

Kraków, 4 lipca 2023r.

dr hab. inż. Michał Bereta, Prof. PK
Prodziekan ds. Nauki Wydziału Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Krakowska
mbereta@pk.edu.pl

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Tytuł

Measurement and Analysis of Cognitive Workload on the Basis of Eye-tracking Activity Using Machine Learning

Dyscyplina

Informatyka techniczna i teleinformatyka

Autor

Monika Kaczorowska

Miejsce

Polish-Japanese Academy of Information Technology, ul. Koszykowa 86, 02-008 Warszawa

Promotorzy

Promotor: Prof. Adam Wierzbicki, Ph.D.

Promotor pomocniczy: Małgorzata Plechawska-Wójcik, Ph.D.

Ogólny opis pracy i tematyki badawczej

Praca doktorska autorstwa Moniki Kaczorowskiej, zatytułowana "Measurement and Analysis of Cognitive Workload on the Basis of Eye-tracking Activity Using Machine Learning", skupia się na problemie oszacowania obciążenia poznawczego. Autorka proponuje wykorzystanie techniki eye-trackingu do zbierania danych oraz wyjaśnialnych metod uczenia maszynowego do szacowania poziomu obciążenia poznawczego.

Głównym celem badań było sprawdzenie, czy cechy oparte na śledzeniu wzroku i wydajności użytkownika mogą być użyte do klasyfikacji obciążenia poznawczego oraz opracowanie interpretowalnego modelu uczenia maszynowego, umożliwiającego klasyfikację różnych poziomów obciążenia poznawczego. Badania obejmowały zebranie danych eksperymentalnych, opracowanie procedur przetwarzania i przetestowanie ich na zebranych danych.

Jednym z kluczowych elementów pracy było samodzielne zebranie danych eksperymentalnych, które zostały poddane pogłębionej analizie i przetworzeniu w celu ich wykorzystania w przygotowanych



modelach uczenia maszynowego. Ta metoda badawcza zapewniła Autorce kontrolę nad jakością danych i umożliwiła precyzyjne dostosowanie procesu analizy.

Praca składa się z cyklu czterech powiązanych tematycznie publikacji naukowych, do których dołączono obszerne wprowadzenie w omawianą tematykę badawczą. Takie podejście pozwala czytelnikowi na uzyskanie kompleksowego zrozumienia kontekstu i rozwoju prac badawczych. Ponadto, każda z publikacji prezentuje postępy w badaniach, stosując coraz bardziej zaawansowane metody analityczne, co prowadzi do coraz lepszych wyników.

W ramach pracy omówiono wiele technik analizy danych, które mogą być wykorzystane do analizy zebranych danych eksperymentalnych. Autorka skupiła się na przygotowaniu modelu klasyfikacyjnego niezależnego od osoby (ang. *subject-independent classification*), co oznacza, że model może być używany dla różnych osób, nawet tych spoza zbioru danych trenujących. To podejście ma duże znaczenie praktyczne, umożliwiając budowanie systemów wykrywających stopień obciążenia poznawczego, który może być zastosowany w nowych warunkach pracy.

Przedstawiony cykl publikacji bardzo dobrze pokazuje postępy prac i zastosowanie coraz bardziej zaawansowanych metod analitycznych, które prowadzą do coraz lepszych wyników. Najlepsze testowane podejścia osiągnęły wysokie wyniki klasyfikacji, przekraczające 96%, co potwierdza skuteczność zaproponowanych metod. Praca doktorska Moniki Kaczorowskiej może być wartościowym źródłem informacji dla badaczy zainteresowanych badaniem obciążenia poznawczego oraz poszukujących nowych technik i metod analizy w tym obszarze.

Podsumowując, praca doktorska Moniki Kaczorowskiej stanowi wartościowy wkład w badania dotyczące oszacowania poziomu obciążenia poznawczego, pokazuje również głęboką wiedzę Autorki na temat analizy danych, budowania i testowania modeli uczenia maszynowego, planowania eksperymentów oraz krytycznej analizy wyników.

