

**Dr hab. inż. Marek Kowal, prof. UZ**  
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych  
Wydział Nauk Inżynieryjno-Technicznych  
Uniwersytet Zielonogórski  
email: [M.Kowal@issi.uz.zgora.pl](mailto:M.Kowal@issi.uz.zgora.pl)

Zielona Góra, 17.01.2026r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Biuro Rady Dyscypliny  
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
wpłynęło dnia ..... 24.03.2026 .....  
nr ..... zał. ....

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Tytuł rozprawy: Using a Camera to Determine Human Gaze Point**

**Autor rozprawy: mgr Mohd Faizan Ansari**

**Promotor rozprawy: dr hab. inż. Paweł Kasprowski, prof. Pol. Śl.**

**Dziedzina: nauki techniczne**

**Dyscyplina: informatyka techniczna i telekomunikacja**

### **1. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych**

Praca składa się z 7 rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków oraz spisu tabel. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do tematyki pracy doktorskiej, przedstawiono w nim cele, hipotezy oraz zakres rozprawy.

Rozdział drugi prezentuje podłoże teoretyczne dla tematyki pracy. Opisano w nim skrótowo fizjologię budowy oka oraz proces jego ruchu. Następnie zdefiniowano podstawowe pojęcia związane ze sztucznymi sieciami neuronowymi, takie jak sztuczny neuron, sztuczna sieć neuronowa, propagacja w przód oraz propagacja wsteczna. Omówiono również ogólnie architekturę splotowych sieci neuronowych oraz zagadnienie uczenia transferowego. Rozdział ten traktuje jednak podjętą tematykę zbyt pobieżnie i przedstawia fakty z zakresu sztucznych sieci neuronowych, które są powszechnie znane i prezentowane we wstępach wielu podręczników wprowadzających do tej tematyki. Warto byłoby w tym miejscu przedstawić bardziej pogłębioną analizę współczesnych sieci neuronowych wykorzystywanych do śledzenia ruchu gałek ocznych i estymacji kierunku spojrzenia.

Rozdział trzeci przedstawia przegląd współczesnych podejść do estymacji kierunku spojrzenia. Przegląd jest kompletny, odwołano się do bardzo wielu pozycji literaturowych i przedstawiono różne podejścia do śledzenia kierunku spojrzenia na podstawie obrazu oczu. Pewnym mankamentem tego fragmentu pracy jest jednak raczej pobieżne przedstawienie poszczególnych metod, w szczególności niewiele miejsca poświęcono podejściom wykorzystującym kamerę internetową, które z racji bezpośredniego powiązania z tematem rozprawy, mogłyby zostać opisane bardziej szczegółowo. W rozdziale przedstawiono ponadto przegląd zbiorów danych wykorzystywanych w

badaniach nad estymacją kierunku spojrzenia. Dodatkowo zaprezentowano przegląd zastosowań estymacji kierunku spojrzenia w praktycznych aplikacjach.

Od rozdziału czwartego rozpoczyna się część eksperymentalna pracy, której celem jest weryfikacja hipotez postawionych w rozdziale pierwszym. Rozdział czwarty przedstawia badania i wyniki potwierdzające hipotezę pierwszą, zgodnie z którą spłotowa sieć neuronowa może z powodzeniem klasyfikować regiony na ekranie, na które spogląda użytkownik. W rozdziale przedstawiono założenia eksperymentu, proces zbierania i przygotowania danych, opisano architektury sieci neuronowych wykorzystanych do estymacji kierunku spojrzenia, sposób ich treningu oraz scenariusze badawcze. Następnie zaprezentowano wyniki, ich dyskusję oraz wnioski.

Rozdział piąty przedstawia eksperyment, którego wyniki potwierdzają drugą hipotezę, zgodnie z którą dostrojenie modelu do konkretnego użytkownika pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki estymacji kierunku spojrzenia. W tym przypadku estymowano dokładny kierunek spojrzenia reprezentowany przez współrzędne ekranu. Rozdział przygotowano w stylu podobnym do rozdziału czwartego. Zawiera on wprowadzenie do eksperymentu, opis sposobu zbierania i przygotowania danych, omówienie architektury sieci neuronowych oraz procesu strojenia hiperparametrów. Następnie przedstawiono obszernie wyniki dla różnych scenariuszy eksperymentalnych. Na zakończenie zamieszczono dyskusję wyników, wnioski oraz wskazano wkład w rozwój dyscypliny wynikający z przeprowadzonych badań.

