

Prof. Michał Woźniak
Politechnika Wrocławska

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Aleksandra Sawickiego**

zatytułowanej:

***Rozpoznawanie człowieka na podstawie chodu przy wykorzystaniu sensorów
IMU oraz metod tworzenia sztucznych próbek w systemach biometrycznych***

1. Problem badawczy i jego znaczenie

W pracy rozważane są zagadnienia związane z wykorzystaniem sensorów IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*) w biometrii behawioralnej (ocena chodu). Głównym aspektem badawczym było zaproponowanie metod augmentacji danych oraz nadpróbkowania zbioru danych w celu zwiększenia skuteczności zaproponowanego rozwiązania, tj. jakości klasyfikacji. Praca ma charakter naukowo-aplikacyjny - doktorant proponuje w pracy autorski tor przetwarzania danych obejmujący segmentację cykli chodu, filtracji częstotliwościowej, augmentacji oraz klasyfikacji. Jako pojedynczy wzorzec chodu wykorzystano sygnały z trójosiowego akcelerometru oraz żyroskopu dla pojedynczego sensora umiejscowionego w okolicy prawego uda. Zaproponowane metody zostały poddane ocenie pod kątem wybranych czynników, które mogą wpływać na jakość proponowanego rozwiązania. Ocena jakości zaproponowanych metod została dokonana na drodze eksperymentu komputerowego. Opracowane metody mogą być podstawą do budowy efektywnych systemów biometrycznych wykorzystujących sygnał chodu.

2. Wkład autora

Zakres oraz zawartość rozprawy oceniam pozytywnie, jednak zwrócić należy uwagę, że teza rozprawy nie została precyzyjnie sformułowana, gdyż nie podano jakie kryteria jakości będą wykorzystywane do oceny skuteczności systemu biometrycznego, a także z jakimi rozwiązaniami doktorant zamierza się porównać. Mimo tego drobnego uchybienia, uważam tezę za intuicyjnie poprawną, a kolejne rozdziały niejako dodefiniowują sens zaproponowanej tezy. Warto tu także zauważyć, że oprócz tezy, doktorant dość precyzyjnie sformułował trzy główne cele rozprawy.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam:

- Opracowanie autorskiego zbioru uczącego BUT (Białystok University of Technology) zawierającego cykle chodu. Baza zawiera sygnały pozyskane od 100 osób o zróżnicowanych charakterystykach demograficznych, w dwóch rozłącznych cyklach pomiarowych. W ramach każdego z nich pozyskano odpowiednio 3400 i 3280 cykli chodu.
- Zaproponowanie metody augmentacji danych pochodzących z akcelerometru oraz żyroskopu.
- Zaproponowanie metod generowania syntetycznych danych z wykorzystaniem modeli generatywnych.
- Zaproponowanie autorskiego toru przetwarzania danych obejmującego segmentację cykli chodu, filtrację częstotliwościową, augmentację oraz klasyfikację.
- Ocenę zaproponowanych metod na drodze eksperymentu komputerowego z wykorzystaniem zarówno autorskiej bazy danych jak i baz benchmarkowych. W tym zakresie zbadano m.in., wpływ liczby sesji uczących, typu nawierzchni, po której poruszali się uczestnicy badań, czy lokalizacji sensorów na jakość klasyfikacji systemu biometrycznego.
- Krytyczną analizę otrzymanych rezultatów na tle literatury przedmiotu.

Wyniki uzyskiwane w trakcie pracy nad rozprawą zostały zawarte w siedmiu publikacjach, jednakże dorobek publikacyjny doktoranta jest bardzo bogaty i obejmuje 39 publikacji, w tym siedem artykułów w czasopismach (w tym cztery w czasopismach indeksowanych w JCR), a także prace na dobrych konferencjach (m.in. ECML-PKDD) oraz w monografiach naukowych.

3. Poprawność

Struktura pracy nie budzi zastrzeżeń, jednakże na czytelność rozprawy wpłynęłoby na pewno zmieszczenie spisu oznaczeń oraz skrótów. Lektura rozprawy prowadzi do sformułowania poniższych uwag.

