD w środowisku MATLAB/Excel: interfejs użytkownika (GUI), alerty poziomów MIN/MAX, zapisy iteracji, raportowanie.
6. Walidacja funkcjonalna prototypu: testy scenariuszowe, testy graniczne oraz analiza wrażliwości.

Metody badawcze wykorzystane w rozprawie doktorskiej

Realizacja celów badawczych wymagała integracji trzech podejść metodologicznych: systemowego, empirycznego oraz inżynierskiego. Podejście systemowe posłużyło do opracowania wieloetapowego procesu decyzyjnego, badanie empiryczne pozwoliło na weryfikację modeli uczenia maszynowego, natomiast z perspektywy inżynierskiej zrealizowano projekt i implementację docelowego prototypu systemu wspomaganie decyzji (LSWD).

Jako bazowe narzędzie predykcyjne zastosowano perceptron wielowarstwow (MLP) z pojedynczą warstwą ukrytą. W toku badań przeprowadzono ocenę porównawczą topologii o różnej złożoności (10, 20 i 50 neuronów), testując cztery algorytmy optymalizacji wag: zoptymalizowaną metodę quasi-Newtona (BFGS), Levenberga-Marquardta (LM), resilient backpropagation (RP) oraz regularyzację bayesowską (BR). Ewaluacja oparta na klasycznych miarach błędu i dopasowania (współczynnik R^2 , RMSE, MSE) dowiodła, że optymalną zdolność do uogólniania oraz najwyższą odporność na przeuczenie sieci gwarantuje zastosowanie algorytmu regularyzacji bayesowskiej (MLP-BR).

Warunkiem koniecznym do uzyskania wiarygodnych wyników był rygorystyczny proces przygotowania danych historycznych, zbieranych w oknach tygodniowych. Procedura walidacyjna obejmowała kontrolę spójności szeregów czasowych, uzupełnianie krótkotrwałych luk metodą imputacji konserwatywnej, eliminację wartości skrajnych poprzez winsoryzację

oraz min-max normalizację zmiennych wejściowych do wspólnego przedziału [0, 1]. Wyselekcjonowany zbiór podzielono asymetrycznie na próbę uczącą (70%), walidacyjną (15%) służącą do mechanizmu wczesnego zatrzymania, oraz niezależną próbę testową (15%).

Finalnym etapem prac było wdrożenie zweryfikowanych modeli do środowiska LSWD. Interfejs graficzny systemu zaprojektowano w sposób minimalizujący obciążenie poznawcze decydenta, odpowiednio grupując uwarunkowania operacyjne, zasobowe i środowiskowe. Mając na uwadze specyfikę predykcji wielokrokowej – obciążonej ryzykiem kumulacji błędów w kolejnych iteracjach – zrezygnowano z wyłącznego opierania się na prognozie punktowej. System obligatoryjnie generuje trzy warianty rozwoju sytuacji (optymalny, optymistyczny i pesymistyczny), korelując je z modułem wczesnego ostrzegania o ryzyku naruszenia progów krytycznych (MIN/MAX). Dodatkowo, w celu zapewnienia weryfikacji procesu decyzyjnego, wprowadzono mechanizm automatycznej rejestracji parametrów każdej iteracji w zewnętrznym arkuszu kalkulacyjnym.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań w recenzowanej rozprawie doktorskiej jest proces optymalizacji zapasów paliwa w oddziałach gospodarczych (OG). Ze względu na uwarunkowania sprawozdawcze Sił Zbrojnych oraz konieczność zachowania odpowiedniego horyzontu planistycznego, jako bazy krok czasowy doktorant przyjął interwał tygodniowy. Zmienną stanu przyjętą przez doktoranta jest wolumen zgromadzonego zasobu, rozpatrywany w rygorystycznych granicach wyznaczonych przez parametry MIN i MAX, definiujące odpowiednio bufor bezpieczeństwa oraz technologiczno-proceduralne bariery pojemnościowe magazynów.

