

Kraków, 16.05.2022

Prof. dr hab. inż. Bogusław Cyganek  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji  
Instytut Elektroniki

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**„*Artificial Neural Networks***  
***for Multimodal Data Embeddings and Classification*”**  
**Pani magister Ivony Tautkutė**

**Wstęp**

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej Pani magister Ivony Tautkutė zatytułowanej „*Artificial Neural Networks for Multimodal Data Embeddings and Classification*”. Promotorem doktoratu jest Pani dr hab. Alicja Wieczorkowska, a promotorem pomocniczym Pan dr hab. inż. Tomasz Trzeciński. Praca powstała w Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych. Rozprawa została napisana w języku angielskim.

Recenzja została wykonana na zlecenie Pani prof. dr hab. Marii Elżbiety Orłowskiej, Przewodniczącej Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka w Polsko-Japońskiej Akademii Technik Komputerowych.

Recenzja została zorganizowana w postaci odpowiedzi na pytania dotyczące rozprawy doktorskiej Pani magister Ivony Tautkutė.

**1. *Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autorkę? Jaki charakter ma rozprawa?***

Pracy doktorska Pani magister Ivony Tautkutė dotyczy opracowania oraz weryfikacji naukowej nowych metod klasyfikacji danych wielomodalnych z wykorzystaniem oryginalnie opracowanych architektur sieci neuronowych. Z danymi wielomodalnymi, czyli pochodzącymi z różnych źródeł o różnym charakterze fizycznym sygnałów, czyli takich jak obrazy, mowa, tekst, ale również ekspresja twarzy itd., mamy do czynienia na co dzień. Przeważnie nie zastanawiamy się nad każdym z nich z osobna, ale razem tworzą one dla nas wrażenia, które odbieramy, oceniamy i na nie reagujemy. Dobrym przykładem może posłużyć tu rozwój kina, które obecnie nie dość że jest w całym swoim zakresie cyfrowe, to jeszcze dostarcza nam już nie tylko wrażeń wizyjnych, i to często stereowizyjnych, oraz audio, ale również innych takich jak fizyczne efekty ruchu, drgań, zapachy, wilgoć, mgła, wiatr, zmiany temperatury, czy

też stroboskopowe oświetlenie – a wszystko aby wywołać zamierzony efekt na widza „kontaktu” z zamierzoną, czy też kreowaną, rzeczywistością. Odbiór przez widza efektów wspomnianego kina 4D jest całościowy i raczej nie zastanawiamy się nad każdym ze składników z osobna. W przypadku algorytmów uczących się na danych takie całościowe potraktowanie składowych wielomodalnych jest jednak trudnością i dziedzina ta, wyrosła jako gałąź uczenia maszynowego, jest ciągle rozwijana. Główne problemy to możliwość jednoczesnej analizy sygnałów pochodzących z różnych sensorów fizycznych, czyli charakteryzujących się zupełnie innymi wartościami, wymiarami, zakresami wartości, jak również przebiegiem w czasie itd. Trywialne podejście polegające na wytrenowaniu  $N$  niezależnych klasyfikatorów i połączenie ich odpowiedzi rzadko przynosi oczekiwane skutki, szczególnie jeśli system ma pozostawać w interakcji z użytkownikiem, np. w zadaniach klasyfikacji i wyszukiwania informacji w danych wielomodalnych z uwzględnieniem zależności kontekstowych. Stąd też dziedzina ta należy do intensywnie badanych i rozwijanych. Praca doktorska Pani magister Ivony Tautkutė również wpisuje się w ten nurt.

Doktorantka zdołała opracować szereg metod klasyfikacji, wyszukiwania, jak również generowania obrazów syntetycznych na podstawie danych wielomodalnych. Do tego celu Autorka używa różnorodnych architektur głębokich sieci neuronowych, które w ostatnich latach przyczyniły się do prawdziwej rewolucji w dziedzinie przetwarzania danych cyfrowych, czyli tzw. uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji (ML/AI). Pani magister Ivona Tautkutė w swoich badaniach zaproponowała nowe wersje sieci tego typu, przystosowane do modelowania zależności kontekstowych pomiędzy obrazem oraz tekstem, co zostało zweryfikowane w systemie wspomaganego wyszukiwania stylistycznie podobnych obiektów. Nie mniejszym wyzwaniem, było tu opracowane przez Doktorantkę sposoby pomiaru „bliskości” stylistycznej miary uważane za raczej subiektywne, czy też „miękkie”. Bardzo ciekawe są tu również zaproponowane metody analizy cech semantycznych, zwanych w pracy osadzeniami (ang. *embeddings*), umożliwiającymi lepszą analizę oraz modelowanie „podobieństwa” klasyfikowanych obiektów, jak również wyjaśnianie sposobu wnioskowania/klasyfikacji otrzymywane z wytrenowanej sieci neuronowej. „Wyjaśnialność” odpowiedzi klasyfikatorów jest oddzielnym i bardzo istotnym nurtem badań nad sieciami neuronowymi.