Rozdział szósty przygotowano w stylu analogicznym do rozdziałów czwartego i piątego. Jego celem jest prezentacja wyników eksperymentu potwierdzającego hipotezę trzecią, dotyczącą wykorzystania uczenia transferowego. W szczególności wykazano, że zastosowanie transfer learning-u pozwala ograniczyć ilość danych potrzebnych do treningu, przyspieszyć proces uczenia oraz poprawić jego stabilność. Dane wykorzystywane do wstępnego treningu mogą pochodzić od wielu użytkowników, a następnie model jest dostrajany do konkretnej osoby w procesie fine-tuningu. Po wprowadzeniu do założeń eksperymentu przedstawiono opis zbiorów danych i ich wstępnego przetwarzania. Następnie zaprezentowano architekturę modelu oraz jego warianty w zależności od rodzaju danych wejściowych. W dalszej części przedstawiono szczegółowe wyniki eksperymentów, a rozdział kończy się ich dyskusją, wnioskami oraz wskazaniem wkładu w rozwój dyscypliny.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie pracy oraz wnioski płynące z przeprowadzonych badań. Przedstawiono w nim również możliwe kierunki dalszych badań. W rozdziale tym zebrano wkład pracy w rozwój dyscypliny w postaci kilku kluczowych punktów, a także omówiono możliwości praktycznego wykorzystania uzyskanych wyników oraz ich rozwinięcia w przyszłości.

Układ pracy doktorskiej uznaję za prawidłowy. Praca rozpoczyna się od wprowadzenia do tematyki oraz poprawnego sformułowania celu i hipotez badawczych. Pewnym mankamentem jest przedstawienie w części teoretycznej zagadnień zbyt podstawowych z zakresu sztucznych sieci neuronowych, zamiast głębszego omówienia rozwiązań stosowanych w estymacji kierunku spojrzenia. Należy też pozytywnie ocenić kompleksowy przegląd metod śledzenia wzroku. Kolejne rozdziały, opisujące trzy główne eksperymenty, zostały przygotowane przejrzysto. Prezentują one istotne aspekty badań, w tym wyniki, ich dyskusję oraz wnioski. Jasno określono wkład pracy w rozwój dyscypliny, który pozostaje spójny z przedstawioną częścią eksperymentalną.

## **2. Ocena bibliografii**

Bibliografia jest obszerna i zawiera 183 pozycje. Została dobrana prawidłowo, wiele z przytoczonych publikacji odnosi się do aktualnych osiągnięć w zakresie tematu pracy. Przegląd literatury przeprowadzono w sposób rzetelny i obejmuje zarówno klasyczne, jak i najnowsze publikacje z zakresu estymacji kierunku spojrzenia. Doktorant trafnie identyfikuje luki badawcze związane z upowszechnieniem metod estymacji kierunku spojrzenia z wykorzystaniem ogólnodostępnych kamer internetowych, co stanowi podstawę dla przedstawionego wkładu własnego.

W przeglądzie literaturowym rozważono różne osiągnięcia w obszarze śledzenia kierunku spojrzenia, dzieląc je na metody bazujące na modelu, metody bazujące na cechach oraz metody bazujące na wyglądzie, przytaczając przykłady prac naukowych reprezentujących te podejścia. Doktorant w szczególności koncentruje się na omówieniu metod opartych na uczeniu głębokim, które obecnie dominują w analizowanym nurcie badawczym. Doktorant także wykazuje się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w tym obszarze. Wartościowym elementem przeglądu jest zestawienie zbiorów danych wykorzystywanych w badaniach nad estymacją kierunku spojrzenia. Ponadto przedstawiono również krótki przegląd praktycznych zastosowań metod śledzenia spojrzenia. Z analizy tej części pracy można wnioskować, że Doktorant nie ogranicza się jedynie do przytoczenia literatury, lecz dokonuje jej krytycznej analizy, wskazując zarówno istotne osiągnięcia, jak i ograniczenia prezentowanych rozwiązań.

W bibliografii dominują źródła z ostatnich 10 lat, pochodzące z renomowanych czasopism oraz uznanych konferencji naukowych z obszaru informatyki.