Podstawę modelowania stanowił zbiór około 14 tysięcy rekordów pozyskanych z systemu ZWSI RON, wyekstrahowanych do postaci 260 okresów tygodniowych z lat 2019–2023. Model predykcyjny zasilono nie tylko historycznymi bilansami przepływów materiałowych, ale również starannie wyselekcjonowanymi zmiennymi operacyjnymi. Należą do nich m.in. obciążenie logistyczne oddziału, dostępność personelu, sprawność infrastruktury oraz parametry środowiskowe (np. temperatura). Istotną cechą opracowanego modelu jest jego prognostyczny charakter – system umożliwi decydentowi wprowadzanie szacunkowych wartości tych parametrów dla przyszłych okresów, co stanowi fundament dla późniejszej analizy scenariuszowej.

Proces badawczy zrealizowano w układzie czteroetapowym:

1. Faza koncepcyjna – zdefiniowanie mapy procesu decyzyjnego, opracowanie ram wielokryterialnego modelu podejmowania decyzji (WMPD) oraz ustalenie konieczności wariantowania w odniesieniu do progów krytycznych.
2. Faza empiryczna – strukturyzacja i normalizacja danych historycznych, a następnie weryfikacja i selekcja architektur sieci neuronowych pod kątem stabilności uczenia.
3. Faza inżynierska – budowa w środowisku MATLAB w pełni funkcjonalnego prototypu systemu (LSWD), integrującego mechanizmy predykcyjne z warstwą danych arkusza kalkulacyjnego i graficznym interfejsem użytkownika.

4. Faza walidacyjna – ewaluacja zachowania modelu w warunkach skrajnych (testy graniczne i analiza wrażliwości) oraz ocena i dopracowanie interfejsu użytkownika.

Kluczowym osiągnięciem w obszarze uczenia maszynowego (szerzej opisanym w pierwszej publikacji wchodzącej w skład cyklu) było udowodnienie przewagi perceptronu wielowarstwowego uczonego algorytmem regularyzacji bayesowskiej (MLP-BR).

W ramach weryfikacji empirycznej zestawiono ze sobą cztery metody optymalizacji wag (BFGS, BR, LM, RP) dla sieci o zróżnicowanej topologii (10, 20 i 50 neuronów w warstwie ukrytej). Ewaluacja oparta na klasycznych miarach (R^2 , RMSE, MSE) wykazała, że metoda regularyzacji bayesowskiej zapewnia optymalny kompromis pomiędzy dokładnością dopasowania a zdolnością generalizacji. Co szczególnie istotne, dla najbardziej złożonej architektury (50 neuronów) algorytm BR zachował błąd MSE rzędu 10^{-6} , skutecznie opierając się zjawisku przeuczenia. W analogicznych warunkach alternatywna metoda Levenberga-Marquardta (LM) ulegała wyraźnej degradacji. Wybór algorytmu BR gwarantuje tym samym wysoką odporność systemu na szum informacyjny i anomalie w danych historycznych.

Wnioski płynące z badanych publikacji potwierdzają, że same mechanizmy sztucznej inteligencji są niewystarczające bez ich właściwej integracji z procesami dowodzenia. Docelowe narzędzie wspomagania decyzji nie może ograniczać się do ekstrapolacji trendów historycznych. Musi natomiast wspierać analizę typu „co-jeśli”, przewidując skutki planowanych działań w wariantach optymistycznym, pesymistycznym i optymalnym.

Powyższe założenia wymusiły szczególne podejście do projektowania warstwy prezentacyjnej. Interfejs GUI opracowano w sposób minimalizujący obciążenie uwagi decydenta, kładąc nacisk na czytelną wizualizację progów MIN/MAX oraz automatyzację procesu archiwizowania kolejnych iteracji. Taki reżim pracy zapewnia pełną transparentność i możliwość sprawdzenia podejmowanych decyzji logistycznych.

Badania i Wdrożenie Prototypu LSWD

W oparciu o wyłonioną w toku badań konfigurację referencyjną sieci (MLP-BR), zaprojektowano i zaimplementowano w środowisku MATLAB w pełni funkcjonalny prototyp Logistycznego Systemu Wspomagania Decyzji (LSWD). Warstwę wymiany i zapisu danych oparto na arkuszach kalkulacyjnych MS Excel. Zasadniczym celem tego etapu była transformacja teoretycznego modelu numerycznego w operacyjne narzędzie dowódcze, dostosowane do specyfiki podejmowania decyzji pod presją czasu.