Nie mniej ciekawe są opracowane przez Panią magister Iwonę Tautkutė metody generatywne, zaimplementowane w oryginalnej architekturze złożonej sieci neuronowej, umożliwiające w odpowiedzi na zapytanie wielomodalne tworzenie przez system syntetycznych obrazów. Metoda została zweryfikowana w zadaniu wyszukiwania podobnych informacji w danych wielomodalnych.

Uważam że problemy badawcze podjęte przez Doktorantkę Panią magister Iwonę Tautkutė są istotne zarówno w obszarze badań teoretycznych, jak i aplikacyjnych. Charakter pracy można więc określić jako: teoretyczno-doświadczalny.

## ***2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadcząca o dostatecznej wiedzy Autorki? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?***

W rozprawie zamieszczona została bibliografia zawierająca przeszło sto, przeważnie nowych, pozycji literaturowych, w tym cztery, w których Doktorantka Pani magister Ivona Tautkutė jest pierwszym ze współautorów. Oceniam, że w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym

literatury światowej, stanu wiedzy i potencjalnych zastosowań, co świadczy o dużej wiedzy Autorki w szeroko pojętej dziedzinie uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji ML/AI.

Wspomniane prace, w których Doktorantka jest pierwszym z autorów, stanowią kolejne rozdziały rozprawy doktorskiej.

W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle, co jednoznacznie i bardzo pozytywnie świadczy o głębokiej wiedzy Autorki w szeroko pojętych dziedzinach uczenia maszynowego, sztucznej inteligencji, ale również budowy oraz implementacji systemów informatycznych. Należy tutaj wspomnieć, że ze względu na wielką dynamikę badań w tych dziedzinach napływ nowych, często bardzo interesujących i wartościowych prac jest bardzo intensywny. Wymaga to od badaczy ciągłej analizy strumienia najnowszych publikacji naukowych i – co więcej – dostrzeżenia pomysłów i metod przydatnych w specjalistycznych zagadnieniach badawczych, co jest możliwe jedynie wśród osób będących „na bieżąco” z nauką światową, nie wspominając o ilości czasu i pracy poświęconych na tę analizę.

### ***3. Czy Autorka rozwiązała postawione zagadnienia, czy użyła właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?***

Główne zagadnienie naukowe polegające na opracowaniu oraz weryfikacji naukowej nowych metod klasyfikacji danych wielomodalnych zostało przez Panią magister Ivonę Tautkutę prawidłowo rozwiązane poprzez analizę zadań badawczych, analizę możliwych i znanych rozwiązań, a następnie propozycję swoich, oryginalnych i lepiej działających propozycji. Kluczowym rozwiązaniem są tutaj systemy wykorzystujące różne głębokie sieci neuronowe, o których jest mowa w kolejnym punkcie recenzji.

Tym niemniej, użycie sieci, a szczególnie umiejętność modyfikacji, jak również łączenia różnych ich architektur w celu uzyskania lepszych wyników, co zostało zademonstrowane przez Doktorantkę w prezentowanych rozwiązaniach, wymaga znacznej wiedzy oraz doświadczenia. Użyte przez Doktorantkę metody uważam za prawidłowo wybrane, o czym przede wszystkim świadczą bardzo dobre wyniki eksperymentalne, co zostało również potwierdzone licznymi publikacjami w ważnych i recenzowanych periodykach naukowych o światowym zasięgu.