## **3. Wskazanie oraz ocena celu pracy**

Celem pracy było zbadanie możliwości estymacji kierunku spojrzenia użytkownika na podstawie obrazów oczu i twarzy rejestrowanych przy użyciu standardowej kamery internetowej o niskiej jakości obrazu, bez wykorzystania specjalistycznego sprzętu do śledzenia ruchu gałek ocznych. Cel ten został doprecyzowany poprzez sformułowanie trzech hipotez badawczych. Pierwsza z nich zakłada, że możliwe jest opracowanie modelu opartego na splotowych sieciach neuronowych, który klasyfikuje kierunek spojrzenia do określonych regionów ekranu na podstawie obrazów niskiej rozdzielczości i jakości. Druga hipoteza dotyczy wykorzystania modeli dostosowanych do konkretnego użytkownika i zakłada, że personalizacja modelu pozwala osiągnąć wyższą dokładność estymacji, potencjalnie porównywalną z rozwiązaniami wykorzystującymi specjalistyczny sprzęt. Trzecia hipoteza odnosi się do zastosowania uczenia transferowego i zakłada, że wykorzystanie modeli wstępnie wytrenowanych na danych wielu użytkowników umożliwia zmniejszenie liczby danych wymaganych do dostrojenia modelu dla konkretnej osoby oraz przyspieszenie procesu uczenia.

Moja ocena celu pracy jest pozytywna. Podjęta problematyka jest aktualna i istotna z punktu widzenia rozwoju metod interakcji człowiek–komputer oraz ich praktycznych zastosowań w wielu dziedzinach, takich jak systemy medyczne, analiza zachowań użytkowników czy aplikacje wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości. W pracy trafnie zidentyfikowano istotny problem ograniczonej dostępności kosztownych systemów

śledzenia wzroku oraz potrzebę opracowania rozwiązań opartych na powszechnie dostępnych urządzeniach, takich jak kamery internetowe w laptopach czy smartfonach.

Cel pracy został sformułowany w sposób jasny a jego realizacja została poprawnie powiązana z zaplanowanymi eksperymentami badawczymi. Istotnym atutem jest również uwzględnienie aspektów praktycznych, takich jak ograniczenia obliczeniowe urządzeń brzegowych, co znalazło odzwierciedlenie w doborze stosunkowo lekkich architektur sieci neuronowych. Dzięki temu praca ma również pewien potencjał aplikacyjny.

#### **4. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**

W ramach pracy zdefiniowano trzy hipotezy badawcze. Hipotezy zostały poprawnie sformułowane, a ich weryfikacja pozwala odpowiedzieć na istotne pytania z obszaru informatyki technicznej i telekomunikacji, w szczególności w kontekście wykorzystania metod sztucznej inteligencji do estymacji kierunku spojrzenia w warunkach ograniczonej jakości danych wejściowych. Do weryfikacji hipotez badawczych przygotowano odpowiedni plan badawczy, umożliwiający ich empiryczne potwierdzenie. Doktorant wykazał, że potrafi formułować pytania badawcze istotne dla danej dziedziny naukowej, przekładać je na konkretne hipotezy, a następnie zaplanować oraz przeprowadzić badania służące ich weryfikacji.

Doktorant przeprowadził kompleksowe badania eksperymentalne, w ramach których zweryfikowano jakość estymacji kierunku spojrzenia dla trzech wariantów różniących się sposobem uczenia modeli. W pierwszym wariantcie analizowano możliwość klasyfikacji kierunku spojrzenia do zdefiniowanych regionów ekranu, w kolejnych natomiast rozpatrywano problem w ujęciu regresyjnym, estymując dokładne współrzędne punktu spojrzenia. W badaniach uwzględniono również wpływ personalizacji modeli (modele dopasowane do konkretnego użytkownika) oraz zastosowania uczenia transferowego, które umożliwia wykorzystanie wiedzy nabytej na danych wielu użytkowników do efektywnego dostrajania modelu dla nowej osoby przy ograniczonej liczbie próbek.

W każdym z analizowanych wariantów testowano różne modele, różniące się zarówno architekturą, jak i rodzajem danych wejściowych (obrazy oczu oraz obrazy twarzy), a także uwzględniono wpływ wybranych technik przetwarzania wstępnego. Tak zaprojektowane badania pozwoliły na wieloaspektową analizę rozpatrywanego problemu. Ostatecznie wykazano, że przyjęte hipotezy są prawdziwe i że możliwe jest wykorzystanie stosunkowo niewielkich modeli splotowych sieci neuronowych do estymacji kierunku spojrzenia na podstawie obrazu z kamery internetowej, z dokładnością wystarczającą do rozważania zastosowań praktycznych.

