

**Załącznik nr 2**  
**do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego**  
**Autoreferat w języku polskim**

**1. Imię i nazwisko**

Paweł Karczmarek

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

17.06.2010 – doktor nauk matematycznych w zakresie matematyki, Uniwersytet Gdański, Rada Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki, tytuł rozprawy doktorskiej *Dokładne i przybliżone rozwiązania pewnych klas równań całkowych mocno osobliwych z jądrami Cauchy'ego i Hilberta*

09.06.2005 – magister matematyki (specjalizacje informatyczna i pedagogiczna), Katolicki Uniwersytet Lubelski, tytuł pracy magisterskiej *Zastosowanie wielomianów Jacobiego do rozwiązania singularnego równania całkowego z jądrem Cauchy'ego o stałych współczynnikach*

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.**

- Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Informatyki, Zakład Programowania i Grafiki Komputerowej
  - od 01.10.2018 – adiunkt
- Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Wydział Matematyki, Informatyki i Architektury Krajobrazu (wcześniej Wydział Matematyczno-Przyrodniczy), Instytut Matematyki i Informatyki, Katedra Modelowania i Symulacji Komputerowych
  - 01.10.2017 – 30.09.2018 – adiunktKatedra Równań Różniczkowych i Całkowych
  - 01.10.2010 – 30.09.2017 – adiunkt
  - 01.10.2005 – 30.09.2010 – asystent
  - 01.10.2004 – 30.06.2005 – asystent stażysta
- University of Alberta (Edmonton), Faculty of Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering
  - 15.11.2011 – 14.11.2012 – staż podoktorski

**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.):**

**a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego**

Wybrane zagadnienia rozpoznawania twarzy i teorii podejmowania decyzji

**b) publikacje dotyczące osiągnięcia (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy),**

**Dotyczące bezpośrednio osiągnięcia:**

Monografia:

- [1] P. Karczmarek (2018) *Selected Problems of Face Recognition and Decision Making Theory*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, recenzent wydawniczy: dr hab. Zenon Sosnowski, prof. Politechniki Białostockiej  
**25 pkt. ministerialnych**  
Jestem jedynym autorem tej pracy.

Artykuły w czasopismach:

- [2] M. Bereta, P. Karczmarek, W. Pedrycz, M. Reformat (2013) Local descriptors in application to the aging problem in face recognition, *Pattern Recognition* **46** (10), pp. 2634-2646, doi: 10.1016/j.patcog.2013.03.010  
**IF: 3.965, 5-Year IF: 4.342, IF w roku pub.: 2.584, lista ministerialna A (40 pkt. za lata 2013-2016, 40 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: 29, Scopus: 41, GS: 56**  
Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 35%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji wybranych algorytmów (m.in. zobrazowanego na rys. 3), ustawieniu parametrów eksperymentów, przeprowadzeniu ich części, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, część rysunków) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.
- [3] P. Karczmarek, W. Pedrycz, M. Reformat, E. Akhouni (2014) A study in facial regions saliency: A fuzzy measure approach, *Soft Computing* **18** (2), pp. 379-391, doi: 10.1007/s00500-013-1064-0  
**IF: 2.367, 5-Year IF: 2.204, IF w roku pub.: 1.271, lista ministerialna A (25 pkt. za lata 2013-2016, 25 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: 6, Scopus: 8, GS: 8**  
Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji algorytmów, ustawieniu parametrów eksperymentów, przeprowadzeniu większości z nich, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.
- [4] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz, M. Dolecki (2017) An application of chain code-based local descriptor and its extension to face recognition, *Pattern Recognition* **65**, pp. 26-34, doi: 10.1016/j.patcog.2016.12.008  
**IF: 3.965, 5-Year IF: 4.342, IF w roku pub.: 3.965, lista ministerialna A (40 pkt. za lata 2013-2016, 40 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: 8, Scopus: 13, GS: 19**  
Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, opracowaniu koncepcji deskryptora CCBLD, implementacji tego deskryptora, ustawieniu parametrów eksperymentów,

przeprowadzeniu części testów, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, większość rysunków) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

- [5] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz, P. Rutka (2017) A study in facial features saliency in face recognition: An analytic hierarchy process approach, *Soft Computing* **21** (24), pp. 7503-7517, doi: 10.1007/s00500-016-2305-9

