



Politechnika
Wrocławska

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 13. 01. 2024
Zarejestrowano pod nr 510-11-7/24
Podpis *Sm*

Wrocław, 26.12.2024 r.

Recenzja pracy doktorskiej (sporządzonej w oparciu o cykl publikacji) mgra inż. Adriana Dudka zatytułowanej: „Generative Gaussian Process Models in Functional Phenomena Analysis and Fault Detection” (PL: Generatywne modele procesów Gaussowskich w analizie zjawisk funkcjonalnych i wykrywaniu usterek) przygotowanej pod kierunkiem promotora: prof. dra hab. inż. Jerzego Baranowskiego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej pana dra hab. inż. Ryszarda Srokę, prof. uczelni, do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne panu mgr. inż. Adrianowi Dudkowi.

Niniejsza recenzja ma za zadanie zgodnie z Art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (t.j. Dz.U. 2017 poz. 1789, dalej jako: u.s.n.), mającego zastosowanie w sprawie w związku z art. 175 ust. 1 Przepisów wprowadzających ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z 3.7.2018 r. (Dz.U. 2018 r. poz. 1669) ocenić czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wkładu w dyscyplinę.

W ramach przeprowadzonej recenzji zostaną ocenione następujące punkty:

1. Tematyka pracy doktorskiej i jej wkład w dyscyplinę Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Ad. 1. Temat pracy doktorskiej brzmi: „Generatywne modele procesów Gaussowskich w analizie zjawisk funkcjonalnych i wykrywaniu usterek”.

Rozprawa ta składa się z **sześciu** (opublikowanych w latach 2021-2024) ściśle powiązanych tematycznie artykułów naukowych w języku angielskim i jest zgodna z przepisami zawartymi w artykule 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Artykuły wchodzące w skład niniejszego cyklu publikacji zostały uprzednio poddane recenzji w ramach procesu publikacyjnego i przedstawiają nowoczesne rozwiązania dotyczące tematyki pracy doktorskiej, skoncentrowanej na zastosowaniu Procesów Gaussowskich (GP) do modelowania i analizy złożonych zjawisk funkcjonalnych oraz wykrywania usterek w systemach technicznych.

stenu

W mojej ocenie – wybrany temat rozprawy, jest aktualny i stanowi istotny wkład dla dyscypliny naukowej: **Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**.

2. Zagadnienia naukowe rozprawy – tezy oraz problemy badawcze pracy.

W pracy zostały postawione dwie następujące tezy:

1. *Gaussian Processes can fill a gap in functional phenomena analysis and diagnostics (Procesy Gaussa mogą wypełnić lukę w analizie i diagnostyce zjawisk funkcjonalnych).*
2. *Generative Gaussian Processes models can be useful in the context of diagnostics with a lack of data (Modele procesów generatywnych Gaussa mogą być przydatne w kontekście diagnostyki w przypadku braku danych).*

W celu potwierdzenia wyżej postawionych tez Autor sformułował **6** problemów badawczych:

- **Problem 1.** Adoption of the GP in technical sciences (Przyjęcie GP w naukach technicznych):
 - Wkład Autora w rozwiązanie tego problemu dotyczył kompleksowej analizy szerokiego zakresu zastosowań GP w naukach technicznych, gdzie Autor skupił się na inżynierii sterowania i przetwarzaniu sygnałów. W ramach swoich działań zidentyfikował i skategoryzował metody wdrażania GP, podkreślając ich zalety i wyzwania, zwłaszcza dotyczące wymagań obliczeniowych. Zaprezentował także innowacyjne podejścia, takie jak próbkowanie MCMC, ML-II, rzadkie przybliżenia i strategie wyboru jądra, które zwiększają efektywność GP. Odzwierciedlenie tych działań zostało ujęte w publikacji:
 - [1] A. Dudek and J. Baranowski. "Gaussian Processes for Signal Processing and Representation in Control Engineering". In: *Applied Sciences* 12.10 (2022).
- **Problem 2.** Efficiency of GP generative model computing (Efektywność obliczeń modelu generatywnego GP):
 - Aby rozwiązać ten problem, Autor zaproponował rozwiązanie zwiększające wydajność obliczeniową GP dzięki wykorzystaniu węzłów Czebyszewa i szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Kluczowym wkładem jest redukcja domeny obliczeniowej przez strategiczny wybór punktów oparty na właściwościach węzłów Czebyszewa, co zmniejsza liczbę obliczeń i znacząco przyspiesza proces. Odzwierciedlenie tych działań znalazło się w publikacji:
 - [2] A. Dudek and J. Baranowski. "Efficient Gaussian Process Calculations Using Chebyshev Nodes and Fast Fourier Transform". In: *Electronics* 13.11 (2024).
- **Problem 3.** Detecting transient anomalies in signals (Wykrywanie anomalii przejściowych w sygnałach):
 - Podejście Autora w celu rozwiązania powyższego problemu łączy GP i analizę głębokości danych w celu wykrywania przejściowych anomalii w systemach sterowania. Autor zamodelował cały sygnał jako funkcję czasu, eliminując ryzyko uśrednienia lub pominięcia anomalii oraz stworzył probabilistyczny model zdrowych i wadliwych stanów przy wykorzystaniu funkcji głębokości danych do analizy w

Stemu

praktycznych scenariuszach. Proponowana metoda zapewnia precyzyjne i niezawodne wykrywanie subtelnych anomalii, zwiększając skuteczność i niezawodność diagnozowania usterek w złożonych systemach i została przedstawiona w publikacji:

- [3] J. Baranowski, A. Dudek, and R. Mularczyk. "Transient Anomaly Detection Using Gaussian Process Depth Analysis". In: 2021 25th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). 2021, pp. 221–226.
- **Problem 4.** Challenges in induction motor diagnostics (Wyzwania w diagnostyce silników indukcyjnych):
 - Rozwiązanie zaproponowane przez Autora łączy GP z modelami mieszanin Gaussa (GMM) w diagnostyce usterek silników indukcyjnych, gdzie GP pełni rolę narzędzia wnioskowania bayesowskiego w GMM, umożliwiając dokładniejszą klasyfikację usterek na podstawie profili funkcjonalnych i charakterystyk częstotliwościowych. Zaproponowana metoda wykorzystuje dane syntetyczne do uzupełnienia rzeczywistych, poprawiając wydajność obliczeniową i precyzję diagnostyki, szczególnie w przypadku ograniczonych lub niezrównoważonych danych. To podejście stanowi istotny krok w proaktywnej konserwacji i wykrywaniu usterek silników i zostało zaprezentowane w publikacji:
 - [4] A. Dudek, K. Jarzyna, and J. Baranowski. "Mixture Based Classifier Using Gaussian Processes for Induction Motor Diagnosis". In: Proceedings of the IECON 2024 - 50th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 3-6 November, Chicago, USA, 2024.
- **Problem 5.** Li-Ion battery diagnostics (Diagnostyka akumulatora Li-Ion):
 - Badania autora rozwijają możliwości przewidywania SoH baterii litowo-jonowych, łącząc GP z metodami ML-II i próbkowaniem MCMC. Dzięki podejściu wielojądrowemu rozwiązanie to zwiększa dokładność i elastyczność, dostosowując się do zmiennych warunków pracy baterii. Metoda ta natomiast oferuje probabilistyczne zrozumienie ich kondycji, wychwytyjąc niepewność i eliminując ograniczenia tradycyjnych metod, co poprawia niezawodność i żywotność systemów baterii. Wyniki działań zostały przedstawione w publikacji:
 - [5] A. Dudek and J. Baranowski. "Modelling of Li-Ion battery state-of-health with Gaussian processes". In: Archives of Electrical Engineering vol. 72, No 3 (2023), pp. 643–659.
- **Problem 6.** Spatial modeling of air pollution (Modelowanie przestrzenne zanieczyszczenia powietrza):
 - Proponowane podejście wzmacnia modelowanie zanieczyszczenia powietrza przez fuzję danych z niedrogich czujników i stacji monitorujących, wykorzystując metodę INLA w R-INLA. Dzięki temu model precyzyjnie potrafi uchwycić zmienną naturę zanieczyszczeń i tworzy dokładne mapy nawet na obszarach o ograniczonych danych. Integracja różnych typów danych oraz zastosowanie GP w analizie przestrzennej poprawia precyzję prognoz, oferując solidne narzędzie do monitorowania środowiska i ochrony zdrowia publicznego. Wyniki zostały przedstawione w poniższej pracy:
 - [6] A. Dudek and J. Baranowski. "Spatial Modeling of Air Pollution Using Data Fusion". In: Electronics 12.15 (Aug. 2023), p. 3353.