Oryginalność rozprawy polega na kompleksowym, systematycznym zbadaniu możliwości wykorzystania ogólnodostępnych kamer internetowych do realizacji zadania estymacji kierunku spojrzenia, z uwzględnieniem istotnych czynników takich jak jakość danych, personalizacja modeli oraz zastosowanie uczenia transferowego. W mojej ocenie rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w sensie aplikacyjno-badawczym, dostarczając wartościowych wniosków dotyczących efektywności analizowanych podejść w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

## **5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych**

W pracy zastosowano metody badawcze o charakterze eksperymentalnym, polegające na budowie, trenowaniu oraz porównawczej analizie modeli sztucznej inteligencji przeznaczonych do estymacji kierunku spojrzenia. Podejście to jest właściwe dla tego typu zagadnień i stanowi obecnie dominującą metodologię badań w obszarze uczenia maszynowego, gdzie weryfikacja skuteczności proponowanych rozwiązań odbywa się poprzez eksperymenty numeryczne i analizę uzyskanych wyników.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem autorskich zbiorów danych, które zostały zgromadzone przy użyciu standardowej kamery internetowej. Dane obejmowały obrazy twarzy i oczu użytkowników, a jednocześnie rejestrowano punkt na ekranie, na który patrzył uczestnik eksperymentu, realizowane poprzez wskazywanie odpowiedniego miejsca kursorem. Takie podejście do akwizycji danych należy uznać za poprawne i adekwatne do rozpatrywanego problemu, choć opis struktury uzyskanych zbiorów danych jest w pracy miejscami zbyt ogólny i mógłby zostać przedstawiony w sposób bardziej systematyczny.

W poszczególnych eksperymentach stosowano różne warianty podziału danych na zbiory treningowe i testowe (m.in. proporcje 70%:30% oraz 80%:20%), natomiast w przypadku eksperymentów z wykorzystaniem uczenia transferowego dodatkowo wydzielono podzbiory do pretreningu oraz fine-tuningu modeli. Należy jednak zauważyć, że sposób podziału danych, zwłaszcza w kontekście fine-tuningu, nie został w pełni jednoznacznie opisany, co utrudnia ocenę potencjalnego wpływu tego procesu na uzyskane wyniki.

Do oceny jakości modeli zastosowano adekwatne metryki, dostosowane do charakteru rozwiązywanego problemu. W przypadku zadania klasyfikacji wykorzystano dokładność klasyfikacji, co jest wyborem uzasadnionym, natomiast w przypadku problemu regresji zastosowano średni błąd bezwzględny (MAE) oraz błąd kątowy, które stanowią standardowe miary w zagadnieniach estymacji kierunku spojrzenia. Dobór metryk należy ocenić jako poprawny, choć praca mogłaby zostać wzbogacona o szerszy zestaw miar jakości, co pozwoliłoby na pełniejszą analizę uzyskanych wyników.

W ramach badań analizowano różne warianty architektur splotowych sieci neuronowych oraz różne konfiguracje danych wejściowych, co umożliwiło porównanie ich wpływu na jakość estymacji. W jednym z eksperymentów przeprowadzono również porównanie uzyskanych wyników z wybranymi współczesnymi metodami, jednak zakres tych porównań jest ograniczony i mógłby zostać rozszerzony, szczególnie w kontekście odniesienia do metod uznawanych za state of the art.

Podsumowując, zastosowane metody badawcze są adekwatne do postawionego problemu i zostały dobrane prawidłowo. Pomimo wskazanych uwag dotyczących opisu danych, procedur walidacyjnych oraz zakresu porównań, całość podejścia badawczego należy ocenić pozytywnie, gdyż umożliwiła ona wiarygodną analizę skuteczności proponowanych rozwiązań.

## **6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań**

Doktorant poświęcił prezentacji i omówieniu wyników badań istotną część pracy. Szczegółowa analiza rezultatów została przedstawiona w rozdziałach 4, 5 i 6, w których

konsekwentnie zaprezentowano wyniki cząstkowe, ich interpretację, dyskusję oraz wnioski końcowe wraz z określeniem wkładu poszczególnych eksperymentów w rozwój dyscypliny.