Cel badawczy rozprawy i jego znaczenie

W pracy wskazano trzy główne cele badawcze, które obejmują następujące zagadnienia:

- **Badanie, czy cechy oparte na śledzeniu wzroku i wydajności użytkownika mogą być wykorzystane do klasyfikacji poziomów obciążenia poznawczego.** W szczególności, badanie skupia się na wykrywaniu obecności lub braku zmęczenia psychicznego oraz uzyskiwaniu satysfakcjonujących wyników przy użyciu podejścia niezależnego od badanej osoby. Kolejnym celem jest sprawdzenie, czy proces wyboru cech pozwala na uzyskanie lepszych wyników w klasyfikacji poziomów obciążenia poznawczego.
- **Opracowanie interpretowalnego modelu uczenia maszynowego umożliwiającego klasyfikację poziomów obciążenia poznawczego.** Celem tego badania jest opracowanie modelu uczenia maszynowego, który umożliwia klasyfikację poziomów obciążenia poznawczego w podejściu wieloklasowym, niezależnym od badanej osoby.
- **Poprawa jakości klasyfikacji poziomów obciążenia poznawczego.** Celem tego badania jest poprawa modelu klasyfikacji poprzez zastosowanie rozmytych metod agregacji. Prawdopodobieństwa przynależności do poszczególnych klas są traktowane jako dane wejściowe dla funkcji agregujących. Statystyki *ex-Gaussa* (ang. *Exponentially modified*

Gaussian distribution) mogą być stosowane w etapie ekstrakcji cech. Analiza cech jest możliwa dzięki zastosowaniu interpretowalnych modeli uczenia maszynowego.

Cele pracy zostały z powodzeniem zrealizowane, a kolejne prezentowane publikacje naukowe stanowią doskonałe odzwierciedlenie postępów i wzbogacania modeli badawczych. Autorka pracy wykazała się elastycznością, korzystając z różnorodnych podejść, takich jak algorytmy wyboru cech, agregacje klasyfikatorów z wykorzystaniem technik rozmytych oraz wykorzystanie rozkładów ex-Gausa w analizie danych. Dzięki temu udało się uzyskać lepsze wyniki klasyfikacji poziomów obciążenia poznawczego, co może stanowić wartościowe źródło informacji przy budowie systemów monitorujących ten rodzaj obciążenia.

Biorąc pod uwagę, że badania naukowe przeprowadzone przez Autorkę dotyczą istotnych społecznie kwestii klasyfikacji obciążenia poznawczego, zarówno przedstawione cele badawcze jak i osiągnięte wyniki należy uznać za istotne zarówno od strony naukowej jak również pod względem ich możliwego praktycznego wdrożenia w rzeczywistych rozwiązaniach.

Struktura i zawartość pracy

Praca napisana jest w języku angielskim (z wyjątkiem streszczenia w języku polskim). Ma 126 stron. Posiada stronę tytułową oraz stronę z dedykacją. Zaczyna się od jednostronicowego streszczenia w języku angielskim a następnie prezentuje jego odpowiednik w języku polskim. Następnie zaprezentowany jest spis treści.

Zawartość pracy podzielono na siedem rozdziałów.

Rozdział pierwszy pt. „Introduction” wprowadza w problematykę pracy. Przedstawiono pojęcie obciążenia poznawczego oraz badania jego poziomów. Przedstawiono badanie obciążenia poznawczego jako kluczowe, zwłaszcza w zawodach, gdzie zmęczenie psychiczne może mieć poważne konsekwencje. Oszacowanie obciążenia poznawczego ma duże znaczenie w profesjach takich jak piloci, kontrolerzy ruchu lotniczego czy kierowcy. Krótko podsumowano cechy zaproponowanej metody, która wykorzystuje sygnały śledzenia wzroku i modele uczenia maszynowego do klasyfikacji poziomów obciążenia poznawczego. W tej części pracy zdefiniowano również wspomniane wcześniej cele badawcze.

Rozdział drugi pt. "Overview of the State-of—the-art" przedstawia najważniejsze informacje o innych badaniach naukowych dotyczących obciążenia poznawczego. Przedstawiono źródła danych innych niż wykorzystane w pracy (np. EEG) oraz inne wykorzystywane podejścia oraz założenia. Wskazano na unikalność przedstawionych w pracy podejść i technik obliczeniowych. Rozdział ten bardzo dobrze i na dużym poziomie szczegółowości pozwala dostrzec i ocenić zakres, jakość i użyteczność przeprowadzonych przez Autorkę prac badawczych. Zwraca uwagę duża liczba przytoczonych publikacji co świadczy o dogłębnym rozpoznaniu naukowym zagadnienia.

