Dr hab. inż. Halina Tarasiuk
Politechnika Warszawska
Instytut Telekomunikacji i Cyberbezpieczeństwa
e-mail: halina.tarasiuk@pw.edu.pl

30 października 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

Rozprawa podejmuje problem estymacji miary QoE (Quality of Experience), która stanowi subiektywną jakość oceny odbiorców systemu telewizyjnego oferującego strumieniowanie adaptacyjne HTTP. W szczególności Kandydat proponuje odwzorowanie subiektywnych ocen użytkowników za pomocą nadzorowanego uczenia maszynowego, z wykorzystaniem danych dostępnych po stronie operatora telewizyjnego. Badania prowadzono w rzeczywistym środowisku systemu Hiway firmy INEA.

Badany problem ma charakter naukowy. Modelowanie QoE dla usług strumieniowania adaptacyjnego jest obszarem badań, podejmowanym zarówno przez organizacje standaryzacyjne, takie jak ITU-T, jak i w literaturze naukowej. Na szczególne uznanie zasługuje sformułowanie zadania jako predykcji pełnego rozkładu ocen w skali ACR, a nie wyłącznie w skali MOS. Takie ujęcie pozwala na uwzględnienie zróżnicowania percepcji jakości wśród odbiorców.

Problem ma również istotne znaczenie praktyczne dla operatorów telewizyjnych. Wyniki badań subiektywnych oraz ich odwzorowanie na pomiary obiektywnych parametrów sieci mogą dostarczać także danych do wymiarowania zasobów sieci operatora.

2. Wkład autora

Za najważniejszy wkład Kandydata w dyscyplinę Informatyka Techniczna i Telekomunikacja uważam zaprojektowanie i przeprowadzenie badania subiektywnej oceny jakości wideo bezpośrednio w produkcyjnym systemie telewizyjnym, z udziałem abonentów w ich naturalnym środowisku. Badania tego typu są w literaturze rzadkie, gdyż wymagają ścisłej współpracy z operatorem oraz dostępu do infrastruktury produkcyjnej.

Za szczególnie wartościowe uważam następujące elementy:

- Adaptacja metody DSCQS do warunków domowych. Sekwencje badawcze przygotowano jako pozycje biblioteki VOD z metadanymi zgodnymi ze standardem CableLabs Content 3.0. Instrukcje wbudowano w sekwencję w postaci plansz informacyjnych, a oceny zbierano za pomocą formularza mobilnego dostępnego przez kod QR. Pozwoliło to przeprowadzić badanie bez obecności prowadzącego.

- Badania dla rzeczywistych przepływności operatora. Ocenie poddano wszystkie profile stosowane w usłudze: sześć poziomów dla H.264 (800-10 000 kbit/s) oraz pięć poziomów dla H.265 (1255-6364 kbit/s). Uzyskano oceny od 108 uczestników.
- Utworzenie zbioru danych łączącego parametry strumieni z ocenami subiektywnymi i cechami odbiorców, udokumentowanego szczegółowo w załączniku D.
- Opracowanie modelu klasyfikacji w skali ACR.
- Przygotowanie narzędzia aplikacyjnego (Python, Django), które prezentuje estymowaną jakość dla wybranego dekodera w ujęciu minutowym, audycji, kanału i całej sesji oglądania.

Wkład ma wyraźny wymiar praktyczny, zgodny z wdrożeniowym charakterem doktoratu. Zaproponowane rozwiązanie zostało osadzone w istniejącym środowisku narzędzi monitorujących operatora. Wartością dodaną są także obserwacje z badań subiektywnych, które mogą wspierać decyzje operatora dotyczące wykorzystania pasma.

Wyniki prac były systematycznie upowszechniane. Dorobek autora obejmuje cztery artykuły w recenzowanych czasopismach, w tym dwa w czasopiśmie Applied Sciences z impact factorem (2,5 i 2,7), a także publikacje w Journal of Telecommunications and Information Technology oraz Przeglądzie Telekomunikacyjnym. Uzupełniają go rozdziały w monografiach i referaty konferencyjne, m.in. na konferencjach IBIMA.