**IF: 2.367, 5-Year IF: 2.204, IF w roku pub.: 2.367, lista ministerialna A (25 pkt. za lata 2013-2016, 25 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: 2, Scopus: 2, GS: 3**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod podsumowujących wyniki eksperymentów z AHP (*Analytic Hierarchy Process*, Analityczny Proces Hierarchiczny), ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, większość rysunków) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

- [6] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2017) On developing Sugeno fuzzy measure densities in problems of face recognition, *International Journal of Machine Intelligence and Sensory Signal Processing* **2** (1), pp. 80–96, doi: 10.1504/IJMISSP.2017.10009132

**Czasopismo bez IF**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji i optymalizacji parametrów całki Choqueta, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu (metody agregacji, odległości dla klasyfikatorów najbliższego sąsiada dla metod CCBLD, Fisherfaces i Eigenfaces), analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

- [7] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2018) Generalized Choquet integral for face recognition, *International Journal of Fuzzy Systems* **20** (3), pp. 1047-1055, doi: 10.1007/s40815-017-0355-5

**IF: 2.396, 5-Year IF: 2.227, IF w roku pub.: 2.396, lista ministerialna A (25 pkt. za lata 2013-2016, 20 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: 3, Scopus: 3, GS: 4**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu (metody agregacji, odległości dla klasyfikatorów najbliższego sąsiada dla metod CCBLD, Fisherfaces i Eigenfaces), analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

- [8] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz, M. Dolecki (2018) Linguistic descriptors in face recognition, *International Journal of Fuzzy Systems* **20** (8), pp. 2668-2676, doi: 10.1007/s40815-018-0517-0

**IF: 2.396, 5-Year IF: 2.227, IF w roku pub.: 2.396, lista ministerialna A (25 pkt. za lata 2013-2016, 20 pkt. w roku 2016), liczba cytowań bez autocytowań: WoS: -, Scopus: -, GS: -**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod klasyfikacji m.in. w oparciu o AHP, PSO (optymalizacja z wykorzystaniem roju cząstek, *Particle Swarm Optimization*) funkcje przynależności, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu i współdziałanie w pozyskaniu wyników eksperymentów z udziałem ekspertów,

analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

- [9] P. Karczmarek, W. Pedrycz, A. Kiersztyn, M. Dolecki, A Comprehensive Experimental Comparison of the Aggregation Techniques for Face Recognition, *Iranian Journal of Fuzzy Systems* (numer manuskryptu IJFS-1801-4208, zaakceptowany, list od edytora jest dołączony do wydruku)

**IF: 1.27, 5-Year IF: 0.978, IF w roku pub.: 1.27, lista ministerialna A (25 pkt. za lata 2013-2016, 15 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu, analizie wyników (wspólnie z innymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki) i przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów artykułu.

Dane bibliograficzne zostały podane zgodnie ze stanem z dnia 7 lutego 2019 r. Sumaryczny IF (zgodnie z wykazem z roku 2017) ośmiu artykułów przedstawionych w ramach cyklu według bazy JCR wynosi **18,726**, a sumaryczny 5-Year IF – **18,524**. Sumaryczny IF dla tych prac w roku publikacji to **16,249**. Sumaryczna liczba punktów według MNiSW, zgodnie z obowiązującym w roku 2017 wykazem czasopism naukowych (za lata 2013-2016), jest równa **230**, natomiast zgodnie z wykazem obowiązującym w roku 2016 wynosi **210**. Indeks Hirscha (WoS) dla tych prac ma wartość **3**.

**c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

### **Ogólny opis tematyki i motywacja prowadzonych prac badawczych**

Przedmiotem prowadzonych przeze mnie badań, których wyniki zostały zaprezentowane w postaci przedstawionego do oceny cyklu powiązanych ze sobą tematycznie monografii i serii artykułów naukowych, są efektywne algorytmy automatycznego rozpoznawania twarzy, jak również ściśle związane z nimi techniki podejmowania decyzji. Motywacją do podjętej pracy badawczej było moje zainteresowanie technikami uczenia maszynowego, inteligencji obliczeniowej i teorii podejmowania decyzji, które zgłębiałem podczas stażu doktorskiego w University of Alberta (2011-2012), jak również intensywne zainteresowanie wielu badaczy problemem automatycznego rozpoznawania osób na podstawie cyfrowych zdjęć ich twarzy. Badania zapoczątkowane na stażu kontynuowałem w późniejszym okresie, kierując grantem Sonata NCN pt. *Deskryptory lingwistyczne w rozpoznawaniu twarzy* realizowanym na KUL, jak również podczas dalszej pracy badawczej na KUL i Politechnice Lubelskiej.

