

Autoreferat

1 Imię i Nazwisko

Rafał Doroz

Instytut Informatyki
Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach
Uniwersytet Śląski
ul. Będzińska 39
41-200 Sosnowiec

Profile naukowe:

- ResearcherID: H-2449-2014
- ORCID: 0000-0001- 6103-1175
- SCOPUS AuthorID: 35117512100
- DBLP: <http://dblp.uni-trier.de/pers/hd/d/Doroz:Rafal>
- Google scholar: Rafał Doroz
- ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Rafal_Doroz

2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Stopień doktora nauk technicznych - Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach; dyscyplina - informatyka,

- data nadania: 21.06.2011 r.,
- tytuł rozprawy doktorskiej: "Rozpoznawanie podpisów odręcznych z adaptacyjnym wyborem cech behawioralnych",
- promotor: dr hab. Piotr Porwik.

Tytuł zawodowy magistra inżyniera - Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu, kierunek – Transport; specjalność – inżynieria ruchu,

- data nadania: 27.06.1999 r.,
- tytuł pracy magisterskiej: "System OPTYMAL - sterowanie sygnalizacją świetlną",
- promotor: prof. dr hab. inż. Jan Piecha.

3 Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

03.10.1999 – 24.08.2011 – asystent w Zakładzie Systemów Komputerowych Instytutu Informatyki Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego.

25.08.2011 – obecnie – adiunkt w Zakładzie Systemów Komputerowych Instytutu Informatyki Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego.

Spis treści

4	Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)	3
4.1	Tytuł osiągnięcia naukowego	3
4.2	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	3
4.3	Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	5
4.3.1	Wprowadzenie	5
4.3.2	Charakterystyka badań i uzyskanych wyników	7
4.3.3	Podsumowanie	21
5	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	24
5.1	Badania naukowe przed doktoratem	24
5.2	Badania naukowe po doktoracie	27
5.3	Wskaźniki bibliometryczne	29
5.4	Działalność organizacyjna	30
5.5	Działalność popularyzująca naukę	31
5.6	Dorobek dydaktyczny i organizacyjny	31
5.7	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	31
5.8	Utworzenie biometrycznych baz danych	32
5.9	Recenzje w czasopismach	32
5.10	Recenzje na konferencjach	32
5.11	Organizacja sesji specjalnych na konferencjach:	33
5.12	Staże zagraniczne	33
5.13	Ukończone kursy i szkolenia	33
5.14	Lista wszystkich publikacji autora	34

4 Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Biometryczne metody rozpoznawania osób uwzględniające brak powtarzalności próbek biometrycznych.

4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Jestem autorem 78 recenzowanych publikacji naukowych (w tym 40 po uzyskaniu stopnia doktora). Stopień magistra uzyskałem w 1999 roku, a tytuł doktora w 2011 roku. Obecnie jestem adiunktem na Wydziale Informatyki i Nauki o Materiałach na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach. Głównym nurtem moich prac badawczych są metody biometrycznej identyfikacji i weryfikacji uwzględniające brak powtarzalności próbek biometrycznych. W skład przedłożonego osiągnięcia wchodzi 10 monotematycznych publikacji naukowych dotyczących biometrii, w tym:

- 6 publikacji z czasopism posiadających Impact Factor,
- 4 publikacje konferencyjne, wykazywane w bazie Web of Science.

Poniżej przedstawiono zestawienie publikacji, gdzie dla każdej z nich podano Impact Factor (**IF**) odpowiedni do roku publikacji, punktację czasopisma według Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (**MNiSW**) odpowiednią do roku publikacji, liczbę cytowań według Web of Science (**WoS**) oraz Google Scholar (**GS**), indeksowanie w bazie **DBLP**.

Publikacje wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego

[H1] Doroz R., Porwik P., Orczyk T. Dynamic signature verification method based on association of features with similarity measures. *Neurocomputing*, vol. 171, str. 921–931, 2016.

IF=3, 317⁽²⁰¹⁶⁾, MNiSW=30, WoS=12, GS=22, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 50%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) opracowanie i implementację metody "parametr - metoda jego porównania", c) analizę i interpretację wyników, d) przygotowanie publikacji do druku.

[H2] Porwik P., Doroz R., Orczyk T. Signatures verification based on PNN classifier optimised by PSO algorithm. *Pattern Recognition*, vol. 60, str. 998–1014, 2016.

IF=4, 582⁽²⁰¹⁶⁾, MNiSW=40, WoS=14, GS=20, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 45%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności a) opracowanie koncepcji wykorzystania probabilistycznych

sieci neuronowych (PNN) w procesie klasyfikacji podpisów odręcznych, b) analizę i interpretację wyników, c) przygotowanie publikacji do druku.

- [H3] Doroz R., Porwik P., Wrobel K. Signature recognition based on voting schemes. In *2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2012), Tokio, Japonia*, str. 53–57. IEEE, 2013.

IF=0, MNiSW=15 (Web of Science), WoS=7, GS=7

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) koncepcję wykorzystania metod głosowania w klasyfikacji, c) opracowanie metody sortowania macierzy V oraz VC, d) przeprowadzenie badań, e) analizę i interpretację wyników, f) przygotowanie publikacji do druku.

- [H4] Doroz R., Wrobel K. Dynamic signature recognition based on modified windows technique. In *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM 2012), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7564, str. 158–167. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

IF=0, MNiSW=15 (Web of Science), WoS=0, GS=2, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 80%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) opracowanie metody tworzenia i analizy tablicy TabDist, c) przeprowadzenie badań, d) analizę i interpretację wyników, e) przygotowanie publikacji do druku.

- [H5] Doroz R., Kudlacik P., Porwik P. Online signature verification modeled by stability oriented reference signatures. *Information Sciences*, vol. 460-461, str. 151 – 171, 2018.

IF=4.832⁽²⁰¹⁸⁾, MNiSW=45, WoS=0, GS=0, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 50%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności a) opracowanie koncepcji podziału podpisów wzorcowych na fragmenty a następnie wyznaczenie powtarzalności każdego z tych fragmentów, b) przeprowadzenie badań, c) analizę i interpretację wyników, d) przygotowanie publikacji do druku.

- [H6] Wrobel K., Doroz R., Porwik P., Naruniec J., Kowalski M. Using a probabilistic neural network for lip-based biometric verification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 64, str. 112–127, 2017.

IF=2,894⁽²⁰¹⁷⁾, MNiSW=35, WoS=0, GS=2, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 30%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) wykorzystanie metody "parametr - metoda jego porównania" do analizy obrazów ust, b) wykorzystania w procesie klasyfikacji próbek biometrycznych probabilistycznych sieci neuronowych (PNN), c) przeprowadzenie badań, d) analizę i interpretację wyników, e) przygotowanie publikacji do druku.

- [H7] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. An ensemble learning approach to lip-based biometric verification, with a dynamic selection of classifiers. *Expert Systems with Applications*, vol. 115, str. 673 – 683, 2019.

IF=3.768⁽²⁰¹⁷⁾, MNiSW=35, WoS=0, GS=0, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 45%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) opracowanie i implementacja metody klasyfikacji za pomocą zespołu klasyfikatorów, c) przeprowadzenie badań, d) analizę i interpretację wyników, e) przygotowanie publikacji do druku.

- [H8] Wesołowski T.E., Doroz R., Wrobel K., Safaverdi H. Keystroke dynamics and finger knuckle imaging fusion for continuous user verification. In *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM 2017), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10244, str. 141–152. Springer, Cham, 2017.

IF=0, MNiSW=15 (Web of Science), WoS=2, GS=2, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 45%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) opracowanie metody wyznaczania podobieństwa pomiędzy obrazami kostek palca, c) opracowanie reguły decyzyjnej uwzględniającej wynik analizy dynamiki pisania na klawiaturze oraz obrazu kostek palca, e) przeprowadzenie badań, f) analizę i interpretację wyników, g) przygotowanie publikacji do druku.

- [H9] Doroz R. The method of automatic knuckle image acquisition for continuous verification systems. *Symmetry*, vol. 10(11), 2018.

IF=1.256⁽²⁰¹⁸⁾, MNiSW=30, WoS=0, GS=0, DBLP.

- [H10] Doroz R., Wrobel K., Porwik P., Safaverdi H. The method of person verification by use of finger knuckle images. In *International Conference on Computer Recognition Systems (CORES 2017), Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 578, str. 248–257. Springer, Cham, 2017.

IF=0, MNiSW=15 (Web of Science), WoS=1, GS=1, DBLP

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%, obejmował on wszystkie etapy pracy, w szczególności: a) opracowanie jej koncepcji oraz sformułowanie celów badań, b) opracowanie metody wstępnego dopasowania obrazów kostek palców za pomocą metod Shape Context oraz Thin Plate Spline, c) przeprowadzenie badań, d) analizę i interpretację wyników, e) przygotowanie publikacji do druku.

4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1 Wprowadzenie

Obecnie, w wielu dziedzinach życia codziennego, człowiek często napotyka konieczność potwierdzenia swojej tożsamości. Powoduje ona potrzebę opracowania takich metod uwierzytelniających, które w jak najbardziej naturalny, bezpieczny, a jednocześnie skuteczny sposób pozwolą na identyfikację lub weryfikację osób. Dotychczas stosowane metody bazują głównie na wykorzystaniu haseł, numerów PIN lub kart identyfikacyjnych. Niestety, tego typu rozwiązania nie gwarantują zachowania odpowiednich standardów bezpieczeństwa, a problemy związane z tego typu rozwiązaniami wynikają głównie z niedoskonałości ludzkiej natury - hasła lub karty możemy zgubić, zapomnieć lub mogą zostać nam skradzione.

Biometria jako metoda rozpoznawania osób jest znana od bardzo dawna [L1]. Pod pojęciem biometrii definiujemy szeroko rozumiane pomiary indywidualnych cech ludzkiego ciała, mające na celu potwierdzenie tożsamości osób. Cechy biometryczne, ze względu na sposób ich pomiaru, dzielą się na dwie podstawowe grupy [L2, L3, L4, L5]:

- cechy fizyczne, które opisują budowę naszego ciała,
- cechy behawioralne, które opisują zachowanie danej osoby.

Przykładowymi cechami fizycznymi są: układ linii papilarnych palca, przebieg naczyń krwionośnych dłoni lub palca, obraz tęczówki lub siatkówki oka, kształt dłoni. Do cech behawioralnych zaliczamy przykładowo: parametry podpisu odręcznego, dynamikę pisanie na klawiaturze.

Jak wspomniano, dane biometryczne mają długą historię, lecz dopiero obecny intensywny rozwój technologiczny spowodował, że są one wykorzystywane coraz chętniej i w coraz szerszym zakresie. Także upowszechnienie się urządzeń takich jak np.: tablety, czytniki linii papilarnych lub skanery siatkówki oka wzmogło tendencję do zastępowania haseł za pomocą cech biometrycznych. Niestety, pomimo swoich oczywistych zalet, biometria wciąż napotyka na swojej drodze bariery rozwojowe. Jedną z nich są niedostosowane do obecnych realiów regulacje prawne. Ograniczają one, a czasem wręcz uniemożliwiają, możliwość wykorzystania biometrii w codziennym życiu. Na szczęście zarówno Polska jak i Unia Europejska prowadzą intensywne prace w zakresie umożliwienia przetwarzania danych biometrycznych jako danych osobowych, co z pewnością przyczyni się do dalszego upowszechniania się biometrii.

Kolejna, tym razem znacznie poważniejsza bariera w rozwoju biometrii jest związana z brakiem powtarzalności próbek biometrycznych. Termin próbka biometryczna (ang. *biometric sample*) oznacza wynik pomiaru lub obserwacji wybranej cechy biometrycznej. Przykładowymi próbkami biometrycznymi są: obraz odcisku palca, obraz siatkówki oka, parametry podpisu odręcznego, próbka głosu. Powtarzalność próbek biometrycznych określa w jakim stopniu kolejne próbki należące do tej samej osoby różnią się między sobą. Wspomniana powtarzalność jest czynnikiem bardzo istotnym, ponieważ w systemach biometrycznych proces decyzyjny oparty jest o wynik porównania ze sobą próbki testowej oraz próbki wzorcowej. Aby skuteczność weryfikacji była jak najwyższa próbki pochodzące od tej samej osoby powinny być jak najbardziej podobne do siebie. Powyższe założenie jest bardzo pożądane, niestety w rzeczywistości kolejne próbki biometryczne pochodzące od tej samej osoby różnią się od siebie, utrudniając tym samym ich poprawne rozpoznanie.

Ocena powtarzalności próbek biometrycznych może zostać przeprowadzona w odniesieniu do dowolnego parametru opisującego tę próbkę. Zarówno liczba jak i typ parametrów opisujących daną próbkę biometryczną zależy od tego, jaką cechę biometryczną reprezentuje ta próbka. Przykładowo, parametrami opisującymi podpis odręczny mogą być: prędkość, nacisk lub pochylenie pióra w poszczególnych punktach tego podpisu. W przypadku rozpoznawania kształtu dłoni parametrami mogą być: długości i grubości palców, szerokość i grubość śródręcza, proporcji śródręcza lub palców [L1].

Brak powtarzalności próbek biometrycznych jest problemem znanym i opisanym w literaturze, a jego niekorzystny wpływ na skuteczność rozpoznawania został wielokrotnie potwierdzony [L6]. W swoich pracach autor skoncentrował się na opracowaniu metod biometrycznych, w których etap rozpoznania próbki testowej jest poprzedzony analizą powtarzalności próbek wzorcowych. Informacje będące wynikiem takiej analizy są następnie, w różny sposób, wykorzystywane w procesie weryfikacji lub identyfikacji próbki testowej. Proponowane przez autora rozwiązania polegają na wyznaczeniu zbioru powtarzalnych parametrów próbek biometrycznych, przy czym selekcja takich parametrów jest przeprowadzana niezależnie dla każdej osoby. To, które parametry próbek są powtarzalne zależy od indywidualnych przyzwyczajęń i nawyków osób, od których te próbki pochodzą.

Przedstawiony w habilitacji cykl prac obejmuje zarówno metody analizy cech behawioralnych (podpis odręczny, dynamika pisania na klawiaturze) jak również cech fizjologicznych (kształt ust). Niektóre z cech biometrycznych, będących w kręgu zainteresowania autora, są obecnie jeszcze mało popularne. Koncentrując się na tych cechach, intencją autora było także przyczynienie się do ich popularyzacji. Metodyka pracy naukowej miała charakter eksperymentalno - analityczny. W swoich badaniach do uwiarygodnienia poprawności wyników autor wykorzystał narzędzia statystyczne. Jak pokazały testy eksperymentalne, zaproponowane nowe metody pozwoliły na uzyskanie bardzo wysokiej skuteczności weryfikacji oraz identyfikacji osób.