Wyniki badań przedstawiono zgodnie z przyjętymi standardami dla prac doktorskich, w postaci tabelarycznej oraz graficznej, uzupełnionej opisami słownymi oraz analizą wybranych przypadków. Taki sposób prezentacji umożliwia czytelnikowi prześledzenie wpływu poszczególnych czynników, takich jak dobór architektury modelu, rodzaj danych wejściowych czy zastosowanie uczenia transferowego, na jakość estymacji kierunku spojrzenia.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że Doktorant nie ogranicza się do prezentacji wyników liczbowych, lecz podejmuje próbę ich interpretacji, wskazując potencjalne przyczyny obserwowanych zależności. Dotyczy to w szczególności porównania podejścia klasyfikacyjnego i regresyjnego, analizy wpływu personalizacji modeli na dokładność estymacji oraz oceny skuteczności uczenia transferowego w warunkach ograniczonej liczby danych treningowych. Wnioski formułowane w poszczególnych rozdziałach są spójne z uzyskanymi wynikami i stanowią logiczne podsumowanie przeprowadzonych eksperymentów.

Należy jednak zauważyć, że praca mogłaby zyskać na bardziej rozbudowanej analizie procesu uczenia modeli, w szczególności poprzez przedstawienie przebiegów zmian straty oraz miar jakości w kolejnych epokach treningowych. Ułatwiłoby to pełniejszą ocenę stabilności i zbieżności procesu uczenia.

Pomimo tej uwagi, oceniam, że część rozprawy poświęcona analizie wyników badań została przygotowana w sposób rzetelny. Przedstawione wyniki oraz ich interpretacja stanowią wystarczającą podstawę do uznania, że postawione hipotezy badawcze zostały wiarygodnie zweryfikowane.

## **7. Praktyczne zastosowania uzyskanych wyników badań**

Doktorant nie prezentuje bezpośredniej implementacji opracowanych metod w konkretnym systemie aplikacyjnym, jednak w rozprawie wskazuje potencjalne obszary ich praktycznego zastosowania. W szczególności, w podrozdziale 3.5 przedstawiono szerokie spektrum możliwych zastosowań estymacji kierunku spojrzenia, obejmujące m.in. obszar interakcji człowiek–komputer (HCI), aplikacje wirtualnej (VR) i rozszerzonej rzeczywistości (AR), analizę zachowań użytkowników w marketingu, zastosowania w służbie zdrowia, edukacji i nauczaniu, a także w grach komputerowych i rozrywce cyfrowej, systemach monitoringu i bezpieczeństwa, sporcie oraz sztuce.

Przedstawione przykłady są przekonujące i dobrze uzasadnione w kontekście aktualnych trendów rozwoju technologii. Szczególnie istotne jest wskazanie możliwości wykorzystania rozwiązań opartych na standardowych kamerach internetowych, co znacząco obniża barierę wejścia i koszty wdrożenia w porównaniu z rozwiązaniami wymagającymi specjalistycznego sprzętu do śledzenia ruchu gałek ocznych.

Warto podkreślić, że uzyskane wyniki badań mogą stanowić podstawę do budowy systemów działających w rzeczywistych warunkach, zwłaszcza w kontekście urządzeń o ograniczonych zasobach obliczeniowych. Tym samym praca wpisuje się w nurt badań ukierunkowanych na praktyczne wykorzystanie metod sztucznej inteligencji i może

przyczynić się do rozwoju rozwiązań umożliwiających automatyzację procesów oraz obniżenie kosztów stosowania technologii opartych na analizie kierunku spojrzenia.

## **8. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**

Doktorant wykazał, że potrafi samodzielnie zidentyfikować istotny problem badawczy w dyscyplinie informatyki technicznej i telekomunikacji, a następnie osadzić go w aktualnym stanie wiedzy naukowej. W pracy widoczna jest znajomość podstaw związanych zarówno z zagadnieniem estymacji kierunku spojrzenia, jak i metodami uczenia maszynowego, w szczególności splotowymi sieciami neuronowymi oraz uczeniem transferowym.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury oraz własnych analiz Doktorant sformułował poprawne hipotezy badawcze, a następnie zaplanował i zrealizował spójny program badań eksperymentalnych. Obejmuje on zarówno przygotowanie danych, dobór i implementację modeli, jak i analizę uzyskanych wyników. Istotnym elementem pracy jest również umiejętność interpretacji rezultatów oraz formułowania wniosków, które są logicznie powiązane z przeprowadzonymi eksperymentami.