- W podsumowaniu rozdziału 3, który uważam za najciekawszy, doktorant słusznie rozróżnia dwa scenariusze (tj. bazujący na danych z tej samej sesji/dnia oraz wykorzystujący dane z różnych sesji, gdzie może wystąpić zjawisko *data distribution shift*), jednakże brak jest badań potwierdzających jednoznacznie sformułowane wnioski. Dlaczego w analizie wyników nie zastosowano metod analizy statystycznej, które wzmocniłaby sformułowane wnioski. Uwaga ta dotyczy także kolejnych

rozdziałów, chociaż odwołując się do prac innych autorów doktorant przedstawia czasami wyniki analizy statystycznej - np. wartość p-value.

- Nie są dla mnie także jasne przesłanki, jakimi kierował się doktorant twierdząc, że zaproponowana metoda nie będzie skuteczna w przypadku klasyfikacji obrazów. Wprowadzenie szumu jest jedną z popularnych metod augmentacji. Warto tu wspomnieć, że szereg prostych metod generowania danych syntetycznych, takich jak *Random Oversampling* z dodanym szumem, czy też SMOTE, zostało zaadoptowanych do dziedziny klasyfikacji obrazów z wykorzystaniem modeli głębokich (patrz np. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112677>).
- W pracy brakuje mi dyskusji dotyczącej wyboru metryk jakości klasyfikacji. Została wybrana metryka F1, która posiada pewne wady, do których zaliczyć należy niejednoznaczność, a także to, że jest to specjalny przypadek metryki parametrycznej F_β , dla parametru $\beta=1$. Parametr ten określa o ile ważniejsza jest dla użytkownika czułość (*recall*) w stosunku do precyzji (*precision*). Wydaje się, że w pracy warto podać raczej wspomniane metryki proste (*recall* i *precision*), zamiast metryki zagregowanej, co umożliwiłoby pogłębioną analizę wyników. Z drugiej strony rozumiem, że wybór ten podyktowany jest zapewne popularnością F1 w biometrii.
- W pracy brak jest precyzyjnej informacji na temat środowiska programistycznego, w jakim wykonano eksperymenty. Nie udostępniono także repozytorium wykorzystanego w ich trakcie kodu. Obecnie ważnym paradygmatem jest tzw. *replicable research*, tj. umożliwienie czytelnikowi niezależną replikację wyników eksperymentów. Domyślam się, że zostały one wykonane w Pythonie, gdyż doktorant wspomina, że korzysta z niektórych implementacji w tym języku.
- Brak jest oceny złożoności obliczeniowej i pamięciowej zaproponowanych metod, co mogłoby być podstawą do oceny możliwości zaimplementowania zaproponowanych metod w systemach wbudowanych.
- Brak jest dyskusji parametrów zaproponowanych algorytmów. Doktorant przyjmuje często jakieś wartości, ale nie wiadomo z czego one wynikają czy są one wynikiem oceny eksperckiej, czy jakiś wstępnych eksperymentów.
- Analizy przedstawione w pracy obejmują dość dużą liczbę sygnałów i przyjęty sposób wizualizacji w postaci pseudoobrazów jest intuicyjny, jednakże doktorant powinien poświęcić więcej miejsca na wprowadzenie w ten sposób wizualizacji, wskazując, np. na przykładzie rys. 1.13, jakie wielkości są obrazowane.
- Niektóre przekształcenia zawarte w pracy są zbędne, np. jaki sens jest podawać wzór (5), jeżeli jest to *de facto* ten sam wzór co (4).