4.3.2 Charakterystyka badań i uzyskanych wyników

Rozpoznawanie podpisów odręcznych

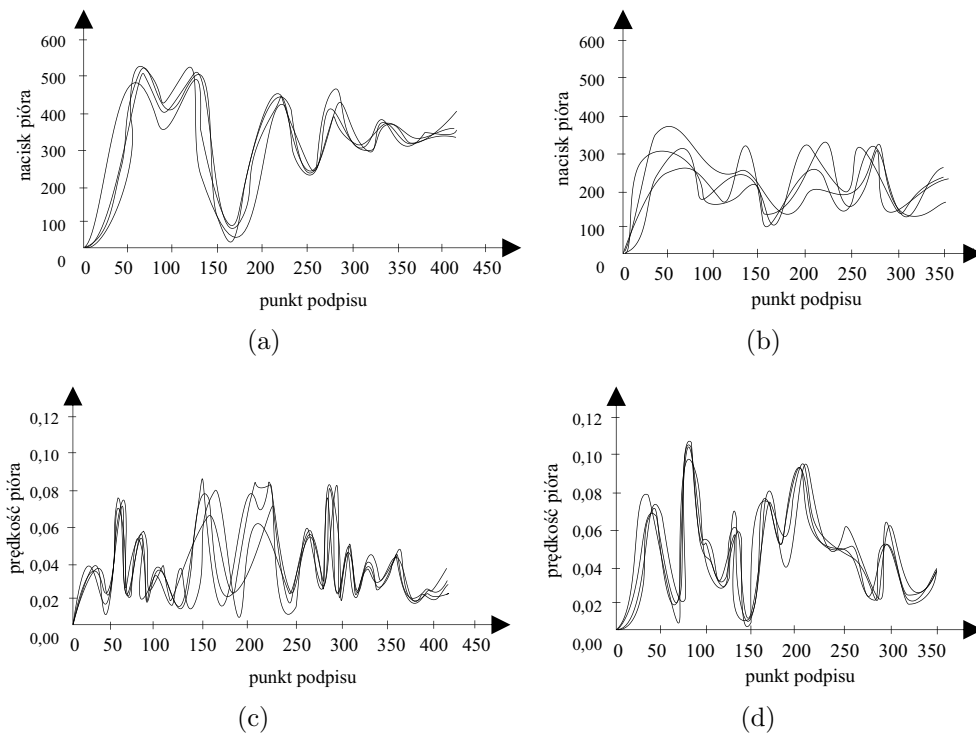
W początkowym okresie swojej pracy naukowej autor skupił się na problemie braku powtarzalności próbek biometrycznych w kontekście rozpoznawania podpisów odręcznych. Podpis odręczny jest obecnie powszechnie stosowaną metodą potwierdzania tożsamości osób oraz autoryzacji dokumentów [L7, L8, L9]. Na popularność podpisów odręcznych wpływa wygoda ich użytkowania, jak również wysoka akceptowalność społeczna, którą cieszy się ten sposób autoryzacji.

Podpisy odręczne należą do cech biometrycznych, w których problem braku powtarzalności próbek biometrycznych jest wyraźnie dostrzegalny [L10, L11]. Składanie podpisu jest procesem polegającym na wyćwiczeniu pewnych ruchów realizowanych przez układ nerwowo-mięśniowy. W praktyce proces ten może być zaburzony przez wiele czynników, jak np.: pośpiech, stres czy choroba osoby podpisującej się. W konsekwencji każdy kolejny podpis danej osoby różni się od jej poprzednich podpisów. W przypadku pewnych osób różnice występujące pomiędzy kolejnymi podpisami mogą być bardzo duże, natomiast u innych osób są ledwo dostrzegalne. Brak powtarzalności kształtu podpisów danej osoby można w łatwy sposób zobrazować nakładając na siebie te podpisy. Im bardziej kontury poszczególnych podpisów pokrywają się, tym większą powtarzalnością kształtu charakteryzują się te podpisy. Na Rysunku 1 pokazano przykład takiego porównania.



Rysunek 1: Sześć nałożonych na siebie podpisów pochodzących od tej samej osoby.

Wykorzystanie tabletu w procesie rejestracji podpisów pozwala analizować nie tylko powtarzalność kształtu podpisów, ale również powtarzalność ich parametrów dynamicznych (np.: prędkości lub nacisku pióra). Aby zobrazować powtarzalność parametru dynamicznego można nałożyć na jednym wykresie ich charakterystyki zarejestrowane w kilku podpisach. Na Rysunku 2 pokazano porównanie dwóch parametrów dynamicznych podpisu: nacisku pióra (P) oraz prędkości pióra (V). Porównania zostały wykonane dwukrotnie, za każdym razem dla paramentów podpisów pochodzących od innej osoby, oznaczonych jako Osoba1 oraz Osoba2.



Rysunek 2: Przebieg nacisku pióra (P) w podpisach a) Osoby1, b) Osoby2. Przebieg prędkości pióra (V) w podpisach c) Osoby1, d) Osoby2.

Analizując podobieństwo charakterystyk parametrów dynamicznych wyznaczonych dla podpisów Osoby1 oraz Osoby2 możemy zauważyć, że:

1. powtarzalność nacisku pióra jest wysoka w podpisach Osoby1 (Rys. 2a), natomiast w podpisach Osoby2 powtarzalność tego parametru jest zauważalnie mniejsza (Rys. 2b). Jeżeli natomiast porównamy powtarzalność prędkości pióra, to widać, że Osoba2 charakteryzuje się większą powtarzalnością tego parametru (Rys. 2d). Sugeruje to, że powtarzalność analizowanych parametrów podpisu jest różna u poszczególnych osób.
2. wysoka powtarzalność danego parametru nie zawsze musi występować w całym podpisie. Pewne fragmenty podpisów danej osoby są powtarzalne, nawet gdy pozostałe fragmenty takiej powtarzalności już nie posiadają. Przykład wspomnianej sytuacji możemy zaobserwować analizując wartości prędkości pióra w podpisach Osoby2 - wyraźny brak powtarzalności tego parametru pojawia się w środkowej części podpisów tej osoby (Rys. 2c).

Dwie powyższe obserwacje ukształtowały dwa podejścia, które można zaobserwować w pracach autora dotyczących metod rozpoznawania podpisów odręcznych.

Pierwsze podejście zakłada przeprowadzanie niezależnej oceny powtarzalności poszczególnych parametrów dla podpisów każdej osoby. Metody weryfikacji podpisów, uwzględniające wspomniane podejście autor opisał w pracach [H1, H2]. W metodach tych wyróżnić możemy dwa główne etapy. W pierwszym z nich tworzone są dwa zbiory podpisów: jeden zawierający wyłącznie oryginalne podpisy wzorcowe analizowanej osoby, a drugi zawierający fałszerstwa podpisów tej osoby. Następnie, za pomocą algorytmu opisanego w pracy [H1], wyznaczane jest podobieństwo pomiędzy podpisami pochodzącymi z obu zbiorów. Podobieństwa wyznaczane są zarówno pomiędzy podpisami oryginalnymi jak również pomiędzy podpisami oryginalnymi i fałszerstwami. Algorytm wyznacza podobieństwo każdej pary podpisów wielokrotnie - za każdym

razem z wykorzystaniem innego parametru podpisu oraz innej metody analizy tego parametru. Wybrana kombinacja jest oznaczana jako „*parametr ↔ metoda jego porównania*”. Rezultatem działania algorytmu są dwie macierze: pierwsza zawiera wartości podobieństw pomiędzy wszystkimi parami podpisów oryginalnych, natomiast druga zawiera wartości podobieństw pomiędzy wszystkimi możliwymi parami podpisów oryginalnych i fałszywych. W drugim etapie metody, dwie utworzone macierze są danymi wejściowymi do opracowanego algorytmu selekcji par „*parametr ↔ metoda jego porównania*”. W algorytmie tym selekcja par realizowana jest w trybie selekcji redukcyjnej (ang. *sequential backwards selection* - SBS) z wykorzystaniem dwuklasowej liniowej dyskryminacji za pomocą statystyki T^2 Hotellinga [L12, L13]. Minimalizuje ona zmienność wewnątrzgrupową, co w naszym przypadku powoduje pozostawienie powtarzalnych parametrów podpisów danej osoby, jednocześnie maksymalizuje zmienność międzygrupową dzięki czemu pozostawione pary „*parametr ↔ metoda jego porównania*” są najbardziej dystynktywne, tzn. pozwalają najskuteczniej odróżnić podpisy oryginalne od podpisów fałszywych. Proces selekcji par jest przeprowadzany niezależnie dla każdej osoby, więc wyselekcjonowane pary mogą być różne dla każdej osoby. Zakończenie selekcji par „*parametr ↔ metoda jego porównania*” jest warunkiem koniecznym rozpoczęcia klasyfikacji podpisu testowego. Ponieważ proponowana metoda jest dedykowana do trybu weryfikacji, wynikiem działania klasyfikatora jest przypisanie podpisu testowego do jednej z dwóch klas: podpis oryginalny lub podpis fałszywy. Innowacyjność procesu weryfikacji podpisu testowego polega na użyciu w niej tylko powtarzalnych parametrów podpisów wzorcowych, uprzednio wyznaczonych dla weryfikowanej osoby. Dodatkowo metoda wskazuje jakimi metodami należy analizować dany parametr podpisu. Zaproponowane przez autora podejście, polegające na doborze dla każdego parametru podpisu metody, za pomocą której ten parametr powinien być analizowany, jest zupełnie nowym podejściem w rozpoznawaniu podpisów. Inspiracją do opracowania tego podejścia były problemy wynikające z mnogości dostępnych w literaturze miar podobieństwa i tym samym z wyborem najbardziej odpowiedniej z nich. Skuteczność nowego podejścia, w którym miara jest w pewnym stopniu dobierana automatycznie ze zbioru dostępnych miar, okazała się bardzo wysoka, co potwierdziły przeprowadzone badania. Warto wspomnieć, że w dalszej części autoreferatu znajdują się opisy innych metod biometrycznych, w których wspomniane podejście zostało z powodzeniem zastosowane.

Rezultaty oceny skuteczności proponowanej metody zostały opublikowane w pracy [H1]. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem dwóch baz podpisów: SVC2004 oraz MCYT. Pary „*parametr ↔ metoda jego porównania*” tworzone były w oparciu o zbiór 10 parametrów dynamicznych podpisów oraz 18 metod ich porównywania. W module klasyfikacji wykorzystano klasyfikatory k -NN, Naive Bayes, Random Forest, Random Tree, J48-C4.5, PART, Multi-Layer Perceptron (MLP), Ripple Down Rule Learner (RIDOR), Bayesian Networks (Bayes Net). Skuteczność metody wyznaczano z wykorzystaniem 10-krotnej walidacji krzyżowej. Uzyskana najwyższa skuteczność weryfikacji została pokazana w Tabeli 1.

Tabela 1: Skuteczność metody opisanej w pracy [H1]

Baza podpisów	FAR [%]	FAR [%]	Accuracy [%]
SVC2004	3,50	0,00	98,25
MCYT	0,00	0,00	100,00

Przeprowadzone badania obejmowały szereg dodatkowych eksperymentów. W jednym z nich pominięto etap selekcji par „*parametr ↔ metoda jego porównania*”, w rezultacie czego weryfikacja podpisu odbywała się na podstawie wszystkich dostępnych parametrów dynamicznych podpisu. W tym przypadku uzyskana wartość Accuracy zmniejszyła się odpowiednio o około

5% w przypadku bazy SVC2004 oraz około 1% w przypadku bazy MCYT. Tak wyraźny spadek skuteczności weryfikacji potwierdził jak ważny jest indywidualny dobór dla każdej osoby zarówno parametrów podpisów jak i metod ich analizy. W badaniach porównano także średnie czasy weryfikacji jednego podpisu uzyskane w metodach z oraz bez etapu selekcji par „*parametr ↔ metoda jego porównania*”. Zauważono, że zarówno dla bazy SVC2004 jak i MCYT, weryfikacja przeprowadzona na zbiorze parametrów poddanym selekcji trwa krócej o minimum 50%.

Kolejnym elementem prac nad proponowaną metodą było wykorzystanie w procesie klasyfikacji trzech metod głosowania: Bordy, Copelanda oraz Coombsa [L14]. Efektem prac jest metoda identyfikacji osób opisana w [H3]. Także w tej metodzie do wyznaczenia podobieństwa pomiędzy identyfikowanym podpisem a wszystkimi podpisami w bazie danych wykorzystano podejście polegające na wyznaczaniu par „*parametr ↔ metoda jego porównania*”. Każda para podpisów porównywana jest ze sobą wielokrotnie, a rezultatem porównania identyfikowanego podpisu ze wszystkimi podpisami w bazie danych jest macierz $\mathbf{V}$. Ogólną zasadę tworzenia macierzy $\mathbf{V}$ pokazano na przykładzie porównania identyfikowanego podpisu S^x z podpisami osoby pierwszej (S_1^1, S_2^1) oraz drugiej (S_1^2, S_2^2), podpisy porównywano na podstawie dwóch cech (f_1, f_2) oraz dwóch metod (m_1, m_2).

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \text{Sim}(S^x, S_1^1)^{(f_1, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_2^1)^{(f_1, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_1^2)^{(f_1, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_2^2)^{(f_1, m_1)} \\ \text{Sim}(S^x, S_1^1)^{(f_1, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_2^1)^{(f_1, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_1^2)^{(f_1, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_2^2)^{(f_1, m_2)} \\ \text{Sim}(S^x, S_1^1)^{(f_2, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_2^1)^{(f_2, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_1^2)^{(f_2, m_1)} & \text{Sim}(S^x, S_2^2)^{(f_2, m_1)} \\ \text{Sim}(S^x, S_1^1)^{(f_2, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_2^1)^{(f_2, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_1^2)^{(f_2, m_2)} & \text{Sim}(S^x, S_2^2)^{(f_2, m_2)} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Równocześnie z macierzą $\mathbf{V}$ tworzona jest macierz $\mathbf{VC}$, o takim samym rozmiarze jak macierz $\mathbf{V}$. Zapisywane są w niej identyfikatory C_i oznaczające numery użytkowników, z podpisami których porównywany jest identyfikowany podpis. Poniżej pokazano przykładowe macierze $\mathbf{V}$ oraz $\mathbf{VC}$ utworzonej przez porównanie podpisu testowego z podpisami dwóch osób ($C1$) oraz ($C2$).

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 0.81 & 0.72 & 0.93 & 0.98 \\ 0.86 & 0.91 & 0.87 & 0.89 \\ 0.91 & 0.89 & 0.99 & 0.94 \\ 0.67 & 0.78 & 0.94 & 0.90 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{VC} = \begin{bmatrix} C1 & C1 & C2 & C2 \\ C1 & C1 & C2 & C2 \\ C1 & C1 & C2 & C2 \\ C1 & C1 & C2 & C2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

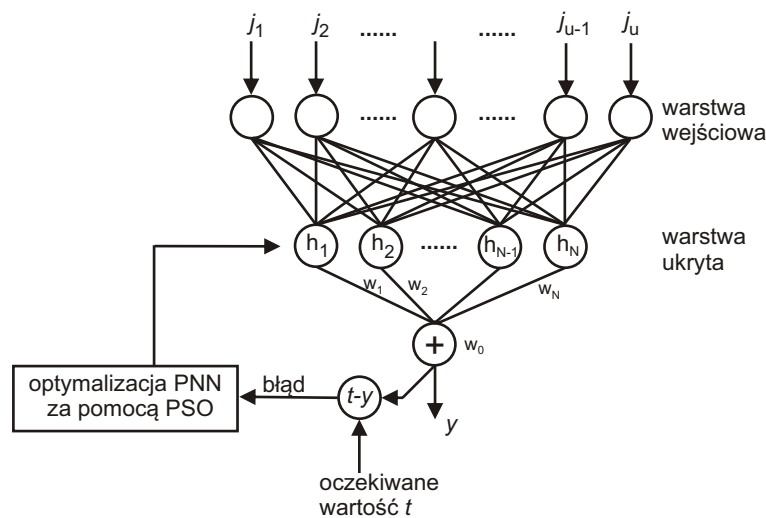
Następnie za pomocą opracowanego algorytmu odbywa się sortowanie wartości w każdym wierszu macierzy $\mathbf{V}$ od wartości największej do najmniejszej. Równocześnie, analogicznie o wynik sortowania wartości w macierzy $\mathbf{V}$, sortowane są etykiety w macierzy $\mathbf{VC}$. Przykład posortowanych wartości w macierzach $\mathbf{V}$ oraz $\mathbf{VC}$ pokazano poniżej.