Stefan

Każdy wskazany przez pana mgr inż. Adriana Dudka problem badawczy został rozwiązany i opublikowany w artykułach naukowych stanowiących zwarty cykl publikacji. Uważam, że problemy postawione w pracy zostały rozwiązane a tezy spełnione. Oceniając otrzymane przez doktoranta wyniki, można stwierdzić, że niniejsza rozprawa doktorska spełnia wszystkie standardy obowiązujące w przypadku prac doktorskich oraz, iż w znacznym stopniu przyczynia się do rozwoju dyscypliny naukowej jaką jest **Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**.

3. Struktura pracy

Ad. 3. Rozprawa doktorska składa się z **156** stron (wliczając stronę tytułową w języku angielskim, stronę tytułową w języku polskim, podziękowania, streszczenie w języku angielskim, streszczenie w języku polskim, wykazy skrótów, spis treści, literaturę oraz załączniki) i została podzielona na **4** rozdziałów wprowadzających (w tym nieponumerowany spis literatury) oraz załączników składających się z pełnych tekstów publikacji wchodzących w skład monotematycznego cyklu. W teoretycznej (wprowadzającej) części pracy zawarto **44** wzory oraz **10** rysunków. Bibliografia składa się z **31** pozycji, w skład w których wchodzi **1** publikacja Autora rozprawy.

Jak już zostało to wcześniej wspomniane - praca składa się z cyklu publikacji i została przez to podzielona na dwie części - pierwsza część to wprowadzenie teoretyczne i jego struktura zbliżona jest do tradycyjnych rozpraw. Praca została napisana w dobrym, zrozumiałym języku angielskim.

Pierwszą część pracy rozpoczyna "**Introduction**" - rozdział **pierwszy**, w którym zawarto wstęp do tematu, motywację, podstawy teoretyczne procesów Gaussowskich, wymieniono publikacje stanowiące monotematyczny cykl, przedstawiono postawione tezy oraz problemy badawcze. W rozdziale **drugim** zatytułowanym "**Detailed overview of conducted research**" podsumowano badania przeprowadzone w celu rozwiązania kluczowych problemów wspierających proponowane w rozprawie tezy. W rozdziale tym opisano powiązania z problemami badawczymi oraz przeanalizowano artykuły stanowiące monotematyczny cykl. W rozdziale tym opisano także wyniki przeprowadzonych eksperymentów, opisano zastosowane metodologie, napotkane problemy oraz proponowane rozwiązania, stanowiące podstawę wniosków tej rozprawy. Rozdział **trzeci** zatytułowany "**Concluding Remarks and Future Work**" zawiera krótki opis podsumowujący rozprawę, której głównym celem było zajęcie się kluczowymi wyzwaniami związanymi z systemami sterowania, zwłaszcza w kontekstach, w których tradycyjne metody mają trudności z zarządzaniem niepewnością i wykrywaniem anomalii w czasie rzeczywistym. Autor skupił się w swoich działaniach na modelach GP, które ze względu na swoją probabilistyczną naturę, oferowały znaczące korzyści nie tylko w przewidywaniu zachowania systemu, ale także w szacowaniu niepewności przewidywań, co czyni je szczególnie cennymi w diagnostyce usterek. W rozdziale tym wymienił także swoje najbardziej znaczące zasługi związane z tą tematyką badawczą.