Komunikacja z systemem odbywa się poprzez dedykowany interfejs graficzny (GUI), zaprojektowany z uwzględnieniem minimalizacji obciążenia poznawczego użytkownika. Decydent parametryzuje środowisko operacyjne (m.in. intensywność działań, dostępność personelu czy sprawność sprzętu) z wykorzystaniem znormalizowanej skali [0, 1]. Zmienne środowiskowe, takie jak temperatura, wprowadzane są w jednostkach naturalnych. Zastosowanie takiej standaryzacji pozwala mechanizmom predykcyjnym właściwie interpretować destruktywny lub stabilizujący wpływ poszczególnych wskaźników na dynamikę zużycia zasobów.

Kluczową funkcjonalnością systemu nie jest generowanie pojedynczej prognozy, lecz symultaniczne wyznaczanie trzech ścieżek rozwoju sytuacji (wariantu optymalnego, optymistycznego i pesymistycznego). Zostały one matematycznie wyskalowane w taki sposób, aby zapewniały wyraźną rozróżnialność operacyjną.

Proces decyzyjny jest bezpośrednio wspierany przez zautomatyzowany moduł alertowania. Algorytm w sposób ciągły weryfikuje wygenerowane prognozy z narzuconymi limitami infrastrukturalnymi i proceduralnymi (progi MIN/MAX). Ryzyko naruszenia rezerwy krytycznej lub przekroczenia pojemności magazynowej jest natychmiastowo wizualizowane w graficznym interfejsie użytkownika (GUI), stanowiąc bezwzględny sygnał do zainicjowania działań korygujących (np. korekty planu dostaw).

Zgodnie z rygorami wojskowych systemów dowodzenia, LSWD zapewnia pełną możliwość sprawdzenia. Każda iteracja obliczeniowa – wraz ze zbiorem parametrów wejściowych i wygenerowaną predykcją – jest automatycznie archiwizowana w wersjonowanym pliku, z możliwością natychmiastowego eksportu raportu do formatu PDF.

System poddano testom funkcjonalnym o charakterystyce zbliżonej do testów akceptacyjnych (UAT). Badano m.in. spójność logiki wariantowania w warunkach wymuszonej deprywacji zasobów (wstrzymanie dostaw – scenariusze S1-S8) oraz przy maksymalnym obciążeniu procesów (scenariusze S9-S10). Wyniki potwierdziły poprawność mechanizmów wczesnego ostrzegania oraz adekwatność reakcji algorytmu na wprowadzane zmienne brzegowe.

Mimo potwierdzenia założeń projektowych, zdefiniowano katalog krytycznych barier i ryzyk wymagających uwzględnienia na etapie przedwdrozeniowym:

- a) Podatność na zmienność rozkładu danych: Wynikająca z pracy na relatywnie krótkich szeregach czasowych, co wymusza implementację procedur okresowego douczania modeli analitycznych.
- b) Kryterium jakości danych: Model wykazuje wysoką wrażliwość na błędy ewidencyjne (np. nieprawidłowe zdefiniowanie progów MIN/MAX), które mogą skutkować propagacją fałszywych alertów operacyjnych.
- c) Bezpieczeństwo teleinformatyczne: Z uwagi na wrażliwy charakter przetwarzanych danych (stany rezerw, aktywność jednostek), docelowa instalacja wymaga integracji z systemem ZWSI RON wyłącznie w sieciach teleinformatycznych o odpowiedniej klauzuli tajności.
- d) Czynniki pozaalgorytmiczne: Zastosowanie czarnych skrzynek (do których zaliczają się sieci neuronowe) niesie ryzyko braku transparentności wnioskowania. Wymaga to odpowiedniego przygotowania kadr i kategorycznego utrzymania zasady, w której system pełni wyłącznie rolę doradczą, a ostateczna odpowiedzialność spoczywa na dowódcy.