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} 0.98 & 0.93 & 0.81 & 0.72 \\ 0.91 & 0.89 & 0.87 & 0.86 \\ 0.99 & 0.94 & 0.91 & 0.89 \\ 0.94 & 0.90 & 0.78 & 0.67 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{VC} = \begin{bmatrix} C2 & C2 & C1 & C1 \\ C1 & C2 & C2 & C1 \\ C2 & C2 & C1 & C1 \\ C2 & C1 & C1 & C2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Każdy wiersz posortowanej macierzy $\mathbf{VC}$ traktowany jest jako osobny ranking, wskazujący identyfikator osoby, której podpisy są najbardziej podobne do identyfikowanego podpisu. Etykiety na początku każdego wiersza wskazują najbardziej podobne osoby, natomiast na końcu najmniej podobne. W praktyce każdy wiersz może sugerować inny wynik identyfikacji. Przykład takiej sytuacji możemy zaobserwować na przykładzie (3). W celu podjęcia jednoznacznej

decyzji na podstawie wszystkich rankingów (wierszy macierzy) wykorzystano metody głosowania. Podczas testów sprawdzono przydatność trzech metod głosowania: Bordy, Copelanda oraz Coombsa. Do oceny skuteczności metody użyto podpisów z bazy MCYT. Minimalny uzyskany błąd identyfikacji wyniósł 2,65%. Podjęto także próby implementacji klasyfikatora opartego o metody głosowania do rozpoznawania podpisów w trybie weryfikacji, jednak nie otrzymano zadowalających rezultatów i ostatecznie podejście takie nie było dalej rozwijane.

Kolejnym z cyklu artykułów, bazującym na wykorzystaniu podejścia „*parametr ↔ metoda jego porównania*”, do rozpoznawania podpisów odręcznych jest praca [H2]. Nowością w tej pracy jest wykorzystanie probabilistycznych sieci neuronowych (ang. *Probabilistic Neural Network*, PNN) w procesie weryfikacji podpisu. Strojenie sieci neuronowej odbywa się niezależnie dla każdej osoby za pomocą algorytmu optymalizacji rojem cząstek (ang. *Particle Swarm Optimization*, PSO). Ogólną zasadę zaproponowanego połączenia PNN oraz PSO ilustruje Rysunek 3.



Rysunek 3: Schemat klasyfikatora PNN+PSO użytego w pracy [H2].

Zastosowane połączenie PNN oraz PSO, okazało się bardzo dobrym rozwiązaniem i przyczyniło się do zmniejszenia błędów weryfikacji. Skuteczność metody, wyznaczona z wykorzystaniem dwóch baz danych, została zaprezentowana w Tabeli 2.

Tabela 2: Skuteczność metody weryfikacji podpisów opisanej w pracy [H2]

Baza podpisów	FAR [%]	FAR [%]	Accuracy [%]
SVC2004	0,11	0,53	99,34
MCYT	0,00	0,00	100,00

Drugie z podejść, które autor zastosował do weryfikacji podpisów odręcznych uwzględnia, że brak powtarzalności danego parametru podpisu może mieć charakter lokalny, tzn. nie musi występować w całym podpisie. Autor w swoich pracach [H4, H5], [L15] zaproponował rozwiązanie, które polega na podziale podpisów na fragmenty a następnie na ocenie powtarzalności każdego z tych fragmentów. Należy wyraźnie podkreślić, że termin „*powtarzalność fragmentu podpisu*” jest pewnym uproszczeniem i oznacza w rzeczywistości powtarzalność wybranego parametru dynamicznego podpisu zarejestrowanego w tym fragmencie. Tak zdefiniowana powtarzalność określa w jakim stopniu dany fragment podpisu różni się od analogicznych fragmentów w pozostałych podpisach należących do tej samej osoby. Dzięki opracowaniu metody oceny

powtarzalności poszczególnych fragmentów podpisów, weryfikowany podpis jest porównywany tylko z powtarzalnymi fragmentami podpisów wzorcowych. Fragmenty podpisu wzorcowego charakteryzujące się wysoką powtarzalnością są uwzględniane w procesie weryfikacji podpisów testowych, natomiast fragmenty mniej powtarzalne są pomijane. Jedyną możliwością ingerencji w podpis wzorcowy polegała na eliminacji całego takiego podpisu z bazy danych w przypadku, gdy nie spełniał on określonych kryteriów powtarzalności.

Realizacja zaproponowanego podejścia rozpoczyna się od podziału podpisów wzorcowych na fragmenty. Zadanie to jest realizowane w oparciu o opracowaną przez autora metodę nazywaną *Windows Technique* (WT) [L16, L17]. Metoda ta została pierwotnie opracowana w celu umożliwienia wyznaczania podobieństwa pomiędzy podpisami, bez konieczności uprzedniego wyrównywania długości tych podpisów. Jest to bardzo istotna zaleta metody, ponieważ warunek równej długości porównywanych podpisów jest w praktyce bardzo rzadko spełniony. Determinuje to potrzebę stosowania procedur wyrównujących długości podpisów, co z kolei może niekorzystnie wpływać na skuteczność ich rozpoznawania. Kolejnym opracowanym algorytmem jest algorytm służący do określenia, które fragmenty podpisów wzorcowych danej osoby są powtarzalne. Działanie algorytmu polega na wyznaczeniu podobieństwa pomiędzy analogicznymi fragmentami pochodzącymi z różnych podpisów wzorcowych tej samej osoby. Algorytm umożliwia wyznaczenie podobieństwa fragmentów podpisów za pomocą dowolnego współczynnika/miary podobieństwa. Autor w swoich pracach użył i zbadał przydatność wielu z nich jak np.: miary cosine, dice, jaccard, soergel, taneja, euclidean, gower, matusita [L17] oraz metodę *Least-Squares Contour Alignment* (LSCA) [L18]. Rezultatem działania algorytmu jest wyznaczenie dla każdego podpisu wzorcowego tzw. tablicy *TabDist* [L19]. Tablica ta jest jednym z kluczowych elementów proponowanej metody, ponieważ dokonując jej analizy możemy ocenić, które fragmenty podpisu różnią się od analogicznych fragmentów pozostałych podpisów wzorcowych tej osoby. Początkowo, autor w pracy [L19] przeprowadził badania skuteczności metody z wykorzystaniem podpisów z bazy MCYT. Tablice *TabDist* dla każdej osoby tworzone z wykorzystaniem zbioru liczącego pięć podpisów wzorcowych tej osoby. Analizowane parametry podpisu to: współrzędne punktów podpisu oraz nacisk pióra. W toku badań wyznaczono optymalne parametry metody WT a do wyznaczania podobieństwa pomiędzy fragmentami podpisów użyto współczynnika determinacji R^2 . Do analizy tablicy *TabDist* wykorzystano analizę statystyczną opartą na obliczaniu wartości średniej oraz odchylenia standardowego. Aby w pełni ocenić przydatność proponowanej metody, jej skuteczność porównano z metodą, w której nie uwzględniono etapu oceny powtarzalności fragmentów podpisów. Wynik wspomnianego porównania wykazał, że eliminacja z procesu weryfikacji fragmentów podpisów, które nie są powtarzalne wpływa na zmniejszenie wartości błędu EER z 6,59% do 3,20%.

Dalsze prace nad rozwojem metody koncentrowały się nad wprowadzeniem do niej bardziej zaawansowanych technik analizy tablicy *TabDist*. Taki kierunek prac był następstwem pojawiających się problemów, w których podjęcie jednoznacznej decyzji odnośnie powtarzalności danego fragmentu nie zawsze było możliwe w oparciu o prosty aparat statystyczny użyty do analizy tablicy *TabDist*. Problemy z niejednoznacznością przynależnością niektórych fragmentów podpisów do grupy fragmentów powtarzalnych, skłoniły autora do wykorzystania podczas analizy tablicy *TabDist* zbiorów rozmytych. Teoretyczne podstawy wykorzystania zbiorów rozmytych do oceny powtarzalności danego fragmentu podpisu zostały przez autora opisane w [L15]. Zaproponowane rozwiązanie polegało na przekształceniu tablicy *TabDist* w wygładzoną postać funkcji, którą bezpośrednio traktuje się jako funkcję przynależności zbioru rozmytego. Wyznaczona funkcja przynależności jest podstawą do oceny poziomu powtarzalności fragmentów badanego podpisu. Praktyczna implementacja zaproponowanego podejścia została opisana w pracy [H5]. Szczegółowe badania mające potwierdzić skuteczność nowego podejścia zostały przeprowadzone

na dwóch bazach: SVC2004 oraz MCYT. Podczas weryfikacji sprawdzono skuteczność siedmiu różnych klasyfikatorów. Dodatkowo badania obejmowały weryfikację różnych typów fałszerstw podpisów: losowych oraz profesjonalnych. Maksymalna skuteczność metody, uzyskana dla różnych typów fałszerstw oraz różnych baz danych, została przedstawiona w Tabeli 3.

Tabela 3: Skuteczność metody weryfikacji podpisów opisanej w pracy [H5]

Baza podpisów	<i>FAR</i> [%]		<i>FRR</i> [%]	<i>AER</i> [%]	<i>ACC</i> [%]	
	(losowe)	(profesjonalne)			(losowe)	(profesjonalne)
SVC2004	0,08±0,01	0,10±0,02	0,50±0,04	0,23±0,03	99,81±0,48	99,75±0,68
MCYT	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00	100,00±0,00	100,00±0,00

Wyniki wszystkich badań zostały potwierdzone za pomocą testów statystycznych. Dzięki przeprowadzonym badaniom określono minimalną liczbę podpisów wzorcowych potrzebnych do utworzenia tablicy *TabDist*, która zarówno dla podpisów z bazy SVC2004 jak i MCYT wyniosła pięć podpisów. Reasumując, przeprowadzone eksperymenty wykazały, że użycie zbiorów rozmitych do oceny powtarzalności fragmentów podpisów pozwoliło na uzyskanie bardzo wysokiej skuteczności weryfikacji.

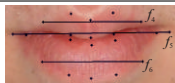
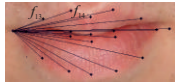
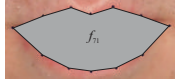
Metoda weryfikacji podpisów opisana w [H5] charakteryzuje się obecnie najwyższą skutecznością spośród wszystkich opisanych w literaturze metod.

Analiza kształtu ust

Podpisy odręczne to nie jedyny obszar biometrii, w którym autor uwzględnił problem braku powtarzalności próbek biometrycznych. Kolejnym takim obszarem są metody rozpoznawania osób na podstawie analizy kształtu ust [H6, H7]. Cecha ta może być analizowana jako odrębna cecha biometryczna, jak również być traktowana jako jeden z elementów systemów multi-biometrycznych.

Problem braku powtarzalności kształtu ust wynika głównie z ich elastyczności i stanowi istotną barierę w popularyzacji tej cechy biometrycznej. Akwizycja obrazu ust jest wykonywana poprzez wykonanie ich fotografii. Jest to bardzo wygodny sposób akwizycji, który może być przeprowadzony przy okazji wykonywania zdjęcia całej twarzy. W pracy [H6] zaproponowano metodę analizy kształtu ust, która definiuje 11 parametrów geometrycznych warg uwidoczniionych na fotografii. Proces wyznaczania parametrów geometrycznych obejmuje kilka głównych etapów. Celem pierwszego z nich jest lokalizacja ust na obrazie twarzy. Do realizacji tego zadania wykorzystano metodę łączącą Histograms of Oriented Gradient (HOG) [L20, L21] oraz algorytm Viola-Jones [L22, L23]. Rezultatem tego etapu jest wyznaczenie punktów charakterystycznych twarzy. Następnie spośród wszystkich punktów twarzy wybierane są punkty definiujące kształt ust. W oparciu o te punkty definiowane jest jedenaście różnych parametrów geometrycznych ust. Parametry te zostały zdefiniowane w taki sposób, aby jak najlepiej opisywały kształt i geometrię ust. Przykładowe cztery parametry geometryczne ust pokazano na Rysunku 4.

Jak wspomniano na wstępie rozdziału, problem braku powtarzalności kształtu ust wynika głównie z ich elastyczności. Wystarczy, aby rozpoznawana osoba nieznacznie się uśmiechnęła lub zacisnęła wargi, aby wartości wyznaczanych parametrów geometrycznych uległy zmianie. To, które parametry ulegną zmianie oraz jak duże będą te zmiany jest charakterystyczne dla każdej osoby. Do określenia, które parametry ust danej osoby są najmniej podatne na niekształcenia a tym samym mogą być traktowane jako najbardziej powtarzalne autor wykorzystał dwie wspomniane wcześniej metody: tworzenie par „*parametr ↔ metoda jego porównania*” oraz

Parametry ust	Wizualizacja parametru ust
Szerokości ust	
Odległości od lewego kącika ust	
Pole powierzchni warg	
Krzywizny dolnego konturu ust	

Rysunek 4: Przykładowe parametry geometryczne ust.

wykorzystanie sieci PNN strojonej indywidualnie dla każdej osoby z wykorzystaniem algorytmu PSO.

Ocena skuteczności zaproponowanej metody przeprowadzona została z wykorzystaniem trzech baz danych (Multi-PIE, PUT oraz własnej bazy) i wykazała skuteczność weryfikacji osób na poziomie odpowiednio Accuracy = 86,95%, 87,14% i 87,26%. Celowość etapu tworzenia par „*parametr* $\leftrightarrow$ *metoda jego porównania*” jednoznacznie wykazał eksperyment, w którym jego brak skutkowało pogorszeniem wartości Accuracy o około 20%. Badania wykazały także zasadność użycia probabilistycznych sieci neuronowych (PNN), których parametry były strojne za pomocą PSO. Spośród wszystkich testowanych w pracy klasyfikatorów (PNN+PSO, Bayes NET, Hoeffding Tree, k -NN, J48 - C4.5, Random Forests, Random Tree, Ripple-Down Rule learner) to właśnie klasyfikator PNN+PSO uzyskał największą skuteczność weryfikacji. Warto podkreślić, że przeprowadzone badania nie ograniczały się tylko do wyznaczenia skuteczności proponowanej metody. Obejmowały one także określenie, które spośród jedenastu zdefiniowanych parametrów geometrycznych ust są najbardziej przydatne w procesie weryfikacji. Zakres badań obejmował również ocenę wpływu rozdzielczości obrazu ust oraz stopień jego kompresji na skuteczność weryfikacji.