Rozdział trzeci pt. "Contributions" podsumowuje wkład Autorki w rozwój dyscypliny informatyka techniczna i telekomunikacja jak również w rozwój nauk kognitywnych. W zakresie informatyki wskazano cztery główne punkty.

- **Opracowanie metody niezależnej od badanej osoby klasyfikacji obciążenia poznawczego opartej na cechach śledzenia wzroku i wydajności użytkownika.** Wykazano, że cechy oparte

na śledzeniu wzroku i wydajności użytkownika, w tym na teście substytucji cyfr, mogą być wykorzystane do poprawnej klasyfikacji obciążenia poznawczego. Zastosowano klasyfikację binarną niezależną od badanej osoby, osiągając najlepsze wyniki przy użyciu liniowej metody maszyny wektorów nośnych (SVM) - 0,97. Wykorzystanie różnorodnych cech śledzenia wzroku, takich jak cechy związane z żrenicą, ruchami sakkadowymi, utrwaleniem wzroku, mruganiem i wydajnością, pozwoliło uzyskać dokładne oszacowania obciążenia poznawczego. Metoda ta jest nieinwazyjna i może być z powodzeniem stosowana do pomiaru poziomu zmęczenia psychicznego, uwzględniając pamięć i koncentrację badanego.

- **Opracowanie interpretowalnego wieloklasowego modelu uczenia maszynowego niezależnego od badanej osoby przewidującego poziomy obciążenia poznawczego.** Ten model przewiduje jeden z trzech poziomów obciążenia poznawczego: niski, średni i wysoki. Model ten osiągnął miarę F1 wynoszącą 0,97, używając tylko siedmiu z dwudziestu cech. Podejście interpretowalnego uczenia maszynowego pozwala generować ranking cech oraz zrozumieć powody podjętych decyzji przez model uczenia maszynowego. Ranking został otrzymany na podstawie modelu regresji logistycznej. Podkreślono, że wcześniejsze prace nie przedstawiały zastosowania interpretowalnego uczenia maszynowego do oszacowania obciążenia poznawczego. Badacze często przeprowadzali klasyfikację binarną zamiast klasyfikacji wieloklasowej.
- **Wieloklasowy, niezależny od osoby model uczenia maszynowego przewidujący poziomy obciążenia poznawczego przy użyciu funkcji rozmytej agregacji.** Opracowano model uczenia maszynowego oparty na funkcji rozmytej agregacji Choqueta, który jest oparty na zespołach klasyfikatorów. Osiągnął on wyższą dokładność niż poszczególne klasyfikatory. Badania pokazują obiecującą perspektywę: poprawę wydajności klasyfikacji dzięki odpowiedniej kombinacji wyników poszczególnych modeli. Model przewiduje jeden z trzech poziomów obciążenia poznawczego: niski, średni i wysoki. Wskazano, że przegląd literatury pokazuje, że użycie metod rozmytej agregacji do klasyfikacji poziomu obciążenia poznawczego to nowe podejście. Metody rozmytej agregacji pozwoliły uzyskać lepsze wyniki klasyfikacji. Wyniki dowodzą, że użycie ogólnego rozszerzonego całkowania Choqueta zapewnia poprawę nawet wtedy, gdy początkowe klasyfikatory indywidualne dają słabe wyniki.
- **Wieloklasowy model uczenia maszynowego niezależny od osoby przewidujący poziomy obciążenia poznawczego na podstawie statystyk rozkładu Ex-Gausa.** Opracowano model klasyfikacji oparty na cechach związanych z parametrami rozkładu Ex-Gausa, który właściwie opisuje rozkłady cech związanych z eye-trackingiem. W modelu wykorzystano 16 cech, takich jak amplituda sakkad, liczba sakkad i czas trwania sakkad, liczba fiksacji i czas ich trwania, liczba mrugnięć, liczba poprawnych odpowiedzi i czas reakcji. Model Random Forest osiągnął najlepsze rezultaty - prawie 96% dokładności w wieloklasowej klasyfikacji niezależnej od osoby. Model przewiduje jedną z trzech kategorii obciążenia poznawczego: niskie, średnie lub wysokie. W literaturze nie odnotowano wcześniej wykorzystania cech obliczanych na podstawie statystyk rozkładu Ex-Gausa w procesie klasyfikacji obciążenia poznawczego. Dodatkowo przetestowano inne klasyfikatory, a z wykorzystaniem regresji logistycznej i SVM uzyskano ranking cech. Prezentowany ranking oparty jest na interpretable machine learning i nienadzorowanym uczeniu się z grupowaniem. Zastosowanie algorytmu K-means pozwala uzyskać zestaw najcenniejszych cech na podstawie wag cech.