Rozpoznawanie twarzy jest jednym z najistotniejszych problemów badawczych podejmowanych przez naukowców w ostatnich trzech dekadach. Głównymi przyczynami są m.in. jego liczne zastosowania: identyfikacja osób zaginionych lub przestępców, kontrola dostępu, zastosowanie w paszportach i innych dokumentach tożsamości, itd. Innymi przyczynami zainteresowania technikami rozpoznawania twarzy są wzrost mocy obliczeniowej komputerów i rozpowszechnienie się komputerów osobistych oraz systemów bezpieczeństwa.

Z różnymi obszarami zastosowań wiążą się różne problemy, z którymi powinni się zmierzyć projektanci systemów identyfikacji. Są to np. częściowe zakrycie twarzy, odległość pomiędzy

obiektem a kamerą, oświetlenie, pozycja, wiek, obecność tatuaży, wyrażane przez twarz emocje, jakość obrazu lub wymagania systemowe. W dodatku, w przeciwieństwie do innych rozwiązań biometrycznych takich, jak rozpoznawanie odcisków palców lub tęczy, rozpoznawanie twarzy jest metodą nieinwazyjną, tzn. nie ma potrzeby wciągania weryfikowanej osoby w proces pozyskiwania informacji. Z drugiej strony, wymagania dotyczące ochrony danych osobowych są jednym z czynników spowalniających zastosowanie tej techniki.

Przez lata badań zaprezentowano wiele prac dotyczących rozpoznawania twarzy. Kanade [21] zaproponował metodę opartą na zależnościach geometrycznych pomiędzy częściami twarzy. W artykułach [32] oraz [13] przedstawione zostały dwie istotne i wciąż rozwijane metody redukcji wymiaru, mianowicie Eigenfaces (opartą na analizie głównych składowych, PCA) i Fisherfaces (opartą na PCA i liniowej analizie dyskryminacyjnej, LDA). Autorzy pracy [10] wprowadzili do rozpoznawania twarzy teorię lokalnych deskryptorów, w szczególności dobrze znany LBP (ang. *Local Binary Pattern*) bazujący na lokalnych opisach konkretnych otoczeń pikseli, a następnie na skonstruowaniu histogramów tych opisów. W [24] zaprezentowano wyniki badań nad agregacją (fuzją) informacji na bazie procesów klasyfikacji przeprowadzonych dla całych obrazów twarzy oraz obrazów ich wybranych części. Ostatnio popularne stały się dwie grupy metod. Pierwsza z nich to podejście oparte o reprezentację rzadką, które skutkuje znaczną redukcją wymiaru [33]. Druga grupa to metody głębokiego uczenia maszynowego [19], [31].

Problemy klasyfikacji są ściśle związane z zadaniami teorii podejmowania decyzji, w szczególności wielokryterialnej teorii podejmowania decyzji. Jednym z łączników jest zagadnienie agregacji wyników zwracanych przez poszczególne klasyfikatory, które może być rozpatrywane z perspektywy zastosowania funkcji agregujących [14], [17], [18]. Przykładami współczesnych funkcji agregujących są: t-normy [23], uporządkowane ważone operatory uśredniające (OWA) [34] lub całka Choqueta [30]. Najnowsze badania pokazują, że specjalne warunki nakładane na operatory agregacji mogą być osłabione, co prowadzi do poprawienia finalnego wyniku klasyfikacji [27]. Co więcej, jedną z zalet stosowania funkcji agregujących jest to, że mogą być pomocnym narzędziem podczas podejmowania decyzji odnośnie klasyfikacji obiektu przez operatora systemu biometrycznego. Należy podkreślić, że w systemach biometrycznych, w szczególności w zastosowaniach kryminalistycznych, ostateczna decyzja odnośnie identyfikacji przestępcy musi być podjęta przez eksperta. Stąd metody takie, jak Analityczny Proces Hierarchiczny [28], [29] mogą być z sukcesem aplikowane w zagadnieniach dotyczących opisu podejrzanego, czy decyzji dotyczącej klasyfikacji przez grupę ekspertów itp. Warto nadmienić, że wyposażenie systemów klasyfikacji w procesy modelowania językowego, odzwierciedlające sposób, w jaki ludzie opisują innych ludzi, może w sposób istotny ulepszyć ich działanie. Ponadto wiele zagadnień teorii podejmowania decyzji jest wciąż w pełni nierozwiązanych. Jednym z nich jest opracowanie efektywnego interfejsu pozwalającego ekspertom pozostać w pełni niezależnymi od ograniczeń wynikających z wykorzystania liczb i opisów językowych ich preferencji.