Przedstawione w rozprawie Pani magister Ivona Tautkutę zaawansowane metody klasyfikacji danych wielomodalnych za pomocą hybrydowych głębokich sieci neuronowych świadczą o jej dogłębnej wiedzy w dyscyplinie Informatyka. W szczególności tematyka ta wpisuje się w dziedziny ML/AI, jak również multimediów oraz opracowania rekomendujących systemów informatycznych. Opracowane oraz zaprezentowane metody są na wysokim światowym poziomie, a uzyskane wyniki eksperymentalne plasują je wśród czołówki rozwiązań światowych.

#### **4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autorki, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Badania naukowe Pani magister Ivony Tautkutė dotyczą opracowania oraz weryfikacji eksperymentalnej nowych metod klasyfikacji danych wielomodalnych z wykorzystaniem najnowszych metod ML/AI, głównie w postaci głębokich sieci neuronowych. Najistotniejsze osiągnięcia Doktorantki Pani Ivony Tautkutė w tej dziedzinie i zaprezentowane w rozprawie doktorskiej można podsumować następująco:

1. Opracowanie architektury głębokiej sieci neuronowej do szukania w repozytoriach wielomodalnych danych z mechanizmem uporządkowywania, a następnie mieszania modułami wyszukiwania (ang. *blending algorithm*). Na rzecz weryfikacji eksperymentalnej Doktorantka wraz z zespołem przygotowali nowy zbiór danych wielomodalnych, obejmujący głównie obiekty projektowania wnętrz takie jak meble, lampy i inne wyposażenie mieszkań, a wykorzystane do ewaluacji opracowanych metod. Użyte zostały dwie sieci neuronowe. Pierwsza w architekturze YOLO do detekcji obiektów, natomiast druga, bazująca na architekturze VGG, do klasyfikacji obiektów i dostarczenia wektora cech semantycznych reprezentujących każdy z tych obiektów. System posiada dwa torzy przetwarzania: niezależny dla obrazów oraz drugi do analizy tekstów uzupełniający proces szukania podobnych obiektów. Końcowy moduł przetwarzania/mieszania odpowiednio skategoryzowanych list wyników pozwala na uzyskanie bardziej wiarygodnych rezultatów, w sensie stylistycznym, jak i estetycznym, w zadaniu poszukiwanych obiektów. Zostały zaproponowane dwa warianty mieszania modułami: mechanizm późnej fuzji (ang. *late-fusion blending*), w którym w każdym modułzie wybierane jest niezależnie  $k$  najlepiej dopasowanych obiektów; drugi, bardziej złożony mechanizm wczesnej, lub prostej, fuzji (ang. *early-fusion blending*) w którym zastosowano specjalny mechanizm re-rankingu pomiędzy modułami wizyjnym i tekstowym. Metoda ta została użyta do opracowania praktycznej strony internetowej umożliwiającej poszukiwanie stylistycznie zgodnych obiektów wyposażenia wnętrz.
2. Opracowanie rozszerzonej architektury metody opisanej w poprzednim punkcie. Metoda ta bazuje na głębokich sieciach podwójnych typu Siamese w celu lepszej reprezentacji cech semantycznych (ang. *embeddings*) poprzez użycie specjalnej funkcji kosztu podczas uczenia. Zaproponowana hybrydowa architektura została nazwana DeepStyle-Siamese. Składa się ona z dwóch dualnych bloków neuronowych, każdy przetwarzający zarówno gałąź wizyjną, jak i tekstową, jednakże uczone różnymi zestawami danych w celu uzyskania odseparowania przestrzeni danych pochodzących z różnych klas. W tym celu zastosowana została funkcja kosztu składająca się z wielu składowych: kosztu klasyfikacji dla każdej gałęzi obrazu oraz tekstu, jak również kosztu kontrastowego (ang. *contrastive loss*) dla par obraz-tekst. Do weryfikacji eksperymentalnej został użyta oryginalnie opracowana baza IKEA, zawierająca obiekty wyposażenia oraz dekoracji wnętrz, jak również baza DeepFashion zawierająca ubrania. Wyniki potwierdziły skuteczność proponowanego rozwiązania w porównaniu z innymi znanymi rozwiązaniami.
3. Opracowanie metody generatywnej SynthTriplet GAN. Główną różnicą w porównaniu z poprzednimi metodami to uzupełnienie wielomodalnego wzorca poszukiwania o syntetycznie wygenerowany obraz, który przenosi dodatkową informację semantyczną na temat wejściowego wzorca obrazu i tekstu. Tor przetwarzania ponownie zawiera gałęzie do