W zakresie wkładu w rozwój nauk kognitywnych wskazano, że badania mogą dostarczyć nowych spostrzeżeń dotyczących analizy czynników poznawczych i zależności między cechami eye-trackingu a cechami poznawczymi. Opracowywanie rankingów cech pozwala na przeprowadzenie głębokiej analizy cech poznawczych. Może to umożliwić rozwinięcie bardziej skutecznego monitorowania obciążenia poznawczego w procesie nauki oraz w przypadku chorób neuropsychiatrycznych.

Rozdział czwarty pt. "Conclusion" podsumowuje cele badawcze i osiągnięcia, które udało się zrealizować. Wskazuje również na ograniczenia prowadzonych badań i zastosowanej metodologii, co związane jest głównie ze sposobem zaprojektowania eksperymentu DSST (ang. Digit Symbol Substitution Test). W podsumowaniu podkreślono, że zaprezentowano wiele technik obliczeniowych i analizy danych, które mogą być przydatne przy budowaniu systemów rozpoznawania obciążenia poznawczego.

Rozdział piąty pt. „References” przedstawia listę 187 pozycji bibliograficznych, które wykorzystano w przedstawionym opisie tematyki badawczej i własnych osiągnięć. Jest to dość duża liczba i świadczy o dobrze wykonanej pracy badawczej.

Rozdział szósty pt. „Scientific papers comprising the thesis” jest kluczowy w omawianej pracy, która jako swoją najważniejszą część przedstawia serię powiązanych ze sobą czterech publikacji naukowych. So to kolejno:

- Kaczorowska, M., Wawrzyk, M., & Plechawska-Wójcik, M. (2020, October). Binary Classification of Cognitive Workload Levels with Oculography Features. In International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (pp. 243-254). Springer, Cham., [MSHE: 40].
- Kaczorowska, M., Plechawska-Wójcik, M., & Tokovarov, M. (2021). Interpretable machine learning models for three-way classification of cognitive workload levels for eye-tracking features. *Brain sciences*, 11(2), 210, [MSHE: 100].
- Kaczorowska, M., Karczmarek, P., Plechawska-Wójcik, M., & Tokovarov, M. (2021). On the Improvement of Eye Tracking-Based Cognitive Workload Estimation Using Aggregation Functions. *Sensors*, 21(13), 4542, [MSHE: 100].
- Kaczorowska, M., Plechawska-Wójcik, M., Tokovarov, M., & Krukow, P. (2022). Automated Classification of Cognitive Workload Levels Based on Psychophysiological and Behavioural Variables of Ex-Gaussian Distributional Features. *Brain Sciences*, 12(5), 542, [MSHE: 100]

Suma punktów zgodnie z wykazem czasopism punktowanych to 340.

Każda kolejna publikacja odpowiada swoją zawartością kolejnym przedstawionym wcześniej osiągnięciom naukowym, których streszczenia podane wcześniej w tej recenzji dość dobrze odzwierciedlają również zawartości publikacji. I tak, publikacja pierwsza odpowiada osiągnięciu „Opracowanie metody niezależnej od badanej osoby klasyfikacji obciążenia poznawczego opartej na cechach śledzenia wzroku i wydajności użytkownika”. Publikacja druga odpowiada osiągnięciu „Opracowanie interpretowalnego wieloklasowego modelu uczenia maszynowego niezależnego od badanej osoby przewidującego poziomy obciążenia poznawczego”. Publikacja trzecia odpowiada osiągnięciu „Wieloklasowy, niezależny od osoby model uczenia maszynowego przewidujący poziomy obciążenia poznawczego przy użyciu funkcji rozmytej agregacji”. W końcu, publikacja czwarta

odpowiada za osiągnięcie „Wieloklasowy model uczenia maszynowego niezależny od osoby przewidujący poziomy obciążenia poznawczego na podstawie statystyk rozkładu Ex-Gaussa”.

Rozdział siódmy pt. „Scientific profile of the Candidate” przedstawia informacje dotyczące wykształcenia, osiągnięć, nagród i przebiegu pracy zawodowej Moniki Kaczorowskiej. Warto podkreślić, że dorobek ten jest bogaty, składają się na niego zarówno bardzo dobre wyniki studiów, udział w projektach badawczych, udział w konferencjach, duża liczba publikacji jak również nagrody.