Późniejsze prace nad rozwojem metody koncentrowały się na zastosowaniu w niej popularnych i intensywnie rozwijanych w ostatnich latach zespołów klasyfikatorów (ang. *ensembles of classifiers*) [L24, L25, L26]. Podczas weryfikacji, każdy klasyfikator będący członkiem zespołu przeprowadza niezależną predykcję, rezultatem której jest przypisanie weryfikowanej próbki do jednej z dwóch klas – „użytkownik uprawniony” lub „użytkownik nieuprawniony”. Ostateczna decyzja o przypisaniu próbki do jednej z dwóch klas podejmowana jest za pomocą metody głosowania większościowego (ang. *majority voting*). Efektem prowadzonych przez autora badań była praca [H7]. Użycie komitetów klasyfikatorów wiąże się z problemami budowy takiego zespołu oraz wyboru klasyfikatorów wchodzących w jego skład. W celu rozwiązania wspomnianego problemu autor zaproponował dwa algorytmy, dzięki którym wybór klasyfikatorów do zespołu odbywa się na podstawie uprzednio wyznaczonych dla nich kompetencji. Pierwszy z algorytmów wyznacza źródłowe kompetencje poszczególnych klasyfikatorów, natomiast drugi przeprowadza weryfikację nieznaną próbkę w oparciu o klasyfikator komitetowy złożony z wyznaczonych uprzednio najbardziej kompetentnych klasyfikatorów.

Skuteczność opracowanej metody została potwierdzona za pomocą szeregu eksperymentów. Wykorzystano w nich bazę Multi-PIE. Lista klasyfikatorów, dla których obliczane były kompe-

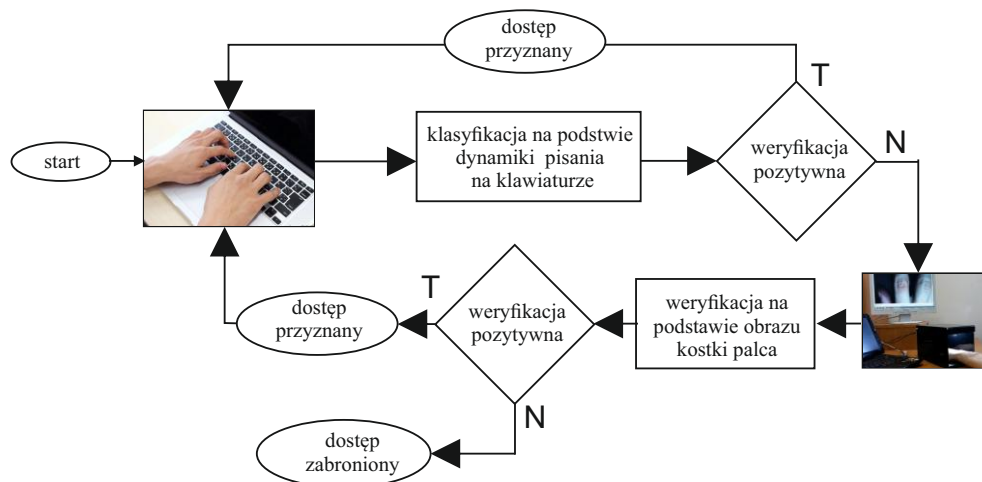
tencje, liczyła dziesięć popularnych klasyfikatorów. W toku badań ustalono, że przeprowadzenie skutecznego procesu uczenia klasyfikatora wymaga dostarczenia pięciu obrazów wzorcowych ust. Uzyskana maksymalna skuteczność metody wyniosła $Accuracy = 91,90\%$, $FAR=7,49\%$, $FRR=10,13\%$. Jest to wartość $Accuracy$ lepsza o około 3% w porównaniu z metodą, w której nie zastosowano klasyfikacji zespołowej. Opracowana metoda pozwala na uzyskanie najwyższej skuteczności spośród wszystkich obecnie znanych metod weryfikacji osób na podstawie analizy kształtu ust.

Metoda multi-biometryczna

Kolejne prace, uwzględniające powtarzalność próbek biometrycznych, obejmują metodę multi-biometryczną łączącą analizę dynamiki pisania na klawiaturze oraz analizę obrazów kostek palca [H8, H9]. Zaproponowane połączenie dwóch cech biometrycznych stanowi nowatorskie podejście i nie zostało nigdy wcześniej opisane w literaturze.

Opracowana metoda może być wykorzystana do wykrywania intruzów próbujących uzyskać nieautoryzowany dostęp do systemów komputerowych. Sytuacja tego typu ma miejsce np. gdy osoba odchodzi od komputera zapominając się wylogować, a tym samym umożliwiając intruzowi na dostęp do swojego komputera. Kontrola tego typu może mieć szerokie zastosowanie np.: w bankach lub elektronicznych repozytoriach danych medycznych pacjenta (ang. *electronic health rekord* – EHR) [D1, L28, L29].

W proponowanej metodzie zastosowano dwuetapowy proces weryfikacji użytkowników, którego schemat pokazano na Rysunku 5.

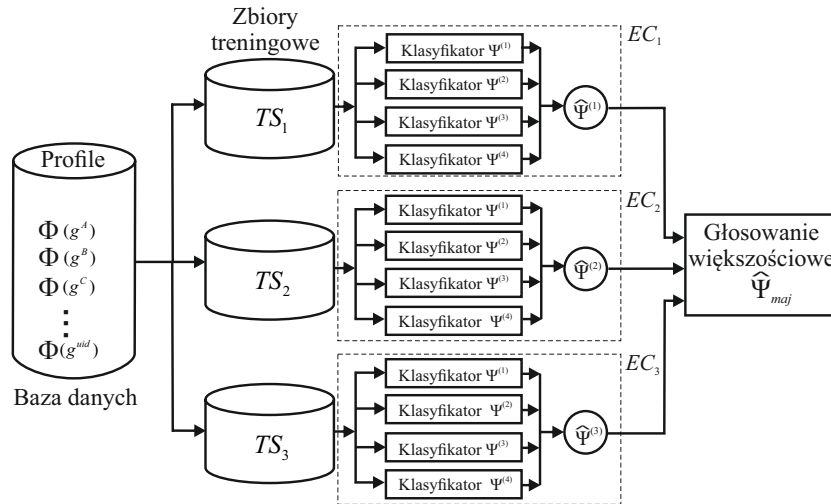


Rysunek 5: Proponowany system ciągłej weryfikacji osób, który bazuje na fuzji dynamiki pisania na klawiaturze oraz analizy obrazu kostek palca.

Celem pierwszego etapu jest weryfikacja tożsamości osoby pracującej na komputerze na podstawie analizy dynamiki pisania na klawiaturze. Jeśli weryfikacja użytkownika przebiegła pomyślnie to może on kontynuować pracę. W przeciwnym przypadku istnieje podejrzenie, że bieżący użytkownik jest intruzem. W takiej sytuacji jest on poddawany dodatkowej weryfikacji, tym razem na podstawie analizy dynamiki pisania na klawiaturze oraz obrazu kostki jego palca. Pozytywny wynik dodatkowej weryfikacji powoduje, że użytkownik może dalej kontynuować pracę, a procedura weryfikacji powraca do etapu analizy dynamiki pisania na klawiaturze. Jeżeli jednak dodatkowa weryfikacja nie zakończy się pomyślnie, dostęp do zasobów komputera zostaje użytkownikowi zablokowany.

Analiza dynamiki pisania na klawiaturze polega na pomiarze różnic w długości czasu naciśnięcia poszczególnych klawiszy oraz odstępów czasowych pomiędzy poszczególnymi przyciśnięciami klawiszy. Zarówno przebieg jak i rezultat tego procesu zależny jest od osobowości, przyzwyczajzeń oraz podświadomego wyćwiczenia pewnych ruchów realizowanych przez układ nerwowo-mięśniowy osoby korzystającej z klawiatury komputera. Parametry mierzone podczas pisania na klawiaturze charakteryzują każdą osobę, jednak ich behawioralny charakter sprawia, że ich wartości mogą być zaburzone przez wpływ takich czynników jak np. nastrój lub choroba użytkownika. Mając na uwadze wspomniane czynniki istotne staje się wyodrębnienie takich parametrów, które obserwowane przez jak najdłuższy okres czasu charakteryzują się jak najmniejszą zmiennością, czyli mogą być uznane za jak najbardziej powtarzalne dla danej osoby.

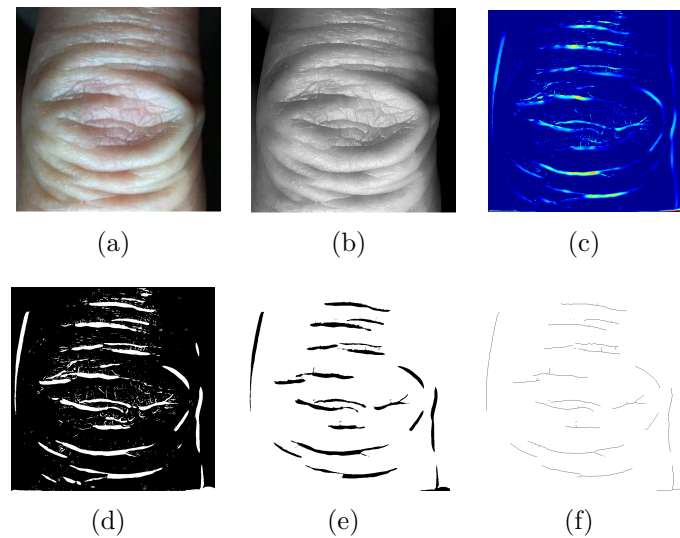
W proponowanej metodzie wykorzystano metodę analizy dynamiki pisania na klawiaturze opisaną w [D1]. Zaletą metody jest to, że nie wymaga ona od użytkownika wpisania z góry zdefiniowanego hasła. Zamiast tego użytkownik może cały czas normalnie pracować, a dynamika analizowana jest na podstawie dowolnego tekstu, wpisywanego przez użytkownika. W działaniu prezentowanej metody wyróżnić można dwa podstawowe etapy. Pierwszy z nich obejmuje tworzenie profilu dla każdego użytkownika, natomiast celem drugiego jest weryfikacja nieznanego użytkownika na podstawie uprzednio utworzonych profili. Profile tworzone są na podstawie analizy zależności czasowych pomiędzy dwoma kolejnymi zdarzeniami klawiatury (np. dwoma naciśnięciami klawiszy). Parametry tworzenia profili są dobierane niezależnie dla każdego użytkownika z wykorzystaniem algorytmu optymalizacji rojem cząstek (PSO). Procedura weryfikacji wektora testowego polega na porównaniu go z wektorami zawartymi w profilu osoby aktualnie zalogowanej na komputerze. W celu przeprowadzenia weryfikacji wektora testowego autor opracował model klasyfikatora opartego na trzech zespołach klasyfikatorów EC_1 , EC_2 , EC_3 . Każdy z nich składa się z czterech heterogenicznych klasyfikatorów: $\Psi^{(1)}$, $\Psi^{(2)}$, $\Psi^{(3)}$ oraz $\Psi^{(4)}$. Zespoły klasyfikatorów działają jednocześnie a każdy z nich jest uczony na różnym zestawie danych treningowych. Ogólna struktura proponowanego modułu klasyfikacji została przedstawiona na Rysunku 6.



Rysunek 6: Schemat klasyfikatora komitetowego użytego w metodzie.

Jeżeli weryfikacja na podstawie dynamiki pisania na klawiaturze da wynik negatywny, wtedy użytkownik poddawany jest dodatkowej weryfikacji na podstawie analizy obrazu kostki palca. Weryfikacja rozpoczyna się od ekstrakcji bruzd widocznych na powierzchni kostki. Zadanie to realizuje opracowana do tego celu metoda [H8]. Wykorzystuje ona m.in. filtr Frangi [L30, L31],

binaryzację metodą Otsu oraz szkieletyzację [L32]. Kolejne etapy ekstrakcji bruzd kostki palca za pomocą opracowanej metody pokazano na Rysunku 7.



Rysunek 7: Etapy ekstrakcji bruzd z kostek palca. a) obraz oryginalny, b) obraz oryginalny konwertowany do skali szarości, c) obraz poddany filtracji filtrem Frangi, d) obraz zbinaryzowany, e) obraz po usunięciu artefaktów, f) ścienianie obrazu

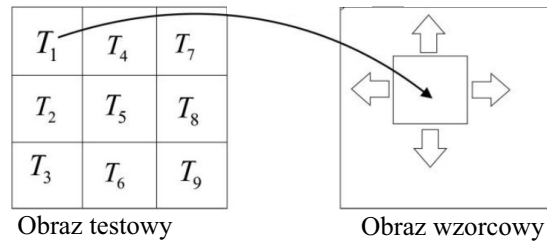
W kolejnym etapie odbywa się porównanie bruzd wyznaczonych na obrazach testowym oraz wzorcowym. Rozwój metody porównywania obrazów kostek palców oraz sposobu jej wykorzystania w systemie multi-biometrycznym został opisany w następujących publikacjach: [H10],[L33, L34]. W pracy [L34], autor do porównania obrazów kostek wykorzystał metodę *Least-Squares Contour Alignment* (LSCA) [L35]. Metoda ta pozwala na dopasowanie do siebie dwóch konturów, wykorzystując do tego operacje ich translacji, rotacji oraz skalowania. Funkcja kosztu przeprowadzonych operacji jest traktowana jako podobieństwo bruzd na porównywanych obrazach kostek palców. Wykorzystanie metody LSCA wymaga, aby bruzdy widoczne na obrazach kostek palców zostały zamienione na łańcuchy punktów. W tym celu opracowano algorytm realizujący to zadanie. Elementem pracy było również stanowisko, pokazane na Rysunku 8, i służące do akwizycji obrazu kostki palca.



Rysunek 8: Stanowisko akwizycji obrazu kostek palca.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że skuteczność weryfikacji metody wyniosła $Accuracy = 92,77\%$.

Kolejne badania, opisane w [L33], polegały na zastąpieniu metody LSCA metodą znormalizowanej korelacji krzyżowej (ang. *normalised cross correlation* - NCC). W metodzie tej obraz testowy dzielony jest na fragmenty, które następnie są wyszukiwane na obrazie wzorcowym (Rysunek 9).



Rysunek 9: Zasada porównywania obrazów testowego oraz wzorcowego z wykorzystaniem metody znormalizowanej korelacji krzyżowej (NCC).

Przeprowadzone eksperymenty wykazały wysoką skuteczność weryfikacji wynoszącą (Accuracy = 95,96%), co skłoniło autora do jej implementacji w metodzie multi-biometrycznej. Połączenie metod analizy dynamiki pisania na klawiaturze oraz obrazu kostek palca zostało po raz pierwszy opisane w pracy [H8]. Uwzględnienie w procesie weryfikacji zarówno wyniku analizy dynamiki pisania na klawiaturze jak również analizy obrazu kostki zrealizowane zostało dzięki opracowanej do tego celu regule decyzyjnej. Porównano skuteczność weryfikacji metody multi-biometrycznej ze skutecznością każdej użytej w niej cechy. Uzyskane wyniki przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4: Porównanie różnych metod weryfikacji osób [H8] .