Całość przeprowadzonych badań świadczy o tym, że Doktorant posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, od etapu identyfikacji problemu, poprzez jego formalizację, aż do eksperymentalnej weryfikacji i krytycznej analizy wyników. Pomimo pewnych uwag dotyczących wybranych aspektów metodologicznych, ogólny poziom pracy potwierdza dojrzałość naukową kandydata.

Na podkreślenie zasługuje również dorobek publikacyjny Doktoranta, obejmujący artykuły opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych (5 publikacji), materiałach konferencyjnych (1 publikacja) oraz rozdział w monografii. Świadczy to o aktywności naukowej oraz zdolności do prezentowania wyników badań w środowisku naukowym.

## **9. Nieprawidłowości, które pojawiły się w rozprawie doktorskiej**

Pomimo ogólnie pozytywnej oceny pracy oraz uznania jej wkładu w rozwój dyscypliny naukowej Informatyka techniczna i telekomunikacja, w rozprawie można wskazać kilka uwag krytycznych, głównie odnoszących się do przyjętej metodologii badań oraz sposobu prezentacji wyników:

1. Doktorant wykazuje możliwość budowy skutecznych modeli estymacji kierunku spojrzenia opartych na stosunkowo niewielkich splotowych sieciach neuronowych. Wyniki te uzyskano na autorskich zbiorach danych przygotowanych w ramach pracy (łącznie trzy zbiory, z czego największy obejmuje dane od 19 uczestników). Utworzenie takich zbiorów należy uznać za wartościowy element rozprawy. Niemniej jednak praca zyskałaby na wartości, gdyby przeprowadzono eksperymenty również na ogólnodostępnych zbiorach danych pełniących rolę benchmarków w tej dziedzinie. Tym bardziej, że w podrozdziale 3.4 przedstawiono ich przegląd. Wykorzystanie takich danych umożliwiłoby bardziej wiarygodne porównanie zaproponowanych rozwiązań z metodami uznawanymi za state of the art. W obecnej formie porównania tego typu są bardzo ograniczone, w pracy znajduje się jedynie jedno zestawienie (tabela 5.9), które dodatkowo opiera się na wynikach referencyjnych uzyskanych na innych zbiorach danych, co znacząco utrudnia interpretację porównawczą.

2. Opis autorskich zbiorów danych jest niewystarczająco szczegółowy. W wielu miejscach brakuje podstawowych informacji, takich jak liczba próbek, struktura zbioru, rozkład danych pomiędzy uczestnikami czy warunki akwizycji (oświetlenie, tło, ustawienie kamery). Brakuje również przykładów ilustrujących różnorodność danych. Przykładowo, w rozdziale 4 szczegółowo opisano procedurę zbierania danych, jednak nie przedstawiono spójnej charakterystyki powstałego zbioru (w szczególności zbioru D2). Dopiero w rozdziale 6 (tabela 6.1) pojawiają się bardziej szczegółowe informacje dotyczące struktury danych, co wskazuje na brak konsekwencji w ich prezentacji.
3. Niewystarczająco szczegółowo opisano procedury podziału danych na zbiory treningowe i testowe. Na podstawie przedstawionych informacji nie można jednoznacznie stwierdzić, czy w zbiorach testowych znajdowały się próbki pochodzące od tych samych uczestników, co w zbiorach treningowych. Taka sytuacja mogłaby prowadzić do przecieku informacji i zawyżenia wyników eksperymentalnych. Bardziej właściwym podejściem byłoby zastosowanie podziału na poziomie uczestników, w którym dane jednej osoby znajdują się wyłącznie w jednym ze zbiorów.
4. W eksperymencie opisanym w rozdziale 4 jako główną miarę jakości zastosowano dokładność klasyfikacji. Wybór ten jest uzasadniony, jednak w pracy nie wykorzystano innych standardowych metryk stosowanych w zadaniach klasyfikacyjnych, takich jak precision, recall, F1-score, macierz pomyłek czy krzywe ROC/AUC. Ich zastosowanie pozwoliłoby na pełniejszą ocenę jakości modeli.
5. W tabelach 4.3-4.5 przedstawiono wartości dokładności klasyfikacji, jednak nie wskazano jednoznacznie, czy odnoszą się one do zbioru treningowego, walidacyjnego czy testowego. Ponadto zastosowano nietypowy sposób raportowania wyników poprzez uśrednianie dokładności dla grup epok uczących. Bardziej standardowym podejściem byłoby przedstawienie przebiegu procesu uczenia w postaci wykresów (dokładność i funkcja straty w kolejnych epokach) oraz raportowanie końcowych wyników dla najlepszego modelu na zbiorze testowym.
6. Nie uzasadniono wyboru liczby epok treningowych (np. 70 epok w eksperymencie z rozdziału 4). Z przedstawionych wyników wynika, że dokładność modelu rosta wraz z liczbą epok, co sugeruje, że dalsze trenowanie mogłoby prowadzić do poprawy wyników. Brakuje analizy zbieżności procesu uczenia oraz wykresów ilustrujących jego przebieg.
7. W eksperymencie opisanym w rozdziale 5 nie przedstawiono przebiegu procesu uczenia modeli, brak wykresów ilustrujących zmiany funkcji straty lub błędu w kolejnych epokach utrudnia ocenę stabilności i jakości treningu.
8. W eksperymentach opisanych w rozdziałach 4 i 6 nie przedstawiono szczegółowych informacji dotyczących hiperparametrów procesu uczenia ani sposobu ich doboru. Ogranicza to możliwość odtworzenia eksperymentów oraz ocenę wpływu tych parametrów na uzyskane wyniki.
9. W eksperymentach z rozdziałów 5 i 6 błąd MAE przedstawiono w jednostkach bezwzględnych (piksele ekranu). Bardziej uniwersalnym podejściem byłoby znormalizowanie tej miary względem rozdzielczości ekranu, co umożliwiłoby lepsze porównanie wyników między różnymi konfiguracjami.