Stefan

Druga część pracy - cykl publikacyjny zawarty w załączniku A składa się z sześciu poniższych artykułów naukowych:

- I. **A. Dudek** and J. Baranowski. "Gaussian Processes for Signal Processing and Representation in Control Engineering". In: *Applied Sciences* 12.10 (2022).
- II. **A. Dudek** and J. Baranowski. "Efficient Gaussian Process Calculations Using Chebyshev Nodes and Fast Fourier Transform". In: *Electronics* 13.11 (2024).
- III. J. Baranowski, **A. Dudek**, and R. Mularczyk. "Transient Anomaly Detection Using Gaussian Process Depth Analysis". In: *2021 25th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*. 2021, pp. 221–226.
- IV. **A. Dudek**, K. Jarzyna, and J. Baranowski. "Mixture Based Classifier Using Gaussian Processes for Induction Motor Diagnosis". In: *Proceedings of the IECON 2024 - 50th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 3-6 November, Chicago, USA, 2024.
- V. **A. Dudek** and J. Baranowski. "Modelling of Li-Ion battery state-of-health with Gaussian processes". In: *Archives of Electrical Engineering* vol. 72, No 3 (2023), pp. 643–659.
- VI. **A. Dudek** and J. Baranowski. "Spatial Modeling of Air Pollution Using Data Fusion". In: *Electronics* 12.15 (Aug. 2023), p. 3353.

W pięciu pracach doktorant jest pierwszym - wiodącym autorem.

4. Uwagi redakcyjne, krytyczne oraz pytania do pracy.

Ad. 4.

- W pracy brakuje szczegółowego przeglądu literatury jako osobnego rozdziału, który w jasny i czytelny sposób przedstawiłby korzyści jakie w naukę wnoszą rozwiązania proponowane przez Autora.
- W pracy brakuje osobnego rozdziału stanowiącego szczegółową dyskusję i wnioski na temat przeprowadzonych działań badawczych.
- Bardzo skromny spis literatury zawierający zaledwie 31 pozycji, w tym linki do stron.
- Str. 4: Brakuje odniesień literaturowych, które udowodniłyby twierdzenia autora o możliwości wyrażania procesów Gaussowskich na wiele sposobów a także wzbogaciłyby dość skromną literaturę dla części pierwszej pracy.
- Str. 4: Autor z rozdziału 1 od razu przeskakuje do podrozdziału 1.1 - bez żadnego wprowadzenia.
- Str. 7-15: Brakuje odniesień literaturowych dla prezentowanych definicji. Nie są to wszakże pojęcia wymyślone przez Autora rozprawy.
- Uwagi dotyczące rysunków:
 - Str. 22 - Rys. 2.1. - bardzo słaba rozdzielczość.
 - Str. 28 - Rys. 2.4. - nieczytelne ujęcie.
 - Str. 29 - Rys. 2.6. - nieczytelna (zbyt mała) czcionka.
 - W całej pracy (części pierwszej) czcionki na wykresach/rysunkach są niejednorodnego charakteru.
- Str. 39: Tytuł rozdziału sugeruje także opis dalszych prac badawczych, którego to próżno w nim szukać.

Stępiński

- Jakie są plany wdrożeniowe Pańskiego rozwiązania?
- Jakie jest największe osiągnięcie tej pracy?
- Jak liczbowo można byłoby krótko ocenić skuteczność proponowanych rozwiązań?

A także następujące pytania do pracy:

Pytanie 1:

W rozprawie zostały zaprezentowane generatywne modele procesów Gaussowskich które stanowią jedną z wielu podklas generatywnego modelowania procesów, proszę o odniesienie się do innych klas i krytyczną analizę swojego rozwiązania w ich kontekście.