Wiedza i wkład Autora, oryginalność pracy

Przedstawione cztery publikacje bardzo dobrze pokazują drogę naukową, jaką przeszła Monika Kaczorowska, jako osoba zajmująca się rozwiązaniem konkretnego problemu badawczego. Pierwsza publikacja prezentuje niejako pierwsze kroki – klasyfikacja jest jedynie binarna, czyli obciążenie poznawcze jest lub go nie ma. Zastosowano i porównano kilka modeli uczenia maszynowego. Ale to kolejne publikacje pokazują ciągły rozwój proponowanego systemu, czyli wprowadzenia bardziej zaawansowanych metod rankingu poszczególnych cech, podejście bazujące na agregacji zespołu klasyfikatorów czy zastosowanie bardziej rozbudowanych i adekwatnych metod modelowania statystycznego. Widać w tym wytrwałość ale również ciągły rozwój naukowy, proces, który w przedstawionym cyklu publikacji jest wyraźny. Żałować można jedynie, że prezentowane wyniki nie zostały opublikowane w wyżej punktowanych czasopismach, co jednak nie jest zarzutem w żaden sposób dyskwalifikującym.

Należy podkreślić, że Monika Kaczorowska jest pierwszą Autorką każdej z czterech publikacji prezentowanych jako podstawa pracy doktorskiej. Wskazany zakres prac, które wykonała (jeśli dostępny w publikacji) pokazuje, że to właśnie ona była w sposób istotny zaangażowana w rozwój opisywanych metod oraz praktyczne wykonanie obliczeń jak również przygotowanie samych publikacji.

W swojej pracy Autorka zaprezentowała swoją bardzo dużą wiedzę na temat aktualnych metod uczenia maszynowego, również metod uczenia zespołowego, metod fuzji decyzji. Autorka tej pracy zasługuje na pochwałę za ciągłe dążenie do usprawniania swojego modelu, poszukiwania nowych rozwiązań, takich jak zastosowanie agregacji modelami rozmytymi czy wykorzystanie modelowania statystycznego za pomocą rozkładu ex-Gaussa. W wyniku powstają innowacyjne metody, które mogą mieć praktyczne zastosowania. W mojej opinii Autorka wnosi istotny, oryginalny wkład w rozwój badań naukowych dotyczących zastosowań uczenia maszynowego w klasyfikacji obciążenia poznawczego. Co więcej, przypuszczam, że liczyć można na dalszy rozwój i chęć dalszego poszukiwania kolejnych usprawnień proponowanego podejścia.

Warto również zaznaczyć, że przedstawione cztery publikacje nie są jedynymi publikacjami w dorobku Moniki Kaczorowskiej. W rozdziale siódmym pt. Scientific Profile of the Candidate” wylistowano w sumie 30 pozycji publikacyjnych oraz konferencyjnych. Warto je również wziąć pod uwagę podczas oceny dorobku naukowego Autorki, który oceniam jako znaczny i będący wynikiem wielu lat ambitnej pracy.

Poprawność językowa i strukturalna pracy

Praca ma dobrze zaplanowaną strukturę, odpowiednią do przedstawianej treści. Układ rozdziałów jest przemyślany i odpowiedni. Praca napisana jest bardzo starannym językiem i poddana została odpowiedniemu formatowaniu.

Ocena pracy

Pracę oceniam jako bardzo dobrą. Zaproponowane rozwiązania są oryginalne przedstawione w kontekście aktualnej wiedzy odnośnie zastosowania metod uczenia maszynowego w klasyfikacji obciążenia poznawczego. Przedstawione wyniki testów podtrzymują tezę o ich użyteczności. Zastosowane metody badawcze zostały dobrze opisane i wykorzystane w sposób trafny, co przyczyniło się do uzyskania bardzo wartościowych wyników badań. Omówienie wyników badań jest precyzyjne i wyczerpujące, co pozwala na pełne zrozumienie wniosków, jakie z nich wynikają.

