



Prof. dr hab. inż. Khalid Saeed  
Katedra Cyfrowych Mediów  
i Grafiki Komputerowej  
Wydział Informatyki, Politechnika Białostocka  
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok  
Tel. (+48-85) 746 9196  
[k.saeed@pb.edu.pl](mailto:k.saeed@pb.edu.pl)

Białystok, 09.02.2024 r.

---

## RECENZJA rozprawy doktorskiej

**mgr. inż. Tomasza Wesołowskiego**

z Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego  
w Katowicach

*zatytułowanej "Biometryczna weryfikacja użytkownika systemu  
komputerowego z automatyczną aktualizacją profilu aktywności"*

*Promotor:*

Prof. dr hab. Piotr Porwik

*Promotor pomocniczy:*

Dr hab. inż. Rafał Doroz, prof. UŚ

Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych,  
Instytut Informatyki, Uniwersytet Śląski w Katowicach

*Niniejszą recenzję przygotowałem na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Informatyki  
Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 13.12.2023 r. Recenzję dokonałem na  
podstawie dostarczonej mi rozprawy doktorskiej.*

---

## I. Omówienie zawartości rozprawy

Głównym celem pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Wesołowskiego było opracowanie autorskich algorytmów tworzenia biometrycznego profilu użytkownika oraz nowatorskiej metody ciągłej weryfikacji użytkowników opartej na klasyfikatorach, pozwalającej na automatyczną aktualizację profilu behawioralnego. Podjęta tematyka jest jednym z wyzwań stojących przed badaczami zajmującymi się rozpoznawaniem użytkownika systemu komputerowego za pomocą biometrii behawioralnej. Teza pracy, jako problemy badawcze, została jasno sformułowana przez autora rozprawy, która brzmi: *"Możliwa jest poprawa skuteczności weryfikacji użytkowników systemu komputerowego poprzez wprowadzenie weryfikacji ciągłej wykorzystującej biometryczny profil"*

*aktywności bazujący na obserwacji dynamiki użytkowania klawiatury oraz strategii automatycznej aktualizacji profilu aktywowanej programami decyzyjnymi”.*

Autor zrealizował cele pracy i udowodnił jej tezę poprzez wykonanie następujących opracowań użytkownika:

- Akwizycja odpowiednich danych biometrycznych w celu zachowania ciągłej rejestracji behawioralnej aktywności użytkowników systemów komputerowych z ciągłym zapisywaniem zdarzeń klawiatury. W tym celu autor opracował aplikację rejestrującą aktywność.
- Wykorzystanie zbioru danych pozwalających na wiarygodne testowanie zaproponowanych rozwiązań.
- Wdrożenie algorytmu profilowania użytkowników, wykorzystującego zdarzenia związane z użytkowaniem klawiatury (jako cechy biometrycznej), aby otrzymać ciągłą rejestrację danych i określenie na ich podstawie profilu uprawnionego użytkownika.
- Opracowanie metody weryfikacji użytkownika na podstawie biometrycznego profilu aktywności przy zastosowaniu odpowiednich klasyfikatorów.
- Przeprowadzenie testów z wykorzystaniem rzeczywistych danych w celu potwierdzenia przydatności zaproponowanego rozwiązania do zastosowania w systemach wykrywania włamań IDS.

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny i zawiera 124 strony. Praca została podzielona na sześć rozdziałów, bibliografię oraz cztery dodatki.

Rozdział pierwszy, jako wstęp do rozprawy, poświęcony jest tematyce rozprawy i postawionej tezie. Ponadto, autor wyjaśnia motywację swojej pracy, jej cele i założenia. Ważną sekcją w tym rozdziale jest podanie szczegółowego opisu własnych publikacji dotyczących bezpośrednio tematyki pracy. Doktorant przedstawił tematy opublikowanych artykułów oraz miejsca ich wykorzystania w rozprawie (Tabela 1.1). Pozwala to czytelnikowi dokładne śledzenie roli autora w stanie wiedzy (State of the art) oraz porównanie z wynikami innych badaczy naukowych w dziedzinie biometrycznego profilu użytkownika.

W rozdziale drugim autor przedstawił wprowadzenie do rozprawy, w którym podaje kategorie metod biometrycznych, definicję i procedurę uwierzytelniania oraz wyjaśnia miary biometryczne i klasyfikację binarną.