Wnioski końcowe i perspektywy badawcze

Przeprowadzona ewaluacja systemu wykazała, że w zadaniu modelowania wojskowych zapasów paliwa najwyższą stabilność predykcyjną gwarantuje perceptron wielowarstwowy optymalizowany metodą regularyzacji bayesowskiej (MLP-BR). Mechanizm ten skutecznie opiera się zjawisku przeuczenia, które stanowiło krytyczny problem w przypadku rozbudowanych architektur uczonych algorytmem Levenberga-Marquardta.

Wyniki potwierdzają, że estymacja numeryczna nie posiada bezpośredniej wartości dowódczej. Skuteczność systemu zależy od jej sprzężenia z modułem wariantowania scenariuszowego, alertami progowymi (MIN/MAX) oraz bieżącą, manualną parametryzacją środowiska operacyjnego. Implementacja tego typu rozwiązań w strukturach Sił Zbrojnych jest ponadto ściśle warunkowana pełną kontrolą procesu, co w prototypie zrealizowano poprzez zautomatyzowaną archiwizację iteracji.

Kierunki dalszych prac obejmują analizę odporności modelu na zjawisko dryfu koncepcji (*concept drift*) oraz jego integrację z algorytmami uczenia ze wzmocnieniem. W ujęciu strategicznym dysertacja potwierdza słuszność koncepcji modułowego wsparcia procesów logistycznych. Ostatnim wymaganym krokiem jest przeskalowanie sprawdzonej architektury na pozostałe klasy zaopatrzenia i jej pełna integracja z systemem ZWSI RON, co umożliwi generowanie zunifikowanego obrazu sytuacji logistycznej na wszystkich szczeblach dowodzenia.

2. Wkład własny doktoranta i elementy nowości pracy

Doktorant opisał w autoreferacie wkład własny i elementy nowości. Zasadniczy wkład własny w prezentowaną dysertację obejmuje ścisłą formalizację problemu zarządzania zasobami paliwowymi na szczeblu oddziału gospodarczego (OG). Zagadnienie to zdefiniowano jako zoptymalizowany układ z ograniczeniami brzegowymi, wyznaczonymi przez progi MIN i MAX. Kluczowym elementem pracy badawczej był merytoryczny dobór oraz weryfikacja empiryczna mechanizmu predykcyjnego (MLP-BR), który gwarantuje najwyższą stabilność zdolności generalizacyjnych. Ponadto, wkład inżynierski obejmuje opracowanie autorskiej logiki wariantowania scenariuszowego, zintegrowanej z możliwością bieżącej parametryzacji uwarunkowań operacyjnych przez decydenta. Prace te zwieńczono pełną implementacją prototypu Logistycznego Systemu Wspomagania Decyzji (LSWD) w środowisku MATLAB (ze sprzężoną warstwą wymiany danych) oraz zaprojektowaniem i przeprowadzeniem rygorystycznej procedury walidacji funkcjonalnej narzędzia.

Oryginalność i elementy nowości zaproponowanego rozwiązania wynika z bezprecedensowego scalenia rozproszonych dotąd procesów analitycznych w ramach spójnego ekosystemu. Zaprojektowane narzędzie w sposób ciągły integruje zaawansowaną predykcję wielokrokową, analizę wariantową, zautomatyzowany moduł wczesnego ostrzegania (alertowania) oraz system raportowania z natywnym mechanizmem audytowania (wersjonowania) poszczególnych iteracji. Wdrożenie takiego podejścia metodycznego umożliwi bezpośrednio i bezpiecznie zastosowanie modelu numerycznego w rzeczywistej pętli decyzyjnej dowódcy.

Wymiar użyteczny rozprawy należy rozpatrywać w szerszym kontekście docelowej architektury teleinformatycznej Sił Zbrojnych. Zbudowany prototyp LSWD stanowi w pełni skalowalny

moduł. Docelowo może on pełnić funkcję bazowego komponentu „warstwy inteligentnej”, operującej bezpośrednio na strumieniach ewidencyjnych z wojskowego systemu bazodanowego ZWSI RON. Przyjęta architektura pozwala na elastyczny rozwój rozwiązania w kierunku wieloszczeblowego wsparcia procesów dowodzenia (od szczebla OG do poziomów nadrzędnych) oraz jego późniejszą implementację w pozostałych domenach zabezpieczenia logistycznego.

3. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

1. Przede wszystkim brakuje mi w autoreferacie jak i publikacjach dokładniejszego opisu modelu matematycznego zastosowanego w systemie LSWD. Tytuł rozprawy doktorskiej brzmi: „Model wspomagania procesu decyzyjnego na potrzeby zapewnienia energii dla Sił Zbrojnych na podstawie zarządzania paliwem”, natomiast głównie przedstawione są wyniki obliczeń, interfejs użytkownika, schemat modelu sieci neuronowej, opisane zmienne decyzyjne. Konieczne jest dokładniejsze opisanie zastosowanego modelu (z wykorzystaniem użytych równań), chociażby na bazie równań przedstawionych w publikacjach [5] i [6].
2. W odniesieniu do symulacji, na wykresach przedstawiono zmienną stan magazynu, tylko niestety brakuje tutaj jednostki. Trzeba by było napisać stan magazynu (objętość w litrach).
3. Przedstawione rysunki obrazujące wyniki symulacji mogłyby być w wyższej rozdzielczości
4. Czy próbowano używać innych algorytmów uczenia sieci neuronowych niż BFGS, BR, LM i RP, które domyślam się że są domyślnie zaimplementowane w środowisku MATLAB ?
5. Dlaczego RMSE rośnie wraz z liczbą neuronów (Rysunek 10)?

4. Wnioski i ocena końcowa

Powyższe uwagi nie wpływają na ocenę autoreferatu pracy doktorskiej, która moim zdaniem jest przygotowany prawidłowo. Uważam, że doktorant osiągnął wszystkie zakładane cele, oraz udowodnił tezę pracy.

Kluczowym rezultatem pracy doktorskiej jest empiryczne wykazanie skuteczności perceptronu wielowarstwowego optymalizowanego algorytmami regularyzacji bayesowskiej (MLP-BR). Na drodze przeprowadzonych analiz porównawczych doktorant udowodnił, że taka architektura gwarantuje najwyższą stabilność generalizacji oraz odporność na zjawisko przeuczenia. Właściwości te okazały się decydujące dla precyzyjnej predykcji zapasów wojskowych w oparciu o obciążone szumem lub niepełne dane historyczne.

Pracy opiera się na opracowaniu autorskiej logiki wariantowania scenariuszowego. Odrzucając obciążoną dużym ryzykiem błędu prognozę punktową, zaproponowano mechanizm jednoczesnego wyznaczania trzech ścieżek rozwoju sytuacji (optymalnej, optymistycznej i pesymistycznej). Logikę tę połączono z modułem detekcji naruszeń progów bezpieczeństwa

(MIN/MAX) oraz z systemem bieżącej parametryzacji uwarunkowań operacyjnych przez decydenta.

Bardzo istotnym osiągnięciem doktoranta jest skuteczna transformacja zwalidowanych modeli matematycznych w operacyjny prototyp Logistycznego Systemu Wspomagania Decyzji (LSWD). Narzędzie to, zaimplementowane w środowisku MATLAB przy użyciu zewnętrznej warstwy danych, wyposażono je w przyjazny użytkownikowi interfejs co ma krytyczne znaczenie dla procedur wojskowych. Gwarantuje to pełną transparentność każdej podjętej decyzji.

Praca doktorska również dowodzi wykonalności modułowego wdrażania rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w Siłach Zbrojnych RP. Zaprojektowana architektura ma charakter pełni skalowalny. Stanowi ona gotowy model koncepcyjny dla „inteligentnej warstwy analitycznej”, która docelowo może zostać zintegrowana ze środowiskiem bazodanowym ZWSI RON i może zostać rozszerzona na zarządzanie pozostałymi klasami zaopatrzenia (jak amunicja czy części zamienne) na wszystkich szczeblach dowodzenia.

Uważam, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez odpowiednie ustawy. Zatem wnioskuję do rady dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Artura Kępczyńskiego do publicznej obrony.

Paweł
Paweł
Ocioń
Ocioń
2026.05.20
06:15:06
+02'00'