dr hab. inż. Jerzy Domżał, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
jerzy.domzal@agh.edu.pl

09.03.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

Paweł Andruloniw

zatytułowanej:

Analiza Big Data informacji pochodzących z urządzeń końcowych STB oraz wykorzystanie metod uczenia maszynowego w celu usprawnieniu działania usługi, analizie doświadczeń klienta oraz zaspokojeniu jego oczekiwań

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Jaki jest najważniejszy problem rozważany w rozprawie?

Najważniejszym problemem rozważanym w rozprawie jest możliwość opracowania strategii łączącej badania subiektywnego postrzegania jakości z nadzorowanym uczeniem maszynowym w celu estymacji jakości usług QoE dla użytkowników systemu telewizyjnego Hiway. Doktorant podjął się nietrywialnego zadania opracowania rozwiązania wspierającego sposób określania postrzeganej jakości materiału wideo w sposób automatyczny, z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego.

Postawiona hipoteza badawcza: Możliwe jest dokonanie estymacji jakości usług telewizyjnych na podstawie analizy szerokiego spektrum parametrów dostarczanych przez system *OTT* (ang. *over-the-top*), w tym danych pochodzących z urządzeń końcowych. Zakłada się, że uzyskana w ten sposób estymata będzie odzwierciedlać subiektywną ocenę użytkowników z dokładnością przekraczającą 90%. Tak wyznaczona predykcja jakości, realizowana z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego, może stanowić podstawę działań ukierunkowanych na poprawę jakości usług telewizyjnych.

Rozwiązanie problemu zaplanowano poprzez realizację sześciu sprecyzowanych zadań badawczych:
- Analiza potencjału zastosowania nienadzorowanych metod uczenia maszynowego do detekcji degradacji jakości w sieci telewizyjnej.
- Opracowanie metod gromadzenia oraz przetwarzania danych pochodzących z dekoderów STB.
- Opracowanie metodologii pozyskiwania subiektywnych ocen jakości wideo.
- Przeprowadzenie badań ankietowych oraz wdrożenie mechanizmu zbierania ocen użytkowników systemu Hiway.
- Projektowanie i optymalizacja metod nadzorowanego uczenia maszynowego w celu estymacji QoE na podstawie zgromadzonych danych.
- Opracowanie oraz przygotowanie do wdrożenia narzędzi służących do estymacji QoE w produkcyjnym systemie Hiway.

Czy ma on charakter naukowy?

Przedstawiony problem ma charakter naukowy. Doktorant opracował metodę pozyskiwania subiektywnych ocen jakości wideo, a następnie przeprowadził zgodnie z nią badania ankietowe

i wdrożył mechanizm gromadzenia danych. Uzyskane dane posłużyły do zaprojektowania i optymalizacji perceptronu wielowarstwowego w konfiguracji miękkiego klasyfikatora. Przedstawione analizy i wyniki wskazują na naukowy charakter pracy.

Czy ma on znaczenie praktyczne?

Opracowane rozwiązanie ma zdecydowanie znaczenie praktyczne. Doktorant zrealizował doktorat wdrożeniowy, a rozwiązanie zostało wdrożone i służy do oceny jakości doświadczeń w produkcyjnym systemie telewizji Hiway, bazującym na transmisji strumieniowej HTTP.