W tym rozdziale pojawiły się pewne nazwy, z którymi nie do końca się zgadzam:

- Autor dzieli cechy biometryczne na dwie kategorie - fizjologiczne i behawioralne, podczas gdy jest trzecia cecha - hybrydowa, która posiada zarówno elementy fizjologiczne, z którymi się rodzimy jak i behawioralne, które nabywamy po urodzeniu. Przykładem takich cech hybrydowych jest mowa.
- Autor prawidłowo używa pojęcia - multimodalny, jako drugą metodę biometryczną (podzielił metody na unimodalne i multimodalne - str. 9). Jednak w Tabeli 1.1 zastosował wyraz „multimodalne” jako alternatywę do hybrydowych metod weryfikacji.

- Doktorant stosuje wyrażenie „cechy fizyczne”, a nie „cechy fizjologiczne”. Moim zdaniem nie jest to błąd, lecz niewłaściwe użycie. Zarówno „fizyczny”, jak i „fizjologiczny” odnoszą się do ciała, ale fizyczny oznacza samo ciało, a fizjologiczny odnosi się do funkcji organizmu (*Kenneth W. Michael Wills: Differences Between Physical and Physiological, Sciencing*).

Rozdziały 3-5 stanowią merytoryczną zawartość rozprawy, które dotyczą bezpośrednio problematyki aktualnego rozwoju zagadnień biometrycznej weryfikacji użytkownika systemu komputerowego oraz szczegółów własnego wkładu doktoranta.

W rozdziale trzecim rozprawy omówiono opis prac dotyczących analizy aktywności użytkowników w systemach komputerowych. Doktorant przedstawił opis autorskich prac dotyczących metod rozpoznawania użytkownika uprawnionego od użytkownika-intruza. Prace poświęcone strategii doktoranta zostały przedstawione w jego publikacjach (Bibliografia: [73] i [178]).

W rozdziale czwartym autor przedstawił szczegółowy opis analizy dynamiki pisania na klawiaturze oraz wdraża własne algorytmy w tym aspekcie. Doktorant w swoich eksperymentach przeanalizował różne podejścia innych autorów przy stosowaniu udostępnionych zbiorów danych. Opracował również autorską bazę danych *realKDD*. Zaproponował własny model systemu wykrywania intruzów oraz autorską metodę profilowania użytkownika na podstawie dynamiki stukania na klawiaturze. Wyniki tych opracowań okazały się ciekawe.

Rozdział piąty doktorant poświęcił na weryfikację użytkownika na podstawie biometrycznego profilu aktywności w celu wykrywania intruzów systemów komputerowych. Autor zaprezentował w tym rozdziale strategię wspierania weryfikacji alertami z automatyczną aktualizacją profilu biometrycznego. Jest to ważny element procesu weryfikacji użytkownika w takich systemach. W tym rozdziale można znaleźć algorytmy opracowane przez doktoranta do implementacji metod autora oraz wykonane eksperymenty i uzyskane wyniki badań metod profilowania i weryfikacji użytkownika dla danych rzeczywistych.

Część merytoryczną zamykają wnioski końcowe w rozdziale szóstym - *Podsumowanie* oraz cztery dodatki. Całość pracy zamyka literatura - *Bibliografia*, która zawiera 197 pozycji, w tym 13 z nich są współautorstwa doktoranta.

Układ pracy jest poprawny, pomaga łatwo śledzić treści manuskryptu oraz zrozumieć cel i założenia rozprawy doktorskiej.

## **II. Opinia i ogólna ocena pracy**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Wesołowskiego pt. "*Biometryczna weryfikacja użytkownika systemu komputerowego z automatyczną aktualizacją profilu aktywności*" stanowi oryginalne rozwiązanie problemu oraz wkład własny doktoranta w rozwój metod tworzenia profilu biometrycznego oraz weryfikacji użytkownika systemów komputerowych.

Doktorant wykazał się dużą starannością przygotowując rozprawę doktorską. Wykonał założone cele pracy, zaprezentował i rozwiązał problem poprawy skuteczności weryfikacji użytkownika systemu komputerowego – modele matematyczne, implementacja algorytmów, rysunki i tabele zostały odpowiednio opracowane. Przykładowe podejścia innych autorów podobnej tematyki zostały wybrane umiejętnie. Bardzo ciekawe są podejścia autora dotyczące metod rozpoznawania uprawnionego użytkownika od intruza, który udaje legalnego użytkownika, aby uzyskać dostęp do chronionych zasobów. W rozprawie przedstawiono metodę wykrywania włamań opartą na podejściu rozmytym. Zaproponowane rozwiązanie charakteryzuje się bardzo małą złożonością obliczeniową, co zostało potwierdzone wynikami eksperymentalnymi. Zaprezentowano dwa rodzaje profili aktywności użytkowników wraz z odpowiadającymi im strukturami danych. Rozwiązanie w stosunkowo krótkim czasie analizuje aktywność użytkownika komputera, budując jego tak zwany profil lokalny na podstawie ostatniej jego aktywności. Dalsza analiza polega na utworzeniu bardziej ogólnej struktury opartej na określonej liczbie profili lokalnych jednego użytkownika, zwanej profilem rozmytym. Reprezentuje to uogólnione zachowanie użytkownika systemu komputerowego. Profile rozmyte służą bezpośrednio do wykrywania nieprawidłowości w zachowaniu użytkowników, a tym samym ewentualnych włamań. Proponowane rozwiązanie autora jest przygotowane tak, aby móc tworzyć profile użytkowników w oparciu o dowolne przeliczalne cechy wynikające z działań użytkownika w systemie komputerowym. Doktorant zaprezentował metodę z wykorzystaniem jednego z powszechnie dostępnych standardowych zbiorów danych o włamaniach. Wyniki eksperymentów autora wykazały, że przedstawiona w rozprawie metoda jest porównywalna pod względem uzyskiwanych wyników do najlepszych metod wykrywania włamań, testowanych na tym samym zbiorze danych.