Metoda	FAR [%]	FRR [%]	AER [%]	ACC [%]
Klawiatura	5.59 ± 1.16	7.94 ± 1.46	5.41 ± 1.72	97.83 ± 3.28
Kostki	4.30 ± 0.23	8.19 ± 1.05	6.24 ± 1.09	95.96 ± 7.53
Klawiatura oraz Kostki	1.07 ± 1.47	3.35 ± 2.04	2.21 ± 1.76	98.50 ± 1.33

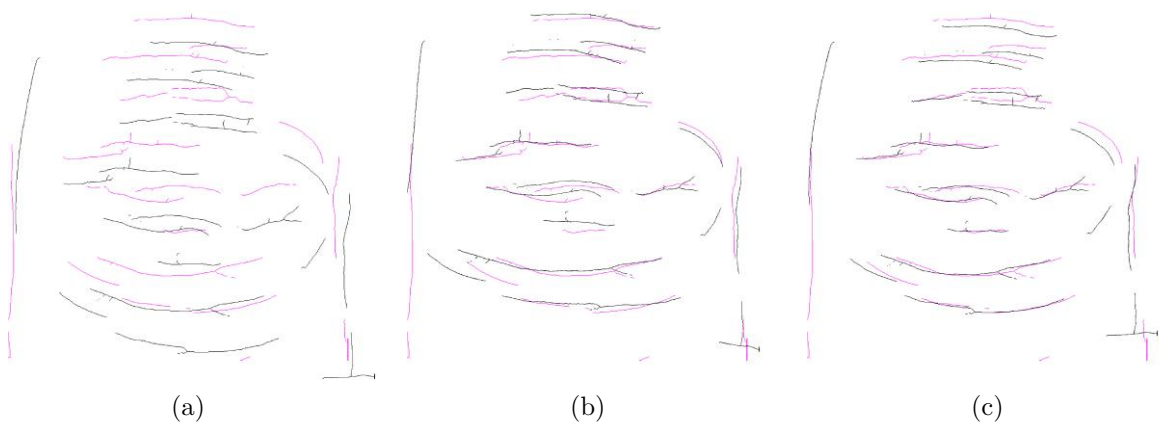
Dalszy rozwój prezentowanej metody polegał na zastosowaniu w niej bardziej zaawansowanej techniki wyznaczania podobieństwa pomiędzy obrazami kostek. Inspiracją do wspomnianych prac, podobnie jak w przypadku analizy kształtu ust, były problemy spowodowane elastycznością ludzkiej skóry. W przypadku kostek palca elastyczność ta powoduje, że położenie jak i rozmiar bruzdy może nieznacznie się różnić na kolejnych obrazach kostek danej osoby. Mamy zatem do czynienia z problemem braku powtarzalności próbek biometrycznych. Rozwiązanie zaproponowane przez autora polega na wstępnym dopasowaniu bruzd przed ich porównaniem. W pracy [H10] autor do tego celu wykorzystał metody *Shape Contexts* (SC) oraz *Thin Plate Spline* (TPS) [L36] [H10]. W proponowanej metodzie bardzo ważne jest odpowiednie dobranie poziomu dopasowania bruzd na obrazach. Zbyt małe dopasowanie nie pozwoli na zredukowanie niewielkich różnic pomiędzy próbkami pochodzącymi od tej samej osoby, natomiast zbyt duże dopasowanie może skutkować zbytnim upodobnieniem się do siebie bruzd pochodzących z kostek dwóch różnych osób. Z tego powodu, elementem przeprowadzonych badań było ustalenie optymalnych wartości parametrów metod SC oraz TPS. Różne poziomy dopasowania bruzd występujących na dwóch obrazach pochodzących od tej samej osoby za pomocą metod SC+TPS pokazano na Rysunku 10.

Podejście bazujące na użyciu metod SC oraz TPS zostało zaimplementowane w metodzie multi-biometrycznej opisanej w [L36]. Wstępne dopasowanie bruzd na obrazach kostek okazało się bardzo skuteczne i pozwoliło na zmniejszenie błędów weryfikacji, co pokazują wyniki badań przedstawione w Tabeli 5.

Tabela 5: Skuteczność różnych metod weryfikacji osób [L36].

Metoda	FAR [%]	FRR [%]	AER [%]	ACC [%]
Klawiatura	$5,59 \pm 1,16$	$7,94 \pm 1,46$	$6,76 \pm 1,72$	$97,83 \pm 3,28$
Kostki	$4,03 \pm 0,21$	$7,76 \pm 0,95$	$5,89 \pm 1,23$	$95,24 \pm 6,87$
Klawiatura oraz Kostki	$0,67 \pm 0,11$	$2,16 \pm 0,25$	$1,41 \pm 0,22$	$98,96 \pm 1,63$

Wadą wspomnianych metod weryfikacji obrazu kostek palca jest użyty w nich sposób akwizycji. Wymaga on aby użytkownik umieścił swoją dłoń podczas akwizycji wewnątrz stanowiska pokazanego na Rysunku 8. Przeprowadzone pomiary wykazały, że średni czas akwizycji obrazu kostki z wykorzystaniem wspomnianego stanowiska to około 8 sekund. W rezultacie na taki okres czasu użytkownik musi przerwać swoją pracę. Należy podkreślić, że procedura akwizycji jest powtarzana za każdym razem, kiedy istnieje podejrzenie użycia komputera przez osobę nieuprawnioną. W celu eliminacji wspomnianej niedogodności, w pracy [H9] autor zaproponował metodę, w której akwizycja obrazu kostki odbywa się w pełni automatyczny sposób, tzn. bez konieczności przerywania pracy przez użytkownika. Nowe podejście polega na wykorzystaniu do akwizycji aparatu lub kamery umiejscowionej tak, aby cały czas obserwowała dłoń użytkownika podczas jego pracy na klawiaturze. Akwizycja bruzd na kostce palca odbywa się dwuetapowo. Celem pierwszego etapu jest lokalizacja fragmentu obrazu, na którym znajduje się prawa dłoń użytkownika. W drugim etapie, na tak ograniczonym fragmencie obrazu, wyszukiwany jest palec wskazujący użytkownika. Do lokalizacji prawej dłoni oraz palca wskazującego na analizowanym obrazie wykorzystano metodę Template Matching [L37, L38]. Służy ona do wyszukiwania na obrazie fragmentów podobnych kształtem do wzorca zapisanego w bazie danych. W pierwszym etapie działania metody poszukiwanym wzorcem jest zarys prawej dłoni, natomiast w drugim etapie wzorcem jest palec wskazujący zlokalizowanej dłoni. Eksperymenty pokazały, że każdy z użytkowników kładzie swoje dłonie na klawiaturze w nieznacznie odmienny sposób. Powoduje to, że zarysy ich dłoni oraz palców różnią się od siebie.



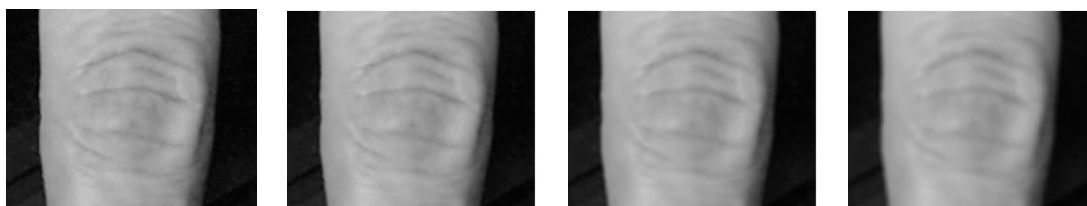
Rysunek 10: Dwa nałożone na siebie obrazy kostek palca (zaznaczone kolorem czarnym i czerwonym, a) bez dopasowania, b) wstępne dopasowanie z użyciem SC oraz TPS, c) dokładne dopasowanie z użyciem SC oraz TPS .

Utrudnia to, a czasem wręcz uniemożliwia poprawną lokalizację palca wskazującego. Dlatego w proponowanej metodzie lokalizacja dłoni oraz palca odbywa się z wykorzystaniem zbioru zawierającego 7 wzorców, odpowiednio dłoni jak i palców. Wzorce zostały dobrane w taki sposób, aby nieznacznie różniły się od siebie. Przykładowe użyte wzorce dłoni oraz palców pokazano na Rysunku 11. Wynikiem działania algorytmu Template Matching jest zbiór zawierający 7 punktów, których współrzędne wskazują na obrazie fragmenty podobne do poszczególnych wzorców. Ostatecznie, współrzędne dłoni lub palca są wyznaczane poprzez uśrednienie współrzędnych wszystkich 7 uprzednio zlokalizowanych punktów.



Rysunek 11: Wyszukiwane na obrazie wzorce: górny rząd - dłoni, dolny rząd - palca.

Zaletą proponowanej metody jest możliwość akwizycji obrazu kostki palca podczas normalnej pracy użytkownika. W praktyce fotografowanie obiektu w ruchu powoduje, że może on być rozmazany lub zaszumiony. Wyznaczenie bruzd na takich obrazach może okazać się niemożliwe. Z tego powodu każdy wyznaczony obraz kostki palca zostaje poddany ocenie jakości. Jeżeli wyznaczona wartość miary jakości obrazu ϑ jest mniejsza od założonego progu, wtedy analizowany obraz zostaje odrzucony, a proces lokalizacji palca na obrazie rozpoczyna się od początku, tzn. od etapu wykonania zdjęcia dłoni. Obrazy kostki palca o czterech różnych stopniach rozmycia pokazano na Rysunku 12.



Rysunek 12: Wartości miary ostrości wyznaczone dla obrazu kostki palca: a) $\vartheta = 1.35$, b) $\vartheta = 1.16$, c) $\vartheta = 1.00$, d) $\vartheta = 0.90$.

Skuteczność proponowanej metody została zweryfikowana za pomocą szeregu eksperymentów przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych. Istotnym elementem przeprowadzonych badań było także określenie przydatności proponowanej metody akwizycji obrazów kostek palców w systemach multi-biometrycznej weryfikacji osób. Wyniki przeprowadzonych testów pokazano w Tabeli 6.

Tabela 6: Porównanie różnych metod ciągłej weryfikacji osób [H9].

Metoda	Bez automatycznej akwizycji			Z automatyczną akwizycją		
	FAR [%]	FRR [%]	ACC [%]	FAR [%]	FRR [%]	ACC [%]
tylko kostki [H9]	4.03	7.22	95.20	4.18	7.85	94.81
klawiatura + kostki [H8]	1,07	3,35	98,50	1.17	3,23	97,36
klawiatura + kostki [L39]	-	-	98.71	-	-	96.97
klawiatura + kostki [L36]	0,67	2,16	98,96	0,94	2,87	98,61

Analizując wyniki z Tabeli 6 można zauważyć, że wykorzystanie proponowanej metody automatycznej akwizycji pozwala uzyskać porównywalne wartości skuteczności do metod, w których akwizycja obrazów kostek odbywała się w tradycyjny sposób (poprzez umieszczenie ręki w skanerze). Należy jednak podkreślić, że proponowana metoda ma niekwestionowaną przewagę - w pełni automatyczne pozyskiwanie obrazu palców, czego nie oferują konkurencyjne metody.

4.3.3 Podsumowanie

Prezentowane w Autoreferacie prace autora obejmują metody biometrycznej identyfikacji i weryfikacji osób, których działanie uwzględnia brak powtarzalności próbek biometrycznych. Poszczególne elementy wkładu naukowego zawarte w publikacjach wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego zostały podsumowane poniżej:

1. Opracowanie metody „*parametr $\leftrightarrow$ - metoda jego porównania*”, która pozwala na wyznaczenie takich parametrów podpisów danej osoby, które są zarówno najbardziej powtarzalne jak również najskuteczniej odróżniają podpisy oryginalne tej osoby od podpisów fałszywych. Dodatkowo metoda dobiera do każdego parametru podpisu metodę, za pomocą której parametr ten powinien być analizowany. Pomimo, że metoda była pierwotnie dedykowana do analizy podpisów odręcznych [H1, H2, H3] autor wykazał jej wysoką skuteczność także w analizie kształtu ust [H6].
2. Zaproponowanie nowego podejścia w metodach rozpoznawania podpisów odręcznych, które zakłada podział podpisów wzorcowych na fragmenty, a następnie wyznaczenie powtarzalności każdego z tych fragmentów [H4, H5]. W rezultacie takiego podejścia fragmenty podpisu wzorcowego charakteryzujące się wysoką powtarzalnością są brane pod uwagę w procesie weryfikacji podpisów testowych, natomiast fragmenty mniej powtarzalne są pomijane podczas weryfikacji.
3. Wykorzystanie w procesie klasyfikacji próbek biometrycznych probabilistycznych sieci neuronowych (PNN). Strojenie sieci neuronowej odbywa się niezależnie dla każdej osoby za pomocą algorytmu optymalizacji rojem cząstek (PSO) [H2, H6].
4. Opracowanie metody weryfikacji osób na podstawie kształtu ust [H6, H7].
5. Zaproponowanie multi-biometrycznej metody ciągłej weryfikacji osób w oparciu o analizę dynamiki pisanie na klawiaturze oraz o analizę obrazu kostek palca [H8, H9, H10].
6. Opracowanie metody automatycznej akwizycji obrazów wykorzystywanych w analizie obrazu kostek palca [H9].

Literatura:

- [L1] Bolle R. *Guide to biometrics*. Springer professional computing. Springer, New York, 2004.
- [L2] Peralta D., Galar M., Triguero I., Paternain D., García S., Barrenechea E., Benítez J.M., Bustince H., Herrera F. A survey on fingerprint minutiae-based local matching for verification and identification: Taxonomy and experimental evaluation. *Information Sciences*, vol. 315, str. 67–87, 2015.
- [L3] Barpanda S.S., Sa P.K., Marques O., Majhi B., Bakshi S. Iris recognition with tunable filter bank based feature. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 77(6), str. 7637–7674, 2018.
- [L4] Albakoor M., Saeed K., Rybnik M., Dabash M. FE8R - A universal method for face expression recognition. In *Computer Information Systems and Industrial Management - 15th IFIP TC8 International Conference, CISIM 2016, Vilnius, Lithuania, September 14-16, 2016, Proceedings*, str. 633–646. 2016.
- [L5] Harezlak K. Eye movement dynamics during imposed fixations. *Information Sciences*, vol. 384, str. 249–262, 2017.
- [L6] Eldomiaty M.A., Anwar R.I., Algaidi S.A. Stability of lip-print patterns: a longitudinal study of saudi females. *Journal of forensic and legal medicine*, vol. 22, s. 154–158, 2014.
- [L7] Faundez-Zanuy M. *On-line Signature Recognition Based on VQ-DTW*, vol. 40. Elsevier Science Inc., New York, NY, USA, 2007.
- [L8] Emerich S., Lupu E., Rusu C. A new set of features for a bimodal system based on on-line signature and speech. *Digital Signal Processing*, vol. 23(3), str. 928–940, 2013.
- [L9] Yu S., Ai Y., Xu B., Zhou Y., Li W., Liao Q., Poh N. Two strategies to optimize the decisions in signature verification with the presence of spoofing attacks. *Information Sciences*, vol. 352-353, str. 188–202, 2016.
- [L10] Huang K., Yan H. Stability and style-variation modeling for on-line signature verification. *Pattern Recognition*, vol. 36(10), str. 2253–2270, 2003.
- [L11] Cappelli R., Ferrara M., Maltoni D. Large-scale fingerprint identification on GPU. *Information Sciences*, vol. 306, str. 1 – 20, 2015.
- [L12] Kirkwood B., Sterne J. *Essential Medical Statistics*. Wiley, 2003.
- [L13] Kanji G. *100 statistical tests*. Sage, London [u.a.], reprinted edition, 1994.
- [L14] Levin J., Nalebuff B. An introduction to vote-counting schemes. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 9(1), str. 3–26, 1995.
- [L15] Kudłacik P., Doroz R. Determining valuable ranges of handwritten signature using fuzzy approach and window method. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 24, str. 23–30, 2015.