przetwarzania zarówno obrazu, jak i tekstu, w celu obliczenia ich cech semantycznych (embeddings) w postaci oddzielnych wektorów. Wektory te są następnie łączone w jeden wspólny, który dostarczany jest do modułu generacyjnego. Następnie potrójna funkcja kosztu (ang. *triplet loss*) obliczana jest na cechach pochodzących z obrazu referencyjnego, docelowego, jak również sztucznie wygenerowanemu w gałęzi syntezującej. Zaproponowane podejście ma wiele zalet. Między innymi, ze względu na przetworzenie wielomodalnego zapytania do postaci obrazu 2D możliwe jest dostosowanie do potrzeb klienta oraz otrzymanie i wykorzystanie informacji zwrotnej, czy proces poszukiwania zgadza się z jej lub jego oczekiwaniami. Po drugie, metoda dostarcza informacji tłumaczącej/wyjaśniającej, które cechy semantyczne (embeddings) odpowiadają za rozróżnienie danych wejściowych systemu. Należy tutaj dodać, że problem „wyjaśnialności” odpowiedzi złożonych klasyfikatorów neuronowych stanowi przedmiot intensywnych badań. Dzięki zaproponowanemu mechanizmowi możliwy jest rodzaj intuicyjnej interpolacji cech semantycznych, co umożliwia dostarczanie wyników zgodnych z oczekiwaniami użytkownika systemu. Metoda ta została przetestowana z użyciem bazy Fashion Interactive Queries oraz Shoes Attribute Discovery Dataset, jak również porównana z istniejącymi podejściami do tego problemu, wykazując rezultaty porównywalne ze *state-of-the-art* w tej dziedzinie.

4. Opracowanie metody analizy danych wielomodalnych, w których modami są ekspresje twarzy oraz akcje użytkowników. Metoda ta więc wpisuje się w tematykę tzw. rozpoznawania emocji (ang. *emotion recognition*), które to zagadnienie znajduje coraz większe zainteresowania wśród badaczy ML/AI. Zaproponowana metoda, nazwana EmotionalDAN, wykorzystuje tzw. mechanizm uwagi (ang. *attention mechanism*) w kontekście cech twarzy, jak również bazuje na dodatkowej funkcji kosztu. Dzięki temu metoda ta umożliwia między innymi bardzo ciekawe zastosowanie – rozpoznawanie emocji osób poruszających się pojazdami.

Wymienione osiągnięcia świadczą o dużej dojrzałości naukowej Pani magister Ivony Tautkutė. W tej niełatwej i dynamicznie rozwijającej się dziedzinie potrafiła zaproponować swoje oryginalne rozwiązania naukowe, jednocześnie swobodnie poruszając się zarówno w dziedzinie ML/AI, jak również multimediów i informatycznych systemów rekomendujących, wszystkich należących do szeroko pojętej dziedziny informatyka.

## **5. Jaka jest umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników oraz jaki jest dorobek publikacyjny Doktorantki**

Rozprawa doktorska Pani magister Ivony Tautkutė liczy 115 stron. Napisana jest w języku angielskim. Praca podzielona jest na 8 rozdziałów, uzupełnionych bibliografią. Rozdział 1 zawiera wstęp, w którym sformułowane zostały cel i tezy pracy, w rozdziale 2 znajduje się przegląd rozwiązań światowych, natomiast rozdział 3 zawiera rodzaj przewodnika po pracach Autorki zamieszczonych w kolejnych rozdziałach rozprawy. I tak, rozdziały 4, 5, 6 oraz 7 są przedrukami artykułów naukowych, w których Pani Ivona Tautkutė jest pierwszym z autorów – są to następujące publikacje:

1. **Tautkutė, I.,** Mozejko, A., Stokowiec, W., Trzcinski, T., Brocki, L., Marasek, K.: *What Looks Good with my Sofa: Ensemble Multimodal Search for Interior Design*. Proceedings of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 2017.
2. **Tautkutė, I.,** Trzcinski, T., Skorupa, A., Marasek, K., Brocki, L.: *DeepStyle: Multimodal Search Engine for Fashion and Interior Design*. IEEE Access, 2019 (IF=3.367).