- W pracy zauważono także sporo uchybień redakcyjnych bądź językowych (głównie tzw. literówek, np. rysunek 1.20). Dość często zdarza się, że autor odwołuje się w tekście do niewłaściwej tabeli, bądź rysunku (np. s.22 odwołanie do rys. 4.1, a powinno być 1.5, czy s. 51 odwołanie się do rys. 3.2, a powinno być 2.2). Podobnie, stosowane symbole matematyczne czasami są pisane dużą bądź małą literą, co z formalnego punktu widzenia oznacza różne symbole (np. s. 53 opis wzoru 7). Nie rozumiem także jaka jest rola symboli w lewym dolnym rogu strony, które wyglądają jak sumy kontrolne poszczególnych stron.

4. Wiedza kandydata

Na podstawie lektury uważam, że doktorant posiada ugruntowaną wiedzę w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja, w szczególności w zakresie metod przetwarzania sygnałów, metod klasyfikacji oraz biometrii. Doktorant potrafi poprawnie zaplanować i przeprowadzić eksperyment komputerowy w celu oceny jakości zaproponowanych metod. Przegląd literaturowy dotyczący zagadnień przedstawionych w rozprawie pozwala stwierdzić, że doktorant posiada aktualną wiedzę z zakresu tematyki rozprawy, a także potrafi dokonać krytycznego przeglądu źródeł w celu wskazania ciekawych kierunków badań. Zawarty w dysertacji spis źródeł literaturowych, zawierający 80 pozycji, jest aktualny i reprezentatywny.

5. Podsumowanie

Doktorant wykazał się w recenzowanej rozprawie właściwie stosowanym podejściem eksperymentalnym oraz dobrą znajomością aktualnej problematyki związanej z projektowaniem systemów biometrycznych, przetwarzaniem sygnałów, uczeniem maszyn oraz inżynierią danych. Zostało to poparte dobrymi studiami literaturowymi, obejmującymi aktualne piśmiennictwo związane z problematyką rozprawy, co świadczy o bardzo dobrej wiedzy doktoranta z tego zakresu. Dla poruszanych problemów doktorant sformułował użyteczne potoki przetwarzania sygnałów z wykorzystywanego zestawu czujników, w tym autorskie metody augmentacji danych oraz generowania danych syntetycznych. Doktorant przeanalizował wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych, ocenił jakość zaproponowanych metod na tle algorytmów znanych z. Na podkreślenie zasługuje umiejętność krytycznego spojrzenia na otrzymane rezultaty oraz wskazanie słabości zaproponowanych przez siebie rozwiązań, bądź ich ograniczoną stosowalność w innych obszarach.

Recenzowana dysertacja przedstawia rozwiązanie oryginalnego problemu, wzbogacając naszą wiedzę dotyczącą systemów biometrycznych opartych o sygnał chodu. Zawarte w niej

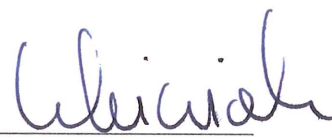
wyniki badań eksperymentalnych wskazują również na możliwość wykorzystania otrzymanych metod w praktyce.

Przedstawione w punkcie 3 recenzji uwagi mają jedynie charakter dyskusyjno-porządkowy, w żaden sposób nie deprecjonując osiągniętych przez doktoranta rezultatów oraz nie wpływają na wyjątkowo pozytywne wrażenie o przedłożonej rozprawie. Mogą być one przydatne w przypadku dalszego publikowania rezultatów zawartych w rozprawie. Jestem przekonany, że doktorant zdaje sobie sprawę z możliwości kontynuowania rozpoczętej w pracy tematyki, choć szkoda, że nie wskazał w pracy potencjalnych kierunków dalszych badań.

Reasumując, biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami) stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Aleksandra Sawickiego pt. *Rozpoznawanie człowieka na podstawie chodu przy wykorzystaniu sensorów IMU oraz metod tworzenia sztucznych próbek w systemach biometrycznych* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, w szczególności:

- Rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.
- Kandydat posiada ugruntowaną wiedzę w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja.
- Doktorant posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie mgr inż. Aleksandra Sawickiego do publicznej obrony oraz biorąc pod uwagę oryginalność zaproponowanych rozwiązań, dorobek publikacyjny i dojrzałość naukową Kandydata wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



Podpis