2. Wkład autora

Wkład autora opisany w rozprawie został zrealizowany na kilku płaszczyznach. W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na fakt przeprowadzenia badań, implementacji oraz analizy wyników w zakresie badania subiektywnego postrzegania jakości wideo dla telewizji opartej na strumieniowaniu adaptacyjnym. Doktorant przedstawił założenia tego rozwiązania i dokonał wdrożenia oprogramowania na dekoderze. Badanie postrzeganej jakości wideo zostało wykonane w produkcyjnym systemie telewizyjnym Hiway firmy INEA. Wykorzystano metodę *DSCQS* (ang. *Double-stimulus continuous quality scale*) z uwagi na fakt, że umożliwia ona prowadzenie zarówno badań indywidualnych, jak i grupowych. Odpowiednie dostosowanie filmów do profili wideo wykonano poprzez transkodowanie. W tym celu użyto oprogramowania Rhozet Workflow Manager firmy Harmonic. Badania wykonano w celu sprawdzenia, w jaki sposób użytkownicy telewizji Hiway oceniają poziom jakości treści wideo dostarczanych jako strumieniowanie adaptacyjne, z wykorzystaniem dekoderów *OTT* (ang. *Over-the-top*). Zgodnie z deklaracją Doktoranta utworzenie sekwencji badawczych zgodnych z protokołem DSCQS w warunkach ocen zbiorowych wymagało konkatenacji materiałów testowych oraz podlegających ocenie w jedną długą sekwencję. Z kolei przygotowanie graficznego instruktażu osadzonego w sekwencji było konieczne do uruchomienia badania w wersji cyfrowej. Sekwencje badawcze miały identyczny zestaw plansz, z wyjątkiem dwóch grafik zawierających kody QR. Dla osób, które nie mogły wykorzystać opracowanego narzędzia alternatywnie udostępniono kartę ocen w formie papierowej, utworzoną przy użyciu narzędzia jotform.com. Sumarycznie uzyskano wyniki badań od 108 osób. 64 osoby wykonały badanie dla sekwencji kodowanej H.264, a 44 osoby dla H.265. Doktorant dokonał dogłębnej analizy wyników. Dzięki temu możliwe było wykorzystanie ich do modelowania oceny QoE dla telewizji Hiway.

Uzyskane wyniki posłużyły jako dane treningowe sztucznej sieci neuronowej bazującej na architekturze perceptronu wielowarstwowego, która została zastosowana przez Doktoranta do dokonywania predykcji postrzeganej jakości wideo. Wkładem autorskim Doktoranta w tę część pracy było przygotowanie zbioru danych, które obejmowało między innymi filtrowanie elementów odstających, tworzenie nowych cech, kodowanie cech kategorycznych oraz standaryzację. Zaprezentowano także bazowy model sieci neuronowej. Podane założenia i parametry zostały jednak przedstawione w dość ogólny sposób, bez omówienia zasadności ich przyjęcia (np. dlaczego 15 wejść czy dlaczego współczynnik uczenia dla optymalizatora Adam równy 0,001?). Uzyskane wyniki w tej części pracy okazały się obiecujące, jednak niezadowalające w kontekście szacowania oceny QoE.

W celu uzyskania akceptowalnych parametrów Dyplomant dokonał optymalizacji modeli uczenia maszynowego. Skorzystano z pakietu Optuna, przyjmując parametry, które i tym razem określono arbitralnie bez jednoznacznego uzasadnienia. W pierwszej kolejności dokonano optymalizacji modeli o jednej warstwie ukrytej. Doktorant zaprezentował cztery algorytmy, których użył do uczenia sieci neuronowej. Algorytmy te nie zostały jednak omówione w szerszy sposób, czego z pewnością zabrakło w rozprawie. Ostatecznie, wyniki uzyskane dla optymalizacji modeli z pojedynczą warstwą ukrytą

w dalszym ciągu okazały się niezadowalające. Dlatego Doktorant dokonał kolejnej optymalizacji, tym razem dla modeli z wieloma warstwami ukrytymi. W tym celu Doktorant zaprezentował algorytm nr 5, który niestety również nie został szczegółowo omówiony.

Jak podano w podsumowaniu, łącznie wytrenowano 442 modele, a dla weryfikacji ponownie przetrenowano 100 najlepszych modeli (dla architektur jednowarstwowych i wielowarstwowych), wykorzystując walidację krzyżową. Ostatecznie do wdrożenia Doktorant wybrał model z próby 236. Średnia trzech kluczowych miar (SROCC, Accuracy, F1) okazała się dla tej próby najwyższa i wynosi 94%. Całość wykonanych badań stanowi autorski wkład Doktoranta, choć niewątpliwie w wielu przypadkach wspomagał się on istniejącymi narzędziami i oprogramowaniem.

Wkład autorski stanowi również implementacja wybranego modelu w narzędziu do analizy jakości doświadczeń (QoE) w usłudze Hiway. Jak podano, implementację wykonano w języku Python, a podstawowym elementem rozwiązania jest framework Django. Narzędzie jest dostępne z poziomu przeglądarki WWW.

Wkład autorski został wyraźnie zaznaczony w rozprawie, choć momentami opracowane rozwiązania nie zostały w pełni szczegółowo omówione.