Pytanie 2:

W rozprawie poruszono temat detekcji usterek poprzez analizę funkcyjną z wykorzystaniem generatywnych modeli procesów Gaussowskich, zagadnienie to jest obecnie szeroko eksplorowane również z użyciem innych metod. W pracy jednak nie przedstawiono porównania opracowywanego rozwiązania z innymi stosowanymi algorytmami do tego używanych. Proszę o przedstawienie koncepcji metody porównania skuteczności opracowanych algorytmów z innymi.

Pytanie 3.

W zagadnieniach związanych z przetwarzaniem dużych zbiorów danych i uczeniem modeli na nich opartych kluczową rolę odgrywają zasoby niezbędne do tych zadań. Proszę scharakteryzować opracowane rozwiązanie w tych kategoriach i porównać je do innych metod. Porównanie to może bazować na badaniach literaturowych.

5. Podsumowanie.

Ad. 5. Przedstawione do oceny prace naukowe zostały już wcześniej zrecenzowane w procesie publikacyjnym, a całość rozprawy stanowi tak naprawdę zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych, a moje powyższe uwagi krytyczne nie wpływają na merytorykę pracy oraz na jej pozytywny odbiór.

Uważam, że Doktorant z powodzeniem udowodnił postawione wcześniej tezy oraz rozwiązał problemy badawcze. Podsumowanie istotnego wkładu w dyscyplinę stanowią:

1. Walidacja modeli GP w diagnostyce:
 - Wykazano skuteczność modeli procesów Gaussowskich (GP) w rozwiązywaniu złożonych nieliniowych zależności w diagnostyce technicznej.
 - Podkreślono ich zdolność do zapewniania mocy predykcyjnej i ilościowego określania niepewności w analizie w czasie rzeczywistym.
2. Opracowanie generatywnych modeli GP:
 - Wykazano użyteczność generatywnych modeli GP w środowiskach o ograniczonej ilości danych poprzez generowanie syntetycznych zestawów danych w celu poprawy dokładności diagnostyki.
 - Ustanowiono solidne podstawy do dalszych postępów w modelach GP, w szczególności w zakresie wydajności w czasie rzeczywistym czy skalowalności.
3. Rozszerzono zastosowanie modeli GP w różnych domenach, takich jak min.:

Stępn

- Monitorowanie stanu baterii.
 - Wykrywanie anomalii w procesach przemysłowych.
 - Wykazano przydatność modeli GP w złożonych systemach technicznych.
4. Zapewniono znaczące postępy w algorytmach diagnostycznych poprzez wykorzystanie predykcyjnych i generatywnych możliwości modeli GP, zwiększając w ten sposób ich praktyczną przydatność.

Ponadto Autor jest autorem/współautorem **10** publikacji naukowych (Scopus) i posiada następujący indeks Hirscha: **2** (Scopus), **21** cytowań (Scopus).

Brał także czynny udział w projekcie finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki-Opus-21 "Process Fault Prediction and Detection" (2021/41/B/ST7/03851), gdzie koncentrował się na problemach związanych z wykrywanie anomalii, zwłaszcza w procesach przemysłowych.

W mojej ocenie, rozprawa doktorska **mgra inż. Adriana Dudka** zawiera bardzo wartościowe wyniki, a ponadto ma potencjalną wartość praktyczną, a moja ocena pracy **mgra inż. Adriana Dudka** jest **pozytywna**. Moim zdaniem niniejsza praca prezentuje cenne wyniki badań i jest znaczącym osiągnięciem naukowym w **dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne**. Spełnia ona również w mojej ocenie wszystkie wymogi zawarte w aktualnie obowiązującej Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" w sprawie warunków i trybu przeprowadzania przewodów doktorskich i może być przedmiotem publicznej obrony.

Wniosuję także o **wyróżnienie rozprawy mgra inż. Adriana Dudka**.



.....
Dr hab. inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, prof. Uczelni
Katedra Sztucznej Inteligencji
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, bud. D-21
50-370 Wrocław
aleksandra.kawala-sterniuk@pwr.edu.pl