- [L16] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. A new signature similarity measure. In *Nature and Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*, str. 1022–1027. IEEE, 2009.
- [L17] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. A new signature similarity measure based on windows allocation technique. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications (IJCISIM)*, vol. 2, str. 297–305, 2010.
- [L18] Wróbel K., Doroz R. The method of signature recognition based on least squares contour alignment and windows technique. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 15, str. 35–39, 2010.
- [L19] Doroz R., Porwik P. Handwritten signature recognition with adaptive selection of behavioral features. In N. Chaki, A. Cortesi, eds., *Computer Information Systems – Analysis and Technologies*, str. 128–136. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [L20] Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. In *Proceedings - 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2005*, vol. I, str. 886–893. 2005.
- [L21] Surinta O., Karaaba M.F., Schomaker L.R., Wiering M.A. Recognition of handwritten characters using local gradient feature descriptors. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 45, str. 405–414, 2015.
- [L22] Viola P., Jones M.J. Robust Real-Time Face Detection. *International Journal of Computer Vision*, vol. 57(2), str. 137–154, 2004.
- [L23] Murphy T.M., Broussard R., Schultz R., Rakvic R., Ngo H. Face detection with a Viola-Jones based hybrid network. *IET Biometrics*, vol. 6(3), str. 200–210, 2016.
- [L24] Kuncheva L.I. *Combining Pattern Classifiers: Methods and Algorithms*. Wiley-Interscience, 2004.
- [L25] Krysmann M., Kurzynski M. *Methods of Learning Classifier Competence Applied to the Dynamic Ensemble Selection*, str. 151–160. Springer International Publishing, Heidelberg, 2013.
- [L26] Zhang Z.L., Luo X.G., García S., Tang J.F., Herrera F. Exploring the effectiveness of dynamic ensemble selection in the one-versus-one scheme. *Knowledge-Based Systems*, vol. 125, str. 53 – 63, 2017.
- [L27] Wesołowski T.E., Porwik P., Doroz R. Electronic health record security based on ensemble classification of keystroke dynamics. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 30(6), str. 521–540, 2016.
- [L28] Raiyn J., et al. A survey of cyber attack detection strategies. *International Journal of Security and Its Applications*, vol. 8(1), str. 247–256, 2014.
- [L29] Salem M.B., Hershkop S., Stolfo S.J. *A Survey of Insider Attack Detection Research*, str. 69–90. Springer US, Boston, MA, 2008.
- [L30] Ng C.C., Yap M.H., Costen N., Li B. Automatic wrinkle detection using hybrid hessian filter. In D. Cremers, I. Reid, H. Saito, M.H. Yang, eds., *Computer Vision – ACCV 2014*, str. 609–622. Springer International Publishing, Cham, 2015.

- [L31] Automatic detection of polyp using hessian filter and hog features. *Procedia Computer Science*, vol. 60, str. 730 – 739, 2015.
- [L32] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. vol. 9(1), str. 62–66. 1979.
- [L33] Doroz R., Wrobel K., Porwik P., Safaverdi H., Senejko M., Jezewski J., Popielski P., Wilczynski S., Koprowski R., Wrobel Z. A new personal verification technique using finger-knuckle imaging. In *International Conference on Computational Collective Intelligence*, str. 515–524. Springer, Cham, 2016.
- [L34] Wrobel K., Porwik P., Doroz R., Safaverdi H. Person verification based on finger knuckle images and least-squares contour alignment. In *Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE), 2017 International Conference on*, str. 119–122. IEEE, 2017.
- [L35] Markovsky I., Mahmoodi S. Least-squares contour alignment. *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 16(1), str. 41–44, 2009.
- [L36] Safaverdi H., Wesolowski T.E., Doroz R., Wrobel K., Porwik P. Computer user verification based on typing habits and finger-knuckle analysis. *Conference on Computational Collective Intelligence Technologies and Applications*, str. 161–170, 2017.
- [L37] Oron S., Dekel T., Xue T., Freeman W.T., Avidan S. Best-buddies similarity—robust template matching using mutual nearest neighbors. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40(8), str. 1799–1813, 2018.
- [L38] Weber J., Lefèvre S. Spatial and spectral morphological template matching. *Image and Vision Computing*, vol. 30(12), str. 934 – 945, 2012.
- [L39] Wesolowski T.E., Safaverdi H., Doroz R., Wrobel K. Hybrid verification method based on finger-knuckle analysis and keystroke dynamics. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 26, 2017.
- [L40] Kasprzak J. *Cheiloskopia kryminalistyczna*. Wydawnictwo Biura techniki Kryminalistycznej KGP, 1991.
- [L41] Jain A., Flynn P., Ross A. *Handbook of Biometrics*. Springer US, 2007.
- [L42] Porwik P., Doroz R., Orczyk T. The k-NN classifier and self-adaptive hotelling data reduction technique in handwritten signatures recognition. *Pattern Analysis and Applications*, vol. 18(4), str. 983–1001, 2015.

5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1 Badania naukowe przed doktoratem

W momencie rozpoczęcia pracy na uczelni, w roku 1999, zainteresowania naukowe autora obejmowały zagadnienia sterowania sygnalizacją świetlną na pojedynczym skrzyżowaniu ulic [P1, P2]. Rezultatem prac autora w tym obszarze było opracowanie sytemu "Optymal". Zaimplementowane w systemie funkcje pozwalały m.in. na badania przepustowości skrzyżowania, badania czasu przejazdu potoków pojazdów lub czasu strat wynikających z zatrzymań

pojazdów. W swoich kolejnych badaniach autor skoncentrował się na opracowaniu metod rozpoznawania typów pojazdów w oparciu o obraz pozyskany z kamery. Opracowane metody wykorzystywały różne techniki rozpoznawania i przetwarzania obrazu. Analiza kształtu pojazdów odbywała się m.in. z wykorzystaniem transformacji Hougha [P3], współczynników Fouriera [P4], w oparciu o punkty o największej krzywiznie wyznaczone na konturze pojazdu [P5] oraz analizę geometryczną konturu pojazdu [P6].

Kolejny obszar zainteresowań naukowych autora dotyczył metod przetwarzania oraz rozpoznawania obiektów w aspekcie obrazowania medycznego. Rezultatem wspomnianych badań było opracowanie przez autora metod kompresji obrazów medycznych [P7, P8] oraz rozpoznawania obiektów na obrazach medycznych [P9]. Działanie wspomnianych metod bazowało na wykorzystaniu transformacji DCT, DST, Walsha oraz Haara.

W toku dalszych prac naukowych zainteresowania naukowe autora ewoluowały w kierunku biometrycznych metod identyfikacji oraz weryfikacji osób. Przed uzyskaniem stopnia doktora zainteresowania te ograniczały się do dwóch zagadnień: metody identyfikacji osób na podstawie analizy środka ich ciężkości oraz metod identyfikacji oraz weryfikacji osób na podstawie analizy podpisu odręcznego. W przypadku pierwszego zagadnienia położenie środka ciężkości danej osoby rejestrowane było za pomocą specjalnych wkładek pedobarograficznych, w które zaopatrzona była analizowana osoba. Wkładowki posiadały 24 czujniki służące do rejestracji nacisku stóp na podłoże. Proces analizy polegał na wykonywaniu przez rozpoznawaną osobę określonych ruchów ciała (np. wykonywaniu ruchów okrężnych biodrami) [P10].

Ostatnia grupa prac dotyczy analizy podpisów odręcznych [P11, P12, P13, P14, P15, P16]. W początkowym okresie badania koncentrowały się na opracowaniu metod rozpoznawania podpisów, w których analiza odbywała się z wykorzystaniem punktów charakterystycznych wyznaczonych na podpisach. Do lokalizacji punktów charakterystycznych podpisu autor wykorzystał algorytm IPAN99.

Wybrane publikacje autora powstałe przed doktoratem:

- [P1] Doroz R., Piecha J., Wąsik R., Widuch S. System Optymal: sterowanie sygnalizacją świetlną pojedynczego skrzyżowania ulic. *Informatyka*, (10), str. 29–33, 2000.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P2] Doroz R., Wąsik R., Widuch S. Wskazniki jakości sterowania sygnalizacją świetlną w systemie Optymal. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, str. 127–138, 2000.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P3] Porwik P., Doroz R., Wróbel K. Searching and identification of transport images by means of the modified hough transformation. *Konferencja Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego Tibrd 03, Ustroń-Zawodzie*, str. 126–135, 2003.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P4] Doroz R., Widuch S. Similarity investigations of car shapes based on fourier coefficients. *Proceedings of International Colloquium Advanced Simulation of Systems ASIS 004, Krnov, Czech*, str. 217–222, 2004.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P5] Doroz R., Widuch S., Goluch A. Method of object similarity research using edge points with the highest curvature. *A Proceedings of Telematics and Safety of Road Traffic Conference - TiBRD '2003*, str. 136 –144, 2003.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.

- [P6] Doroz R., Widuch S., Wróbel K. Compare the methods of shape identification which consist in the calculation of the function of a shapes contour and the comparison of geometric features of objects. *Materiały IV konferencji naukowo - technicznej Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego TiBRD 2004. Katowice-Ustroń*, str. 171–180, 2004.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P7] Porwik P., Doroz R., Widuch S., Wróbel K. Porównanie stratnych metod kompresji obrazu. *XXXIV Int. Conf. ASIS 02, Ostrawa Czech Republic*, str. 195–200, 2002.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=0.
- [P8] Porwik P., Doroz R. Some remarks on medical images compression. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, str. IT43–IT48, 2000.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=0.
- [P9] Porwik P., Wróbel K., Widuch S., Doroz R. The method of preliminary medical images selection. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, vol. 2, str. MI169–MI176, 2001.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=3.
- [P10] Porwik P., Zyguła J., Doroz R., Proksa R. Biometric recognition system based on the motion of the human body gravity centre analysis. *Journal of Medical Informatics and Technologies, (ISSN 1642-6037)*, vol. 15, str. 61–69, 2010.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=10.
- [P11] Doroz R., Widuch S. Estimation of signature by means of ipan99. *Proc. of International Colloquium Advanced Simulation of Systems (ASIS 2006)*, str. 85–90, 2006.
IF=0, MNiSW=0, WoS=0, GS=3.
- [P12] Doroz R., Widuch S. Signature characteristic points determination by means of the ipan99 algorithm. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, vol. 11, str. 105–113, 2007.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=2.
- [P13] Doroz R., Bargielski M. On some optimalization of signature recognition. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, vol. 12, str. 201–206, 2008.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=0.
- [P14] Doroz R., Mitas M. New methods to determine similarity of signatures based on local extremes. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, vol. 12, str. 63–68, 2008.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=0.
- [P15] Doroz R., Kostorz I. The method for determining the characteristic points of signatures based on ipan99 algorithm. *Journal of Medical Informatics and Technologies*, vol. 15, str. 41–46, 2010.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=3.
- [P16] Doroz R., Wróbel K. Determining the similarity of signatures on the basis of characteristic points analysis. *International Journal of Biometrics (IJBM), Inderscience Publisher*, vol. 2(3), str. 282–294, 2010.
IF=0, MNiSW=8, WoS=0, GS=2.

5.2 Badania naukowe po doktoracie

Najważniejsze prace autora, nie związane z przedstawionym cyklem habilitacyjnym, dotyczyły m.in: weryfikacji osób na podstawie odcisków czerwieni wargowej, wyznaczania punktu referencyjnego na odciskach palców oraz metod weryfikacji osób na podstawie dynamiki pisanie na klawiaturze.

Analiza odcisków czerwieni wargowej

Analiza ust znalazła się w obszarze zainteresowania autora nie tylko w kontekście biomechaniki. W swoich pracach autor zaproponował metody analizy odcisków czerwieni wargowej [L40]. Takie podejście jest dedykowane do zagadnień kryminalistyki, gdzie ślady czerwieni wargowej są pobierane na miejscach przestępstw z wykorzystaniem proszku daktyloskopijnego w celu ich późniejszej analizy. W przypadku odcisków czerwieni wargowej nie jest możliwe wyznaczenie jej parametrów geometrycznych. Powodem jest zbyt rozmyty kontur odcisku ust, co uniemożliwia poprawne wyznaczanie punktów charakterystycznych ust. W pracy [D2] zaproponowano metodę analizy czerwieni wargowej w oparciu o lokalizację, długość oraz nachylenie bruzd widocznych na jej powierzchni. Detekcja bruzd na obrazach czerwieni wargowej odbywa się z wykorzystaniem opracowanej do tego celu metody. Do wyznaczania podobieństwa pomiędzy bruzdami wykorzystano znormalizowaną korelację krzyżową. Wspomniana metoda wyznaczania podobieństwa wykorzystana została także w [D3]. Dodatkowo, we wspomnianej pracy zaproponowano metodę separacji dolnej i górnej wargi na obrazach odcisków czerwieni wargowej. Takie rozwiązanie umożliwia niezależną detekcję i analizę bruzd na każdej z warg. W pracy [D4] porównanie dwóch odcisków ust polega na wyszukaniu, a następnie porównaniu bifurkacji tworzonych przez bruzdy. Analizowanymi parametrami są odległości pomiędzy porównywanymi bifurkacjami oraz ich wzajemne ukierunkowanie. W swojej pracy [D5] autor zwrócił uwagę na problem braku powtarzalności odcisków ust. Jest to problem zdecydowanie poważniejszy niż w przypadku analizy fotografii ust. Dociskając w procesie akwizycji wałek daktyloskopijny do powierzchni ust, powodujemy ich deformację. To z kolei może wpływać na położenie, nachylenie i długość odbitych na papierze bruzd. Jeżeli deformacja ust będzie duża możemy spotkać się z sytuacją, w której pewne bruzdy nie zostaną uwidocznione na jednym z obrazów. Mając na uwadze wspomniany problem, autor zaproponował podejście polegające na wyszukiwaniu powtarzalnych bruzd tzn. takich, które zostają uwidocznione na jak największej liczbie odcisków ust uzyskanych od tej samej osoby. W praktyce takimi bruzdami są tylko najwyraźniejsze oraz najgrubsze bruzdy, umiejscowione na obszarze ust, który jest najmniej podatny na zniekształcenia. Ponieważ u każdej osoby powtarzalne bruzdy mogą być zlokalizowane w różnych miejscach ust, dlatego zestaw takich bruzd jest traktowany jako wzór ust danej osoby. Wysoka skuteczność metody uwzględniającej tworzenie wzorca czerwieni wargowej została potwierdzona eksperymentalnie.