Poprawność

Praca została rzetelnie przygotowana. Jest ona obszerna i prezentuje cały proces myślowy Doktoranta służący opracowaniu rozwiązania gotowego do wdrożenia. Przegląd istniejących rozwiązań, analiza możliwości ich użycia oraz własne autorskie propozycje pozwoliły na przeprowadzenie szerokiego zakresu badań. W pierwszej kolejności dotyczyły one opracowania sposobu przeprowadzenia badania postrzeganej jakości wideo w produkcyjnym systemie telewizyjnym Hiway firmy INEA. W tej części wszelkie stwierdzenia, założenia i wnioski, a także uzyskane wyniki są godne zaufania, a sam proces badawczy został w pełni poprawnie przedstawiony.
W kolejnej części rozprawy zaprezentowano bazowy model sieci neuronowej, który jednak nie został szczegółowo opisany, a także dla którego nie uzasadniono w pełni przyjętych założeń i parametrów. Uzyskane wyniki można uznać za wiarygodne i raczej spodziewane, niemniej sam proces analizy powinien być lepiej udokumentowany i uzasadniony.
Podobnie jest w przypadku procesów optymalizacji modeli uczenia maszynowego. Zaprezentowane wyniki są wiarygodne i prawidłowo omówione. W rozprawie brakuje omówienia użytych algorytmów i uzasadnienia przyjętych parametrów.
Implementacja wybranego modelu w rozwiązaniu użytym w dekoderze pozwala stwierdzić, że cel rozprawy został osiągnięty, a hipoteza badawcza potwierdzona. Na pewno przedstawiona implementacja zasługuje na uznanie i potwierdza sens i zasadność realizacji doktoratu wdrożeniowego. Zabrakło jedynie przedstawienia szerszych wyników działania zaimplementowanego już rozwiązania. Przedstawione plany na przyszłość zakładające m.in. rozszerzenie badań w różnych scenariuszach użycia, uwzględnienie wpływu dynamicznego wstrzykiwania reklam i dalszy rozwój metod proaktywnego wykrywania spadków jakości doświadczeń i automatyzacji działań poprawiających QoE potwierdzają ten stan rzeczy.
Podsumowując tę część, stwierdzam, ze zaprezentowane wyniki i analizy są poprawne, choć w niewielkim zakresie powinny być bardziej rozbudowane.

3. Wiedza kandydata

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów oraz dodatków. Istniejący stan wiedzy został przedstawiony w rozdziałach 2, 3 i 4.
W rozdziale 2 omówiono systemy telewizji bazujące na strumieniowaniu adaptacyjnym. W szczególności Doktorant skupił się na przedstawieniu kierunków badawczych dla systemów wideo i sposobach oceny postrzeganej jakości (QoE). W rozdziale 3 Doktorant przedstawił stosowane powszechnie skale ocen, takie jak np. ACR (Absolute Category Rating) czy DCR Degradation Category Rating). Omówiono też wybrane sposoby subiektywnej oceny jakości obrazu. Istotną część tego rozdziału stanowi omówienie powiązanych badań, a więc w istocie przegląd literatury w temacie subiektywnego postrzegania jakości. W rozdziale 4 przedstawiono podejście do predykcji oceny QoE bazujące na modelach sztucznej sieci neuronowej. W ramach analizy powiązanych badań przedstawiono szeroki zakres analizowanej literatury. Doktorant omówił także podstawy działania mechanizmów nadzorowanego uczenia maszynowego. Ta część pracy zawiera omówienie szeregu metod i rozwiązań, co potwierdza dogłębną analizę istniejących rozwiązań dokonaną przez Doktoranta. Analiza tych rozwiązań potwierdza również dużą wiedzę Doktoranta w przedmiocie sieci neuronowych, sposobów ich konfiguracji, prowadzenia badań i analizy wyników.

Rozdział piąty omawia kwestie związane z optymalizacją modeli uczenia maszynowego. Zastosowano optymalizację dla modeli z jedną warstwą ukrytą i wieloma warstwami ukrytymi. Doktorant bezpośrednio przeszedł do omówienia parametrów konfiguracyjnych i sposobów uczenia modeli. W tym rozdziale zabrakło, choćby krótkiego wprowadzenia teoretycznego oraz przeglądu istniejącej literatury.