3. **Tautkutė, I., Trzcinski, T.:** SynthTriplet GAN: *Synthetic Query Expansion for Multimodal Retrieval*. The 28th International Conference on Neural Information Processing ICONIP2021, 2021.
4. **Tautkutė, I., Trzcinski, T.:** *Classifying and Visualizing Emotions with Emotional DAN*. Fundamenta Informaticae, 2019 (IF=1.298).

Należy tutaj dodać, że publikacja nr 3 z powyższej listy posiada 140 punktów wg listy MNiSW.

Wszystkie te publikacje dotyczą głównie dziedzin uczenia maszynowego, sztucznej inteligencji oraz systemów rekomendacyjnych wraz z aplikacjami. Ze względu między innymi na wysoki tzw. współczynnik wpływu IF oraz międzynarodowy zasięg publikacji, osiągnięcia te świadczą również o umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników Doktorantki Pani magister Ivony Tautkutė.

## 6. *Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?*

Rozprawa doktorska Pani Ivony Tautkutė jest dobrze napisana i bazuje głównie na wcześniej opublikowanych artykułach naukowych. Nie znalazłem żadnych istotnych „słabych stron”, ani też wad merytorycznych w proponowanych rozwiązaniach, ani też w metodologii naukowej Doktorantki. Poniżej zawarłem pewne drobniejsze uwagi oraz pytania, które nasuwają się po lekturze tej pracy.

1. Pogłębionej dyskusji wymaga pojęcia podobieństwa stylu/ów (ang. *style similarity*), gdyż jest to pojęcie cokolwiek subiektywne. Oczywiście Doktorantka korzysta tu z miar wcześniej zaproponowanych w innych pracach, tym niemniej nasuwa się pytanie czy tego typu rodzaj podobieństwa można by osadzić bardziej na pewnych danych statystycznych, np. zbieranych w ramach konsultacji z klientami po zakupach itd.
2. Pytanie również dotyczące podobieństwa stylów – czy możliwe byłoby tu zastosowanie metodologii zapożyczonej z dziedziny logiki rozmytej (ang. *fuzzy logic*), choćby do określenia pewnych miar przynależności, a potem ich analizy zgodnie z założeniami tej logiki?
3. Czy założona odległość euklidesowa w wielu funkcjach kosztu, a dotycząca pomiaru odległości między wektorami z cech semantycznych (np. wzór (3.5)) jest najwłaściwsza i jedyna możliwa w tym kontekście?
4. Wzór (3.2) oraz (4.1) wymagają lepszego wytłumaczenia – jakie są relacje pomiędzy zbiorami  $P$  oraz  $C_i$ , skoro  $p_1, p_2 \in P$ , jak również  $p_1, \in C_i$  oraz  $p_2 \in C_i$ , a  $C_i \in C$ .
5. W metodach wykorzystujących YOLO 9000 nie jest jasne w jaki sposób sieć ta była trenowana? Podobne pytanie dotyczy sieci ResNet oraz VGG wspomnianych w artykule z rozdziału 4.
6. W metodzie używana jest sieć YOLO 9000 oraz wspomniana VGG – nasuwa się pytanie, czy cechy semantyczne YOLO 9000 nie mogły być bezpośrednio użyte do semantycznej reprezentacji wykrytych obiektów, czy jednak musiała do tego być używana druga sieć VGG?
7. Również w metodzie z rozdziału 4 wspomniane uzyski w jakości działania, w wielkości 175% oraz 238% wymagają bliższego omówienia. W stosunku do czego były liczone te wartości? Jaki jest tutaj tzw. ground truth data?