W badaniach naukowych kładłem nacisk na opracowanie efektywnych algorytmów rozpoznawania twarzy i możliwość ich praktycznego zastosowania. Prace, polegające na opracowaniu, implementacji, weryfikacji i analizie statystycznej wyników, prowadzone na UoFA, KUL i Politechnice Lubelskiej, wykazały dużą skuteczność zaproponowanych metod w odniesieniu do aktualnych problemów badawczych. Za oryginalny dorobek naukowy prowadzonych przeze mnie badań uważam:

- opracowanie nowatorskiego lokalnego deskryptora o nazwie Chain Code-Based Local Descriptor (CCBLD), skonstruowanego w przeciwieństwie do klasycznych lokalnych deskryptorów, tworzonych dla z góry zakładanych kształtów otoczeń (tj. kwadratu, okręgu itp.), w oparciu o opis otoczenia danego pikselu uzyskany na podstawie kodów łańcuchowych, które w zależności od relacji pomiędzy pikselami, mogą przybierać różne formy. Deskryptor ten uzyskał porównywalne, a w wielu przypadkach lepsze wyniki klasyfikacji w porównaniu z innymi lokalnymi deskryptorami binarnymi;
- pogłębioną analizę efektywności lokalnych deskryptorów i filtrów Gabora w odniesieniu do problemu klasyfikacji osób, gdy różnica w czasie wykonania zdjęć jest znaczna i w odniesieniu do problemu wieku osób na zdjęciach;
- nowatorskie zastosowanie deskryptorów językowych i metody AHP do problemu wyznaczenia istotności poszczególnych cech twarzy w problemach identyfikacji osób. Metoda ta została efektywnie uzupełniona o mechanizm entropii weryfikujący poziom zaufania do poszczególnych ekspertów biorących udział w procesie opisu zdjęć;
- innowacyjne zastosowanie deskryptorów językowych i metody AHP w klasyfikacji zdjęć twarzy przeprowadzanej z udziałem ekspertów;
- zaproponowanie oryginalnego interfejsu dla Analitycznego Procesu Hierarchicznego opartego o graficzne komponenty interfejsu użytkownika takie, jak suwak i gałka, uzupełnione przez metodę opartą na PSO, służącą do znalezienia przekształcenia nieliniowego ukrytych przed użytkownikiem wartości liczbowych odpowiadających pozycjom suwaka bądź gałki na liczby z zakresu  $[1/9; 9]$ , które tworzą tzw. macierz recyprokalną (ang. *reciprocal matrix*);
- efektywne rozszerzenie powyższej metody dla AHP w wersji rozmytej z funkcjami przynależności przedziałowymi, trójkątnymi i trapezoidalnymi;
- gruntowne zbadanie zdolności miary rozmytej do odzwierciedlenia istotności informacji zawartej w różnych obszarach twarzy i ich połączeniach w procesie automatycznego rozpoznawania twarzy;
- zbudowanie miary rozmytej Sugeno na bazie wyników studiów psychologicznych w odniesieniu do istotności cech twarzy;
- propozycję nowatorskiej metody wyznaczania parametrów miary rozmytej, wykorzystywanej w procesach agregacji klasyfikatorów przy zastosowaniu całki Choqueta w oparciu o tzw. *pozytywną* i *negatywną* optymalizację;
- pogłębioną eksperymentalną analizę ponad 1000 różnych funkcji agregujących w odniesieniu do problemu klasyfikacji w oparciu o istotne części twarzy takie, jak brwi, oczy, nos, usta i policzki;
- szczegółową analizę zaproponowanych w literaturze i propozycję nowych, bardziej efektywnych, uogólnień całki Choqueta jako operatorów stosowanych w mechanizmach agregacji klasyfikatorów.