Bibliografia zawiera 129 pozycji. Są one adekwatne dla tematyki i celu rozprawy. W bibliografii brakuje najnowszych pozycji publikacyjnych. Doktorant zacytował jedynie dwa dokumenty z 2025 r. (w tym tylko jeden artykuł naukowy) oraz tylko osiem dokumentów z 2024 r. (w tym 7 artykułów naukowych). Przynajmniej jedna z pozycji w bibliografii została przedstawiona w niewłaściwy sposób. Publikacja „Z. Li, C. Bampis, L. Janowski, and I. Katsavounidis. A Simple Model for Subject Behavior in Subjective Experiments" wskazuje na *ArXiv*, podczas gdy artykuł został opublikowany w czasopiśmie Electronic Imaging. W mojej ocenie bibliografia powinna być bardziej aktualna. Niezrozumiały jest również brak w bibliografii artykułów, których współautorem jest Doktorant.

4. Inne uwagi

Moja podstawowa uwaga negatywna to błędy językowe w tytule rozprawy. Poprawnie językowo sformułowany tytuł powinien brzmieć np.: *Analiza Big Data informacji pochodzących z urządzeń końcowych STB oraz wykorzystanie metod uczenia maszynowego w celu usprawnienia działania usługi, analizy doświadczeń klienta oraz zaspokojenia jego oczekiwań*
Taki błąd nie powinien był się przytrafić Doktorantowi.

Rozprawa zawiera również wiele błędów językowych. Przykładowe to:

1. Dodatnie wartości wskazuję na poprawę jakości --> Dodatnie wartości wskazują na poprawę jakości

2. większa liczba użytkowników na danym kanale oznacza ważną audycje. Degradacje w takim momencie jest szczególnie niepożądana. --> większa liczba użytkowników na danym kanale oznacza ważną audycję. Degradacje w takim momencie są szczególnie niepożądane.

3. dekodery uzyskują ocenę najniższą (kolor zielony). --> dekodery uzyskują ocenę najniższą (kolor czerwony).

4. brak odniesienia do tabeli 2.2 w tekście.

5. 10,000 Kbit/s. --> 10,000 kbit/s lub 10,000 kb/s. (podobne błędy w wielu miejscach)

6. Ta cecha jest niewelowana --> Ta cecha jest niwelowana

7. Model ten nieco lepiej radzi sobie z klasą 3, dla której prawidłowo przewidział 22 próbki, 38 pomylił z klasą 38, a 8 próbek sklasyfikował jako ocena 5. → Model ten nieco lepiej radzi sobie z klasą 3, dla której prawidłowo przewidział 22 próbki, 38 pomylił z klasą 4, a 8 próbek sklasyfikował jako ocena 5.

8. Występuje znaczoną liczba błędów → Występuje znaczna liczba błędów

9. Dla najwyższej klay prawidłowo wskazano 168 próbek, → Dla najwyższej klasy prawidłowo wskazano 168 próbek,

10. Oceny dla materiału A obejmują całą skalę, jednak większość jest skumulowana w dolnej zakresu. → Oceny dla materiału A obejmują całą skalę, jednak większość jest skumulowana w dolnej części zakresu.

Kwestie wymagające wyjaśnienia w trakcie obrony rozprawy:

1. Czy algorytmy 1-5 stanowią w pełni autorskie rozwiązanie Doktoranta, a jeśli nie to w jakim zakresie?
2. Na jakiej podstawie Doktorant zdecydował o doborze parametrów dla algorytmów 1-5?
3. Na jakiej podstawie dobrano parametry wdrożonego modelu z próby 236?
4. Dlaczego nie zaprezentowano w rozprawie szerszej analizy wyników działania narzędzia wdrożonego w dekoderze?

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane w art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak **X**)

[X]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Zdecydowanie TAK	*Raczej TAK*	*Trudno powiedzieć*	*Raczej NIE*	*Zdecydowanie NIE*

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka lub Automatyka i Robotyka?

[X]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Zdecydowanie TAK	*Raczej TAK*	*Trudno powiedzieć*	*Raczej NIE*	*Zdecydowanie NIE*

C. Czy kandydat umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

[X]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
Zdecydowanie TAK	*Raczej TAK*	*Trudno powiedzieć*	*Raczej NIE*	*Zdecydowanie NIE*

W mojej ocenie rozprawa jest napisana bardzo rzetelnie i stanowi cenne źródło wiedzy w badanej tematyce, jednak nie zasługuje na wyróżnienie.

Podpis