Reasumując, należy uznać, że autor wykazał w swojej rozprawie doktorskiej dobrą znajomość technik biometrycznej weryfikacji użytkownika systemu komputerowego. Z sukcesem zrealizował wszystkie założone cele pracy. Rozprawa napisana poprawnie, zaś istotne dla tematyki pracy zagadnienia zostały omówione przez autora wyczerpująco. Praktycznie niemożliwe do uniknięcia były drobne usterki językowe lub edycyjne. Nie zauważyłem poważnych braków merytorycznych, jednak są pewne sprawy dyskusyjne. Tematyka rozprawy jest aktualna i stanowi prawdziwe wyzwanie nie tylko w komputerach i systemach komputerowych lecz także w urządzeniach mobilnych. Telefony komórkowe i tablety również wymagają bezpiecznego uwierzytelniania i dostępu. Tam stosuje się ekrany dotykowe lub klawiaturę, gdzie cechy biometrii behawioralnej są też widoczne. Nie znalazłem jednak powodu, dla którego doktorant nie analizował możliwości zastosowania swoich algorytmów przy takich urządzeniach.

Nie zlokalizowałem również prób zastosowania dodatkowych cech biometrycznych w ramach multimodalnych systemów biometrycznych, na

przykład uwierzytelnianie na podstawie pisania na klawiaturze, a równocześnie rozpoznawania twarzy. Autor wspomniał o urządzeniach mobilnych, jak i o użyciu systemów multimodalnych w uwierzytelnianiu wieloczynnikowym jako plany przyszłościowe. Jednak mógłby podjąć chociaż początkowe kroki na ten temat w ramach tej pracy.

Wymienione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości rozprawy, jednakże chciałbym, aby autor ustosunkował się do nich podczas obrony pracy doktorskiej.

Według mojej oceny uważam, że mgr inż. Tomasz Wesołowski osiągnął wyznaczony cel rozprawy doktorskiej, która wnosi nowe aspekty do nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie informatyka.

### **III. Merytoryczne osiągnięcia doktoranta oraz jego publikacje**

Pan mgr inż. Tomasz Wesołowski jest współautorem 13 artykułów w czasopiśmie naukowych, referatów w konferencjach międzynarodowych oraz rozdziałów w książkach. W dziewięciu pracach doktorant jest pierwszym autorem. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że doktorant ma aktywną działalność naukowo-projektową. Badania dotyczące profilowania i weryfikacji użytkowników wykorzystujące wnioskowanie rozmyte zostały częściowo wsparte przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu nr DEC-2013/09/B/ST6/02264.

Dodatkowo warto podkreślić, iż doktorant był stypendystą projektu „*DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska*” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

### **IV. Wnioski końcowe**

Wystawiam ocenę pozytywną rozprawie doktorskiej mgr. inż. Tomasza Wesołowskiego pt. "*Biometryczna weryfikacja użytkownika systemu komputerowego z automatyczną aktualizacją profilu aktywności*" oraz stwierdzam, że praca spełnia wymagania i warunki nakładane przez ustawę o stopniach naukowych. Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz osobisty wkład doktoranta w rozwój metod weryfikacji użytkownika systemu komputerowego. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie autora wymienionej rozprawy doktorskiej do jej obrony w celu uzyskania stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie informatyka. Ponadto z uwagi na fakt, że publikacyjny dorobek autora jest bardzo dobry - wyniki pracy doktoranta zostały opublikowane w renomowanych międzynarodowych czasopiśmie z *impact factor* (w jednej pracy IF=8,7), a jego działanie naukowo-projektowe jest znaczące - wnoszę o wyróżnienie rozprawy.



Khalid Saeed