8. Nie jest jasne czy oryginalna baza danych, wspomniana zarówno w artykule z rozdziału 4, jak i 5, czy to jest ta sama baza, czy też są to inne bazy, czy może ta druga jest rozszerzeniem bazy wcześniejszej.
9. Aplikacja webowa na stronie *stylesearch.tooploox.com* umożliwia dopasowanie wyłącznie obrazów – czy jest możliwe też dodanie zapytań w postaci tekstowej?
10. W artykule z rozdziału 6 wspomniane jest użycie głębokich sieci neuronowych przetrenowanych na bazie ImageNet – ale czy to „base-lineowe” wytrenowanie ma znaczenie? A może trzeba by do-trenować tę sieć na obrazach dziedzinowych, tj. obrazach obiektów wyposażenia mieszkań, czy też ubrań?
11. W metodzie z rozdziału 6 wspomniana jest sieć GAN w wersji z miarą Wassersteina – jakie jest naukowe uzasadnienie użycia tego typu sieci w tym systemie? Co jest takiego specyficznego w mierze Wassersteina, co pozwala na uzyskanie lepszych rezultatów?
12. Wszystkie zaprezentowane w rozprawie publikacje są wieloautorskie. W każdej Doktorantka jest pierwszym z autorów, jednakże chociaż przybliżony udział procentowy każdego ze współautorów umożliwiłyby lepsze oszacowanie oryginalnego wkładu Doktorantki w powstanie każdej z zaprezentowanych metod, co jest istotne w recenzji doktoratu.
13. Aż się prosi żeby we wstępie rozprawy, zamiast podsumowywać rezultaty zaraz później dokładnie opisane w reprinted publikacji, napisać o bieżących trendach w tej tak dynamicznie rozwijającej się dziedzinie – mam tu na myśli choćby transformery (ang. *transformers*), które głównie w zadaniu przetwarzania języka naturalnego oraz widzeniu komputerowym znajdują bardzo duże zainteresowanie ze względu na swoje specyficzne właściwości, między innymi mechanizm samo-atencji (ang. *self attention*). Co prawda Doktorantka wspomina o nich wymieniając publikacje, jak również praktycznie na ostatniej stronie swojej rozprawy jako rzecz na przyszłość, podczas gdy transformery znane są już od kilku lat (co najmniej od 2017) i, wydaje się, bardzo dobrze wpisują się w systemy klasyfikacyjne rozwijane przez Doktorantkę.

Powyższe uwagi mają charakter bardziej polemiczny i dotyczą dalszego wyjaśnienia, bądź też rozszerzenia zagadnień natury naukowej poruszonych w rozprawie.

## **7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?**

Metody opracowane oraz opisane w rozprawie doktorskiej Pani magister Ivony Tautkutė mają istotne znaczenie dla nauk technicznych, zarówno w aspekcie osiągnięć teoretycznych, jak i możliwości aplikacyjnych. Wartość ta jest pochodną głównych i samodzielnych osiągnięć Autorki, o których była mowa w poprzednich punktach recenzji. W szczególności, podkreślić należy główne osiągnięcie, czyli opracowanie metody klasyfikacji danych wielomodalnych, jak również przeszukiwanie repozytoriów z tego typu danymi, metody modelowania zależności kontekstowych w systemach rekomendacji z uwzględnieniem podobieństwa stylistycznego danych wielomodalnych, jak również generatywne metody wielomodalne służące między innymi do tworzenia interpretowalnych cech semantycznych. Wszystkie wymienione metody charakteryzują się wysoką dokładnością odpowiedzi, również w porównaniu z rozwiązaniami światowymi *state-of-the-art*. Bardzo cenna jest też możliwość dalszego rozwijania opracowanych przez Doktorantkę metod m.in. do łączenia sygnałów innego typów.

Należy też wspomnieć, że wymienione metody klasyfikacji i wyszukiwania danych wielomodalnych mogą i znalazły już liczne aplikacje – między innymi Doktorantka była jednym z twórców interaktywnej strony internetowej umożliwiającej znajdowanie podobnych ubrań.

### ***Wnioski końcowe***

Podsumowując stwierdzam, że postawione w rozprawie zadania badawcze zostały rozwiązane, a tezy wykazane. Uzyskane rezultaty stanowią oryginalny własny wkład Autorki rozprawy Pani magister Ivony Tautkutė w rozwój dyscypliny naukowej Informatyka. W swojej pracy naukowej Pani Ivona Tautkutė wykazała się imponującą znajomością najnowszych metod i algorytmów uczenia maszynowego oraz sztucznej inteligencji ML/AI, systemów rekomendacyjnych, jak również dobrym opanowaniem naukowego warsztatu badawczego, a w rezultacie również wysoką dojrzałością naukową.

Recenzowaną pracę oceniam jako *spełniającą z istotnym nadmiarem* wymagania stawiane rozprawom doktorskim. **Wnioskuje o jej przyjęcie oraz o dopuszczenie Pani magister Ivony Tautkutė do publicznej obrony.**

Ponadto, uwzględniając wysoki poziom naukowy oraz nowatorski charakter zaprezentowanych metod naukowych, podpartych kilkoma publikacjami w istotnych periodykach naukowych, **wnioskuje o wyróżnienie rozprawy.**

B. 0999