10. Do detekcji obszaru oczu wykorzystano klasyczne podejście oparte na kaskadach Haara. W pracy nie uzasadniono wyboru tej metody, podczas gdy współczesne lekkie modele oparte na sieciach neuronowych (np. YOLO) mogłyby stanowić alternatywę oferującą wyższą skuteczność i odporność na zmienne warunki.
11. W pracy brakuje również szerszego uzasadnienia sposobu doboru architektur zastosowanych sieci neuronowych. Nie jest jasne, czy wybór ten wynikał z systematycznej analizy, czy miał charakter eksperymentalny.

## 10. Uwagi na temat błędów o charakterze redakcyjnym i edytorskim

W pracy występują również drobne uchybienia redakcyjne i edytorskie, które jednak nie wpływają na jej ogólną ocenę merytoryczną:

- str. 5 – literówka: “weighs”
- str. 18 – niepoprawne lub niezupełnione odwołanie: “equation ??”
- str. 40 – niepoprawne odwołanie do literatury: “citezhang2021eye”
- str. 58 – literówka: “aystem”
- str. 61 – powtórzony akapit tekstu
- str. 63 – błędne zestawienie podpisów: “Figure 5.3 Figure 5.4”
- str. 64 – błędne oznaczenie tabeli: “Table 4.2”
- str. 69 – akapit powtórzony na str. 71
- str. 70 – powtarzający się fragment tekstu
- str. 84 – literówka: “particiapnt”

## 11. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska podejmuje aktualny i istotny z punktu widzenia dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja problem naukowy, dotyczący estymacji kierunku spojrzenia z wykorzystaniem obrazów niskiej jakości pozyskiwanych ze standardowych kamer internetowych. Przedstawione w pracy wyniki badań stanowią wartościowy wkład o charakterze aplikacyjno-badawczym, w szczególności w zakresie analizy możliwości wykorzystania lekkich modeli splotowych sieci neuronowych, personalizacji modeli oraz zastosowania uczenia transferowego w warunkach ograniczonej dostępności danych.

Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania problemów badawczych, planowania i realizacji eksperymentów oraz krytycznej analizy uzyskanych wyników. Przeprowadzone badania mają charakter systematyczny i pozwalają na wiarygodną weryfikację postawionych hipotez. Pomimo wskazanych w recenzji uwag krytycznych, dotyczących głównie wybranych aspektów metodologicznych i sposobu prezentacji wyników, ogólna ocena pracy pozostaje pozytywna.

Rozprawa potwierdza, że możliwe jest opracowanie rozwiązań umożliwiających estymację kierunku spojrzenia z wykorzystaniem ogólnodostępnych urządzeń, co ma istotne znaczenie dla dalszego rozwoju systemów interakcji człowiek-komputer oraz ich praktycznych zastosowań.

***Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim określone w obowiązujących przepisach. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.***