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, co dowodzi umiejętności Autorki dostrzegania i rozwiązywania istotnych problemów naukowych. Praca prezentuje również ogólną wiedzę teoretyczną, która jest niezbędna do przeprowadzenia tak zaawansowanych badań. Ponadto, Autorka wykazała się zarówno umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, jak również pracy w zespole badawczym, co przyczyniło się do osiągnięcia bardzo dobrych wyników. Przedstawiona praca doktorska jest bardzo wartościowym wkładem do dziedziny naukowej i potwierdzeniem umiejętności Autorki jako naukowca.

Komentarze krytyczne i punkty dyskusyjne

Nasuwiają się następujące uwagi o charakterze krytycznym.

- W publikacji pierwszej, *Binary Classification of Cognitive Workload Levels with Oculography Features*, metoda PCA jest nazwana metodą *feature selection*, podczas gdy jest raczej metodą generowania cech, *feature extraction*.
- W tej samej pierwszej publikacji brakuje szczegółowych informacji o tym, jak parametry modeli zostały dostrojone (np. parametry funkcji jądrowych w modelu SVM, liczba drzew w Random Forest).
- W zaplanowanym eksperymencie z testem DSST, różnica pomiędzy klasą medium oraz hard może być trochę nieprzekonująca, gdyż jest to to samo zadanie, tylko w przypadku hard trwa dłużej. Można zatem powiedzieć, że przynajmniej przez połowę czasu (90s) jest to dokładnie to samo zadanie. Postrzegam to jako słabszą stronę zaplanowanego procesu pozyskiwania danych. Wiąże się to z kolejną uwagą.
- Przypadek podlegający klasyfikacji to cały przebieg epizodu (wykonania testu) a do klasyfikacji wykorzystane są cechy oparte na statystycznych cechach zebranych danych mających postać szeregów czasowych mierzonych wartości. Nie jest to zarzut, ale chciałbym wskazać, że ciekawe byłoby zastosowanie proponowanej metody do ciągłego monitorowanie zadania, które jest wykonywane przez dłuższy czas i wychwytywanie momentu, kiedy pojawia się zmęczenie, czyli obciążenie poznawcze wzrasta i może sygnalizować zwiększone szanse na pojawienie się błędów w wykonywanym zadaniu.
- Powyższe wiąże się moim najistotniejszym zarzutem, czyli wykorzystaniem liczby błędów w zbiorze cech opisujących dany przypadek. Osobiście widziałbym liczbę błędów jako coś, co

model powinien przewidzieć, zasygnalizować możliwość ich pojawienia się. W innych zadaniach praktycznych, chcielibyśmy raczej wykryć zmęczenia zanim człowiek popełni jakikolwiek błąd. Wydaje mi się, że była to niewykorzystana możliwość badawcza – sprawdzenie, np. w eksperymencie, gdzie trudność zadania rośnie w czasie, czy wychwycone objawy pojawienia się zwiększonego obciążenia poznawczego (w danym fragmencie czasowym) korelują ze zwiększonym poziomem błędów.

- W publikacjach pojawiają się pewne drobne błędy i niestaranności redakcyjne, np. w publikacji trzeciej, *On the Improvement of Eye Tracking-Based Cognitive Workload Estimation Using Aggregation Functions*, wzór 10 ma błędnie ustawione nawiasy, co sprawia, że definicja Choquet integral jest błędna.
- Przy prezentacji i porównywaniu wyników różnych modeli klasyfikacyjnych brak jest analizy statystycznej istotności polepszenia wyników.

Powyższe uwagi krytyczne jedynie wskazują na pewne braki (czasami wskazane subiektywnie) lub drobne błędy, jednak w żaden sposób nie podważają mojej jak najbardziej pozytywnej opinii recenzowanej pracy, której całościowa zawartość i forma prezentacji jest na wysokim poziomie.

Wnioski końcowe

Praca doktorska, której recenzję przeprowadziłem, jest starannie wykonaną pracą badawczą. Autorka przedstawiła w niej szczegółowy przegląd literatury, zaprezentowała oryginalne podejście do badanego zagadnienia i przeprowadziła kompleksowe badania, które dostarczają nowych i wartościowych wniosków. Praca charakteryzuje się również wysokim poziomem merytorycznym. W sumie, praca doktorska jest godna uwagi i stanowi ważny wkład w rozwój nauki.

Podsumowując, stwierdzam, że praca "*Measurement and Analysis of Cognitive Workload on the Basis of Eye-tracking Activity Using Machine Learning*" autorstwa Moniki Kaczorowskiej, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Oceniam ją jako bardzo dobrą i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

dr hab. inż. Michał Bereta, prof. PK