Wyznaczanie punktu referencyjnego na odciskach palców

Kolejnym zagadnieniem, będącym w kręgu zainteresowania autora są metody lokalizacji punktu referencyjnego na odcisku palca. W swoich pracach autor jako punkt referencyjny przyjął rdzeń odcisku (ang. *core point*) [L41]. Działanie opracowanej metody polega na wyznaczaniu krzywizny każdej listewki skórnej na odcisku palca. Następnie, jako punkt referencyjny wybierany jest punkt odcisku palca, w którym krzywizna dowolnej listewki jest największa. Opracowana metoda została po raz pierwszy zaprezentowana w pracy [D6]. Ocena skuteczności opracowanej metody polegała na porównaniu wskazań lokalizacji punktu referencyjnego dokonanego przez metodę ze wskazaniami punktu referencyjnego przez eksperta daktyloskopijnego.

Dalsze prace koncentrowały się nad poprawą skuteczności metody ekstrakcji linii papilarnych z obrazu odcisku palca oraz wykorzystaniem w badaniach większej liczby baz danych [D7, D8]. Wprowadzone modyfikacje pozwoliły na poprawę skuteczności metody, niestety w pewnych przypadkach punkt o największej krzywiznie wykrywany był w pobliżu punktu *delta* zamiast w pobliżu rdzenia odcisku. W pracy [D9] opracowano metodę, która traktuje punkt *delta* jako punkt odstający i eliminuje go z procesu wyszukiwania punktu referencyjnego. Wyniki eksperymentów wykazały, że proponowana metoda charakteryzuje się najwyższą skutecznością spośród obecnie znanych metod lokalizacji rdzenia odcisku palca.

Analiza dynamiki pisania na klawiaturze

Elementem metody multi-biometrycznej, zawartej w cyklu habilitacyjnym, jest metoda analizy dynamiki pisania na klawiaturze. Opracowanie i rozwój takiej metody stanowiły również istotny obszar zainteresowań naukowych autora. W pracy [D10] weryfikacja użytkowników odbywała się na podstawie pomiaru czasów naciśnięcia poszczególnych klawiszy oraz odstępów pomiędzy przyciśnięciami klawiszy. Przeprowadzone badania obejmowały m.in. opracowanie struktury użytego w nim klasyfikatora komitetowego oraz dobór jego członków. W kolejnej pracy [D11] analiza dynamiki uwzględniała nie tylko zależności czasowe, ale także dane pochodzące z czujników rejestrujących nacisk palca użytkownika na klawisze. Należy podkreślić, że metody uwzględniające nacisk na klawiaturę, pomimo ich skuteczności, nie są obecnie zbyt praktyczne. Narzędzia umożliwiające rejestrację nacisku palców na klawiaturę są obecnie w fazie eksperymentalnej i wciąż jeszcze nie spotyka się je w codziennych zastosowaniach. Wadą dotychczas wspomnianych metod jest konieczność wpisywania przez użytkownika z góry ustalonego hasła. Aby wyeliminować wspomniany problem opracowano metodę, która pozwala na analizę danych zarejestrowanych podczas wpisywania dowolnego tekstu [D1]. Opracowana metoda zakłada tworzenie profili dla każdego użytkownika. Parametry procedury ich tworzenia dobierane są niezależnie dla każdego użytkownika z wykorzystaniem algorytmu optymalizacji rojem cząstek (PSO).

Wybrane publikacje autora powstałe po doktoracie:

- [D1] Wesołowski T.E., Porwik P., Doroz R. Electronic health record security based on ensemble classification of keystroke dynamics. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 30(6), str. 521–540, 2016.
IF=0,652 MNiSW=15, WoS=2, GS=6, DBLP.
- [D2] Wrobel K., Doroz R., Palys M. A method of lip print recognition based on sections comparison. In *Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE), 2013 International Conference on*, str. 47–52. IEEE, 2013.
IF=0, MNiSW=15, WoS=8, GS=16.
- [D3] Wrobel K., Porwik P., Doroz R. Effective lip prints preprocessing and matching methods. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2015*, str. 347–357. Springer, Cham, 2016.
IF=0, MNiSW=15, WoS=0, GS=1, DBLP.
- [D4] Wrobel K., Doroz R., Palys M. Lip print recognition method using bifurcations analysis. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, str. 72–81. Springer, Cham, 2015.
IF=0, MNiSW=15, WoS=0, GS=1, DBLP.

- [D5] Wrobel K., Doroz R., Porwik P., Bernas M. Personal identification utilizing lip print furrow based patterns. a new approach. *Pattern Recognition*, vol. 81, str. 585 – 600, 2018.
IF=3, 963⁽²⁰¹⁷⁾, MNiSW=15, WoS=0, GS=1, DBLP.
- [D6] Wrobel K., Doroz R. The method for finding a reference point in fingerprint images basing on an analysis of characteristic points. In *2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, str. 504–508. 2011.
IF=0 MNiSW=0, WoS=0, GS=2, DBLP.
- [D7] Doroz R., Wrobel K., Palys M. Detecting the reference point in fingerprint images with the use of the high curvature points. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems*, str. 82–91. Springer, Cham, 2015.
IF=0, MNiSW=15, WoS=3, GS=3, DBLP.
- [D8] Wrobel K., Doroz R., Porwik P. Fingerprint reference point detection based on high curvature points. In *International Conference on Data Mining and Big Data*, str. 538–547. Springer, Cham, 2016.
IF=0 MNiSW=15, WoS=2, GS=2, DBLP.
- [D9] Doroz R., Wrobel K., Porwik P. An accurate fingerprint reference point determination method based on curvature estimation of separated ridges. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 28(1), str. 209–225, 2018.
IF=1, 420⁽²⁰¹⁷⁾, MNiSW=25, WoS=1, GS=2, DBLP.
- [D10] Doroz R., Porwik P., Safaverdi H. The new multilayer ensemble classifier for verifying users based on keystroke dynamics. In *Computational Collective Intelligence*, str. 598–605. Springer, Cham, 2015.
IF=0 MNiSW=15, WoS=2, GS=5, DBLP.
- [D11] Doroz R., Porwik P., Safaverdi H. Person verification based on keystroke dynamics. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 24, str. 39–44, 2015.
IF=0 MNiSW=0, WoS=0, GS=0.

5.3 Wskaźniki bibliometryczne

Index H

1. według bazy Google Scholar: **11**
2. według bazy Web of Science: **8**
3. według bazy Scopus: **10**

Liczba cytowań

1. według bazy Google Scholar: **350**
2. według bazy Web of Science: **160** (bez autocytowań **69**); liczba artykułów w WoS: **33**
3. według bazy Scopus: **207** (bez autocytowań **95**); liczba artykułów w Scopus: **38**

Czasopisma posiadające IF, w których autor opublikował prace

Tabela 7: Zestawienie czasopism wraz z punktami MNiSW oraz IF.

Lp.	Czasopismo	Punkty MNiSW	IF
1.	Neurocomputing [H1]*)	30	3,317
2.	Pattern Recognition [H2]*)	40	4,582
3.	Pattern Analysis and Applications [L42]	20	1,104
4.	Information Sciences [H5]*)	45	4,832
5.	Engineering Applications of Artificial Intelligence [H6]*)	35	2,894
6.	Pattern Recognition [D5]	40	3,962
7.	Applied Artificial Intelligence [D1]	15	0,652
8.	International Journal of Applied Mathematics and Computer Science [D9]	25	1,694
9.	Expert Systems with Applications [H7]*)	35	3,768
10.	Symmetry [H9]*)	30	1,256

Publikacje oznaczone *) są ujęte w cyklu habilitacyjnym.

Sumaryczny IF wszystkich publikacji z Tabeli 7 wynosi **28,061**, natomiast łączna liczba punktów MNiSW wynosi **315**.

Sumaryczny IF publikacji z Tabeli 7 zawartych w cyklu habilitacyjnym wynosi **20,649**, natomiast łączna liczba punktów MNiSW wynosi **215**.

Liczba artykułów opublikowanych przed i po doktoracie.

Tabela 8: Liczba artykułów opublikowanych przed i po doktoracie.

	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
Artykuły w czasopismach z listy A	0	10	10
Artykuły w czasopismach spoza listy A	17	8	25
Artykuły w książkach i monografiach (np. AiSC, LNCS, LNAI) w języku angielskim	4	17	21
Artykuły w materiałach konferencyjnych	10	5	15
Artykuły w książkach, monografiach i ze- szytach naukowych w języku polskim	7	0	7
Liczba wszystkich artykułów	38	40	

5.4 Działalność organizacyjna

1. Członek Uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej dla studentów Uniwersytetu Śląskiego na kadencję 2016-2020.
2. Wydziałowy Pełnomocnik ds. komercjalizacji na Uniwersytecie Śląskim 2014-2015,
3. Członek kolegium elektorów Wydziału na kadencję 2016-2020.
4. Opiekun pierwszego roku studiów stacjonarnych 2015-2018, kierunek Informatyka.
5. Zastępca przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej dla kierunku Informatyka – studia stacjonarne I stopnia, w roku akademickim 2009/2010.

5.5 Działalność popularyzująca naukę

1. Uczestnik Seminarium: "Mechatronika w Edukacji i Przemysle". Seminarium zorganizowane było w dniu 23.04.2015.
2. Wygłoszenie cyklu wykładów dotyczących zagadnień Biometrii w liceum im. E Plater w Sosnowcu w ramach projektu "Uniwersytecka Emilka" (styczeń 2018).
3. Reprezentant Instytutu Informatyki na Targach Edukacyjnych w Katowicach (marzec 2014),
4. Uczestnik warsztatu pt.: "Dobrze uczyć" zorganizowanym w ramach projektu Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy. Celem warsztatu było doskonalenie kompetencji dydaktycznych (02.06.2009).

5.6 Dorobek dydaktyczny i organizacyjny

Począwszy od roku akademickiego 2011/12 byłem promotorem łącznie 19 prac licencjackich i inżynierskich oraz 10 prac magisterskich. Obecnie jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Tomasza Wesołowskiego pt.: „Weryfikacja użytkowników systemu komputerowego na podstawie biometrycznego profilu ich aktywności”.

W ramach pracy dydaktycznej prowadziłem zajęcia z następujących przedmiotów realizowanych na kierunku Informatyka oraz Inżynieria Biomedyczna na Wydziale Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego:

- Podstawy techniki cyfrowej (studia stacjonarne i niestacjonarne I stopnia),
- Sieciowe systemy operacyjne (studia stacjonarne i niestacjonarne I stopnia),
- Inżynieria obliczeń równoległych (studia stacjonarne i niestacjonarne II stopnia),
- Podstawy projektowania systemów biometrycznych (studia stacjonarne i niestacjonarne II stopnia),
- Biometria i systemy biometryczne, (studia stacjonarne II stopnia),
- Systemy DTP (studia stacjonarne I stopnia),
- Systemy operacyjne (studia stacjonarne I stopnia),
- Sieci komputerowe (studia niestacjonarne I stopnia),
- Systemy operacyjne i oprogramowanie narzędziowe (studia niestacjonarne I stopnia),

5.7 Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową

1. Najlepszy artykuł ("Best Paper Award") podczas *International Conference on Data Mining and Big Data DMBD'2016* 25-30 czerwiec, 2016, Bali, Indonesia, (nagroda za artykuł "Fingerprint reference point detection based on high curvature points"[D8])
2. Nagroda Zespołowa Rektora III Stopnia za działalność naukowo-badawczą, 2017.
3. Nagroda Zespołowa Rektora II Stopnia za działalność naukowo-badawczą, 2014.
4. Nagroda Zespołowa Rektora III Stopnia za działalność naukowo-badawczą, 2008.

5.8 Utworzenie biometrycznych baz danych

Jestem współautorem trzech baz danych biometrycznych. Bazy te są ogólnodostępne dla celów naukowo-badawczych i dostępne na stronie: <http://biometrics.us.edu.pl/resources/downloads>.

1. *Fingerprint Shift* - baza danych zawiera obrazy odcisków palców, na których palec został poddany różnym naciskom [480 zdjęć - 620x620px - 500dpi]
2. *PDA Collected Signatures* - baza danych zawiera podpisy oryginalne i fałszywe zebrane od 15 osób przy użyciu urządzenia Windows Mobile PDA
3. *Lip Prints Database* - baza danych zawierająca odciski czerwieni wargowej

5.9 Recenzje w czasopismach

1. International Journal of Biometrics - 3 recenzje,
2. Expert Systems With Applications - 2 recenzje,
3. Informatics - 1 recenzja,
4. Neurocomputing - 1 recenzja,
5. Symmetry - 4 recenzje,
6. Computers and Electronics in Agriculture - 1 recenzja,
7. Future Generation Computer Systems- 1 recenzja,
8. Applied Sciences - 1 recenzja,
9. Pattern Recognition - 2 recenzje,
10. IET Biometrics - 3 recenzje,
11. Electronics - 1 recenzja,
12. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science - 2 recenzje,
13. Applied Computational Intelligence and Soft Computing - 1 recenzja,
14. BioMedical Engineering OnLine - 1 recenzja,
15. Journal of Medical Informatics & Technologies - 7 recenzji.

5.10 Recenzje na konferencjach

1. Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS) - 2016: 2 recenzje, 2015: 2 recenzje.
2. International conference Cyberworld - 2018: 3 recenzje, 2017: 2 recenzje, 2015: 2 recenzje.
3. International Conference on Computational Collective Intelligence (ICCCI) - 2016: 2 recenzje, 2015: 2 recenzje.
4. International Conference on Computer Recognition Systems (CORES) - 2013: 5 recenzji.

5.11 Organizacja sesji specjalnych na konferencjach:

1. Współorganizator sesji "Special Session on Machine Learning in Biometrics and Bioinformatics with Applications" (MLBBA)
7th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, 23-25 Marzec 2015, Bali, Indonezja.
2. Współorganizator sesji "Biometrics"
The 8 International Conference on Computer Recognition Systems CORES, 27-29 Marzec 2013, Miłków, Polska.

5.12 Staże zagraniczne

1. Miesięczny staż na Uniwersytecie w Calgary jako profesor wizytujący. Osobą zapraszającą była Prof. Marina Gavrilova. Staż odbył się w terminie: 12.02.2015-12.03.2015.
2. 4-dniowy staż szkoleniowy na University of the Basque Country (San Sebastian), związany z programem Erasmus+. Osobą przyjmującą był Prof. Manuel Grana. Staż odbył się w terminie: 09.05.2016-12.05.2016.
3. 4-dniowy staż szkoleniowy na ESIGETEL (École supérieure d'ingénieurs en informatique et génie des télécommunications) (Paryż), związany z programem Erasmus+. Osobą przyjmującą była Prof. Katarzyna Węgrzyn-Wolska. Staż odbył się w terminie: 08.05.2017 - 11.05.2017.

5.13 Ukończone kursy i szkolenia

1. Instruktor Cisco Networking Academy w zakresie CCNA oraz IT Essentials, od 2011 r.
2. Certyfikat ukończenia kursu obsługi platformy Moodle, 2015 r.