3. Poprawność

Rozprawa cechuje się staranną dokumentacją procesu badawczego, która umożliwia jego odtworzenie. Parametry transkodowania materiałów zestawiono w tabeli 3.4, a strukturę sekwencji, czasy prezentacji plansz i dobór materiałów opisano w załącznikach A-C. Na uznanie zasługuje przemyślany plan eksperymentu. Kandydat zastosował pary kontrolne złożone z dwóch materiałów referencyjnych oraz zmieniał pozycję referencji w parach, aby ograniczyć efekt uczenia się uczestników. Zachowano zalecenie ITU dotyczące maksymalnego czasu sesji (30 minut), a dla osób bez urządzeń mobilnych przygotowano alternatywny formularz papierowy. Analiza danych empirycznych jest rzetelna i szczegółowa. Dla każdego materiału podano wartość minimalną, kwartyle, 95. percentyl, średnią i odchylenie standardowe. Rozkłady ocen zilustrowano histogramami z estymatorem gęstości, a wyniki omówiono dla wszystkich 30 par. Kandydat w sposób wyważony interpretuje trudności uczestników w rozróżnianiu jakości w sekwencji H.265. Część dotycząca uczenia maszynowego prezentuje systematyczne podejście inżynierskie:

- analizę zbioru cech z użyciem korelacji Pearsona i Spearmana, PCA oraz LDA;
- dobór funkcji straty (dywergencja Kullbacka–Leiblera) właściwy dla etykiet w postaci rozkładów prawdopodobieństwa;
- przeszukanie przestrzeni hiperparametrów za pomocą pakietu Optuna (łącznie 442 modele);
- weryfikację najlepszych konfiguracji z użyciem 10-krotnej walidacji krzyżowej;
- wszechstronną ocenę modeli: SROCC, trafność, precyzja, czułość, F1, macierze pomyłek oraz analiza predykcji dla wybranych próbek.

4. Wiedza Kandydata

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów. Rozdział 2. opisuje architekturę systemu i QoE, rozdział 3. zawiera badanie subiektywnej oceny jakości, rozdział 4. Przedstawia wykorzystanie uczenia

maszynowego do oceny jakości wideo, w rozdziale 5 zaproponowano optymalizację modeli uczenia maszynowego i wybór modelu do wdrożenia. Rozdział 6. przedstawia propozycję wdrożenia estymacji jakości usług na poziomie dekoderów STB, a rozdział 7. podsumowuje pracę. Załączniki A-E zawierają materiały badawcze, plansze instruktażowe, zbiór ocen i spis publikacji autora.
Rozdziały rozprawy obejmują szeroki zakres zagadnień i dowodzą znajomości całego procesu dostarczania treści wideo, od nadawcy do urządzenia końcowego. Autor sprawnie łączy wiedzę z zakresu sieci telekomunikacyjnych, kodowania wideo, oceny jakości QoE i uczenia maszynowego. Przegląd literatury jest aktualny i obejmuje prace z lat 2020–2025. Bibliografia liczy 129 pozycji, obejmuje publikacje z prestiżowych czasopism, takich jak IEEE Transactions on Image Processing, IEEE Transactions on Broadcasting, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Communications Surveys & Tutorials oraz ACM Computing Surveys. Zawiera również rekomendacje ITU-T i ITU-R, normy ISO/IEC i ETSI, dokumenty RFC oraz klasyczne podręczniki z zakresu statystyki i uczenia maszynowego. Dobór źródeł w pełni odpowiada zakresowi rozprawy.
Za posiadaniem przez Kandydata wiedzy w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja przemawia także praktyczna realizacja całego procesu badawczego: od przygotowania i dystrybucji treści w sieci operatora, przez zebranie i analizę danych, po uczenie modeli i budowę aplikacji.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że Kandydat posiada wiedzę z zakresu informatyka techniczna i telekomunikacja.

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*

_____

Podpis