5.14 Lista wszystkich publikacji autora

Przed doktoratem:

- [a1] Doroz R., Wąsik R., Widuch S. Wskazniki jakości sterowania sygnalizacją świetlną w systemie OPTYMAL. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*, str. 127–138, 2000.
- [a2] Porwik P., Doroz R. Some remarks on medical images compression. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 1, str. 43–48, 2000.
- [a3] Doroz R., Piecha J., Wąsik R., Widuch S. System OPTYMAL: sterowanie sygnalizacją świetlną pojedynczego skrzyżowania ulic. *Informatyka*, vol. 10, str. 29–33, 2000.
- [a4] Porwik P., Wróbel K., Widuch S., Doroz R. The method of preliminary medical images selection. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 2(1), str. 169–176, 2001.
- [a5] Porwik P., Doroz R., Widuch S., Wrobel K. Szacowanie podobieństwa obrazów z wykorzystaniem transformaty Hougha. *XXXIV th Int. Conf. ASIS 02, Ostrava Czech Republic*, str. 171–177, 2002.
- [a6] Porwik P., Doroz R., Widuch S., Wrobel K. Porównanie stratnych metod kompresji obrazu. *XXXIV Int. Conf. ASIS 02, Ostrava Czech Republic*, str. 195–200, 2002.
- [a7] Doroz R., Lisowska A. Uniwersalny wskaźnik jakości obrazów transportowych. *Materiały konf. Telematyka i bezpieczeństwo ruchu drogowego, ISBN 83-909518-4-3, Ustroń-Jaszowiec*, str. 144–151, 2002.
- [a8] Wrobel K., Doroz R., Widuch S., Goluch P. A method of object similarity research using edge points with the highest curvature. *Proceedings of Telematics and Safety of Road Traffic Conference - TiBRD 2003 Katowice-Ustron, Poland*, str. 136–144, 2003.
- [a9] Doroz R., Bargielski M. Bezpieczeństwo sieci komputerowych. *Zeszyty Naukowe WSZiM, Matematyka i Informatyka pod red. Andrzeja Mitasa*, str. 23–29, 2003.
- [a10] Doroz R., Bargielski M. Projekt aplikacji monitorującej sieć Novell Netware. *Zeszyty Naukowe WSZiM, Matematyka i Informatyka pod red. Andrzeja Mitasa, ISSN-1732-1506, Sosnowiec*, str. 13–18, 2003.
- [a11] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. Searching and identification of transport images by means of the modified Hough transformation. *Konferencja Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego Tibrd 03, Ustroń-Zawodzie*, str. 126–135, 2003.
- [a12] Porwik P., Doroz R., Widuch S. Specjalizowane oprogramowanie środowiska linux wspomagające pracę osób niewidomych. *Konf. krajowa Informatyka w Edukacji i Kulturze, prac. zbiorowa (red. A. Mitas) Wyd. Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu, Sosnowiec*, str. 154–162, 2004.
- [a13] Widuch S., Doroz R. Similarity investigations of car shapes based on Fourier coefficients. In *International Colloquium Advanced Simulation of Systems ASIS 2004, Krnov, Czech Republic*, str. 217–222. 2004.

- [a14] R. Doroz S. Widuch K.W. Compare the methods of shape identification which consist in the calculation of the function of a shapes contour and the comparison of geometric features of objects. *Materiały IV konferencji naukowo - technicznej Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego TiBRD 2004. Katowice-Ustroń*, str. 171–180, 2004.
- [a15] Estimation of signature by means of IPAN99, author=Doroz, Rafal, booktitle=International Colloquium Advanced Simulation of Systems ASIS, Ostrawa. Czech Republic, pages=85–90, year=2006.
- [a16] Doroz R., Widuch S. Signature characteristic points determination by means of the IPAN99 algorithm. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 11, str. 105–113, 2007.
- [a17] Para T., Doroz R. Using dynamic features and linear regression to signature verification. *W Monografii: Biometryka, Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa*, str. 129–138, 2007.
- [a18] Doroz R., Mitas M. New methods to determine similarity of signatures based on local extremes. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 12, str. 63–68, 2008.
- [a19] Doroz R., Bargielski M.J. On some optimalization of signature recognition. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 12, str. 201–206, 2008.
- [a20] Doroz R., Porwik P., Para T., Wrobel K. Dynamic signature recognition based on velocity changes of some features. *International Journal of Biometrics*, vol. 1(1), str. 47–62, 2008.
- [a21] Wrobel K., Doroz R. New signature similarity measure based on average differences. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 12, str. 51–56, 2008.
- [a22] Doroz R. Badanie podobieństwa podpisów na podstawie analizy punktów charakterystycznych. *Systemy wspomaganie decyzji, Instytut Informatyki, UŚ*, str. 311–318, 2008.
- [a23] Doroz R., Bugdol M. Signature verification based on individual characteristic features. In *Biometry – special issue*, str. 77–86. Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa, 2009.
- [a24] Doroz R., Wrobel K. Method of signature recognition with the use of the mean differences. In *Proceedings of the ITI 2009 31st International Conference on Information Technology Interfaces, Cavtat/Dubrovnik, Croatia, June 22-25, 2009*, str. 231–236. 2009.
- [a25] Wrobel K., Doroz R. The new method of signature recognition based on least squares contour alignment. In *Proceedings of the International IEEE Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2009)*, str. 80–83. IEEE, 2009.
- [a26] Wróbel K., Doroz R. New method for finding a reference point in fingerprint images with the use of the IPAN99 algorithm. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 13, str. 59–63, 2009.
- [a27] Doroz R. Zastosowanie metod statystycznych w procesie rozpoznawania podpisów. *Systemy Wspomaganie Decyzji, Zakopane*, str. 256–267, 2009.
- [a28] Doroz R., Wróbel K., Porwik P. Signatures recognition method by using the normalized Levenshtein distances. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 13, str. 73–77.

- [a29] Porwik P., Wrobel K., Doroz R. Signature recognition method by means of the windows technique. *Image Processing & Communications*, vol. 14(2-3), str. 43–50, 2009.
- [a30] Porwik P., Wrobel K., Doroz R. The polish coins denomination counting by using Oriented Circular Hough Transform. In M. Kurzynski, M. Wozniak, eds., *Computer Recognition Systems 3*, str. 569–576. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [a31] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. A new signature similarity measure. In *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*, str. 1022–1027. IEEE, 2009.
- [a32] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. A new signature similarity measure based on windows allocation technique. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications (IJCISIM)*, vol. 2, str. 297–305, 2010.
- [a33] Rafał D. Wyznaczanie podobieństwa podpisów z wykorzystaniem metody okien. *Systemy Wspomagania Decyzji, Zakopane*, str. 323–330, 2010.
- [a34] Doroz R., Mitas M. Signature verification based on individual characteristic features. In *Monograph Biometry - Special Issue. Centrum Inżynierii Biomedycznej. Gliwice*, str. 83–92, 2010.
- [a35] Doroz R., Wrobel K. Determining the similarity of signatures on the basis of characteristic points analysis. *International Journal of Biometrics*, vol. 2(3), str. 282–294, 2010.
- [a36] Porwik P., Zyguła J., Doroz R., Proksa R. Biometric recognition system based on the motion of the human body gravity centre analysis. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 15, str. 61–69, 2010.
- [a37] Doroz R., Kostorz I. The method for determining the characteristic points of signatures based on IPAN99 algorithm. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 15, str. 41–46, 2010.
- [a38] Wróbel K., Doroz R. The method of signature recognition based on least squares contour alignment and windows technique. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 15, str. 35–39, 2010.

Po doktoracie:

- [b1] Doroz R., Porwik P. Handwritten signature recognition with adaptive selection of behavioral features. In N. Chaki, A. Cortesi, eds., *Computer Information Systems – Analysis and Technologies (CORES 2011), Communications in Computer and Information Science*, vol. 245, str. 128–136. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [b2] Wrobel K., Doroz R. The method for finding a reference point in fingerprint images basing on an analysis of characteristic points. In *2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NABIC)*, str. 504–508. 2011.
- [b3] Kostorz I., Doroz R. On-line signature recognition based on reduced set of points. In R. Burduk, M. Kurzyński, M. Woźniak, A. Żołnierczyk, eds., *Computer Recognition Systems (CORES 2011), Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 95, str. 3–11. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.

- [b4] Doroz R., Wróbel K. Using hidden markov models in signature recognition process. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 21, 2012.
- [b5] Doroz R., Wrobel K. Dynamic signature recognition based on modified windows technique. In *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM 2012)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7564, str. 158–167. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [b6] Pałys M., Doroz R., Porwik P. The use of methods of statistical analysis in signature recognition system based on Levenshtein distance. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 21, 2012.
- [b7] Palys M., Doroz R., Porwik P. Statistical analysis in signature recognition system based on Levenshtein distance. In *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Recognition Systems (CORES 2013)*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 226, str. 217–226. Springer, Heidelberg, 2013.
- [b8] Porwik P., Doroz R. Biometric features selection with k-nearest neighbours technique and Hotelling adaptation method. In *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Recognition Systems (CORES 2013)*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 226, str. 247–256. Springer, Heidelberg, 2013.
- [b9] Doroz R., Porwik P., Wrobel K. Signature recognition based on voting schemes. In *International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2013)*, str. 53–57. IEEE, 2013.
- [b10] Palys M., Doroz R., Porwik P. On-line signature recognition based on an analysis of dynamic feature. In *International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2013)*, str. 103–108. IEEE, 2013.
- [b11] Wrobel K., Doroz R., Palys M. A method of lip print recognition based on sections comparison. In *International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2013)*, str. 47–52. IEEE, 2013.
- [b12] Wrobel K., Doroz R. Method for identification of fragments of lip prints images on the basis of the generalized Hough transform. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 22, 2013.
- [b13] Porwik P., Doroz R. Self-adaptive biometric classifier working on the reduced dataset. In *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS 2014)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8480, str. 377–388. Springer, Cham, 2014.
- [b14] Doroz R., Wrobel K., Watroba M. A hybrid system of signature recognition using video and similarity measures. In *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems (HAIS)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8480, str. 211–220. Springer, Cham, 2014.
- [b15] Doroz R., Pałys M., Orczyk T., Safaverdi H. Method of signature recognition with the use of the complex features. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 23, 2014.
- [b16] Doroz R., Wrobel K., Palys M. Detecting the reference point in fingerprint images with the use of the high curvature points. In *Asian Conference on Intelligent Information and*

Database Systems (ACIIDS), Lecture Notes in Computer Science, vol. 9012, str. 82–91. Springer, Cham, 2015.

- [b17] Porwik P., Doroz R., Orczyk T. The k-nn classifier and self-adaptive Hotelling data reduction technique in handwritten signatures recognition. *Pattern Analysis and Applications*, vol. 18(4), str. 983–1001, 2015.
- [b18] Wrobel K., Doroz R., Palys M. Lip print recognition method using bifurcations analysis. In *Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (ACIIDS), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9012, str. 72–81. Springer, Cham, 2015.
- [b19] Doroz R., Porwik P., Safaverdi H. The new multilayer ensemble classifier for verifying users based on keystroke dynamics. In *International Conference on Computational Collective Intelligence (ICCCI 2015), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9330, str. 598–605. Springer, Cham, 2015.
- [b20] Wrobel K., Doroz R., Porwik P., Naruniec J., Kowalski M. Personal identity verification method based on lips photographs. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 24, str. 59–65, 2015.
- [b21] Kudłacik P., Doroz R. Determining valuable ranges of handwritten signature using fuzzy approach and window method. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 24, str. 23–30, 2015.
- [b22] Doroz R., Porwik P., Safaverdi H. Person verification based on keystroke dynamics. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 24, str. 39–44, 2015.
- [b23] Wrobel K., Porwik P., Doroz R. Effective lip prints preprocessing and matching methods. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Recognition Systems (CORES 2015), Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 403, str. 347–357. Springer, Cham, 2015.
- [b24] Doroz R., Porwik P., Orczyk T. Dynamic signature verification method based on association of features with similarity measures. *Neurocomputing*, vol. 171, str. 921–931, 2016.
- [b25] Porwik P., Doroz R., Orczyk T. Signatures verification based on PNN classifier optimised by PSO algorithm. *Pattern Recognition*, vol. 60, str. 998–1014, 2016.
- [b26] Wrobel K., Doroz R., Porwik P. Fingerprint reference point detection based on high curvature points. In *International Conference on Data Mining and Big Data (DMBD), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9714, str. 538–547. Springer, Cham, 2016.
- [b27] Wesołowski T.E., Porwik P., Doroz R. Electronic health record security based on ensemble classification of keystroke dynamics. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 30(6), str. 521–540, 2016.
- [b28] Popielski P., Koprowski R., Wróbel Z., Wilczyński S., Doroz R., Wróbel K., Porwik P. The matching method for rectified stereo images based on minimal element distance and rgb component analysis. In *International Conference on Computational Collective Intelligence (ICCCI 2016), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9876, str. 482–493. Springer, Cham, 2016.

- [b29] Doroz R., Wrobel K., Porwik P., Safaverdi H., Senejko M., Jezewski J., Popielski P., Wilczynski S., Koprowski R., Wrobel Z. A new personal verification technique using finger-knuckle imaging. In *International Conference on Computational Collective Intelligence (ICCCI 2016)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 9876, str. 515–524. Springer, Cham, 2016.
- [b30] Doroz R., Wrobel K., Porwik P., Safaverdi H. The method of person verification by use of finger knuckle images. In *International Conference on Computer Recognition Systems (CORES 2017)*, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 578, str. 248–257. Springer, Cham, 2017.
- [b31] Wesolowski T.E., Doroz R., Wrobel K., Safaverdi H. Keystroke dynamics and finger knuckle imaging fusion for continuous user verification. In *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management (CISIM 2017)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10449, str. 141–152. Springer, Cham, 2017.
- [b32] Wrobel K., Doroz R., Porwik P., Naruniec J., Kowalski M. Using a Probabilistic Neural Network for lip-based biometric verification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 64, str. 112–127, 2017.
- [b33] Safaverdi H., Wesolowski T.E., Doroz R., Wrobel K., Porwik P. Computer user verification based on typing habits and finger-knuckle analysis. In *Conference on Computational Collective Intelligence Technologies and Applications (ICCCI 2017)*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10449, str. 161–170. Springer, Cham, 2017.
- [b34] Wrobel K., Porwik P., Doroz R., Safaverdi H. Person verification based on finger knuckle images and least-squares contour alignment. In *International Conference on Biometrics and Kansei Engineering (ICBAKE 2017)*, str. 119–122. IEEE, 2017.
- [b35] Wesolowski T.E., Safaverdi H., Doroz R., Wrobel K. Hybrid verification method based on finger-knuckle analysis and keystroke dynamics. *Journal of Medical Informatics & Technologies*, vol. 26, str. 26–36, 2017.
- [b36] Doroz R., Wrobel K., Porwik P. An accurate fingerprint reference point determination method based on curvature estimation of separated ridges. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 28(1), str. 209–225, 2018.
- [b37] Wrobel K., Doroz R., Porwik P., Bernas M. Personal identification utilizing lip print furrow based patterns. a new approach. *Pattern Recognition*, vol. 81, str. 585–600, 2018.
- [b38] Doroz R., Kudlacik P., Porwik P. Online signature verification modeled by stability oriented reference signatures. *Information Sciences*, vol. 460–461, str. 151 – 171, 2018.
- [b39] Porwik P., Doroz R., Wrobel K. An ensemble learning approach to lip-based biometric verification, with a dynamic selection of classifiers. *Expert Systems with Applications*, vol. 115, str. 673 – 683, 2019.
- [b40] Doroz R. The method of automatic knuckle image acquisition for continuous verification systems. *Symmetry*, vol. 10(11), 2018.

Patat Ham