### **Szczegółowy opis osiągnięć naukowych**

Moje osiągnięcie badawcze stanowią wyniki zawarte w monografii i cyklu publikacji powiązanych tematycznie pt. *Wybrane zagadnienia rozpoznawania twarzy i teorii podejmowania decyzji*. Wspomniana monografia (*Selected problems of face recognition and decision-making theory*) stanowi syntetyczne opracowanie najważniejszych wyników zaprezentowanych w cyklu artykułów naukowych, wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego.

Lokalne deskryptory binarne w kontekście problemu wieku i różnicy wieku osób uwidoczniionych na zdjęciach

Wyniki badań zostały przedstawione w pracach [1] (rozdział 2) i [2]. Głównym celem była ewaluacja i porównanie efektywności oraz potencjału najważniejszych lokalnych deskryptorów w kontekście zastosowania do problemów związanych z wiekiem lub różnicą wieku. Lokalne deskryptory binarne (*Local Binary Pattern* i jego wersje) są jednym z dominujących nurtów w automatycznym rozpoznawaniu twarzy. Ogólną ideę technik opartych o lokalne deskryptory można streścić w następujący sposób: Piksele obrazu są opisywane przy pomocy ich otoczeń (sąsiednich pikseli). Następnie służą one do opisu całych twarzy. Wektory zbudowane w ten sposób mogą być porównywane w procesie klasyfikacji ludzi. W większości przypadków wektory zawierają histogramy wartości cech dla poszczególnych bloków lub regionów twarzy, łącząc w sobie zarówno informację lokalną, jak i globalną, tj. na temat całej twarzy. Podejście w oparciu o lokalne deskryptory jest uważane za odporne na problemy związane ze zmianami ekspresji, pozy i oświetlenia twarzy na zdjęciach.

W wymienionych pracach [1] i [2] celem było dogłębne zbadanie skuteczności lokalnych deskryptorów w kontekście zmian wieku osób uwiecznionych na zdjęciach. Oprócz lokalnych deskryptorów przebadana została również szeroka klasa filtrów Gabora. Oceniona była zależność miary dokładności klasyfikacji względem różnicy pomiędzy wiekiem osób na zdjęciach w zbiorach uczącym i testującym. Ponadto przeanalizowano zależność wskaźnika rozpoznania w różnych grupach wiekowych. W ten sposób oceniono przydatność metod opartych o lokalne deskryptory w kontekście bardziej zaawansowanych systemów rozpoznawania twarzy. Testy porównawcze zostały przeprowadzone dla następujących deskryptorów lokalnych: LBP (*Local Binary Pattern*), CSLBP (*Center-Symmetric LBP*), DLTP (*Differential Local Ternary Pattern*), ILBP (*Improved Local Binary Pattern*), LGPBP (*Local Gabor Phase Binary Pattern*), LXGP (*Local Gabor XOR Pattern*), LXP (*Local XOR Pattern*), MBLBP (*Multi-Scale Block LBP*), TPLBP (*Three Patch LBP*) oraz WLD (uproszczony deskryptor Webera). Ponadto wybrane deskryptory zostały przetestowane w kombinacji z filtrami Gabora. Analiza została przeprowadzona w oparciu o klasyfikator najbliższego sąsiada, dlatego istotny był dobór funkcji będącej miarą odległości pomiędzy wektorami cech. Aby znaleźć właściwą miarę, przebadane zostały następujące miary odległości (podobieństwa): Bray-Curtisa, Canberra, Czebyszewa, chi kwadrat, korelacji, kosinusowa, przecięcia histogramów, Euklidesowa i Manhattan.

Przeprowadzone serie testów wykazały, że wyniki klasyfikacji są najlepsze w przypadku fuzji lokalnych deskryptorów i filtrów Gabora oraz w przypadku deskryptora MBLBP [15], [26]. Wyniki uzyskane z wykorzystaniem tego deskryptora są również najbardziej stabilne. Z drugiej strony, wyjątkowo słabe okazały się wyniki uzyskane przy użyciu deskryptorów opartych o fazowe filtry Gabora. W zależności od miar podobieństwa wysoko uplasowały się również lokalne deskryptory takie, jak LBP oraz ILBP [20], wykazując, że mogą być z sukcesem wykorzystywane w systemach, w których duże znaczenie odgrywa różnica wieku. Jednak metody te powinny być wsparte przez inne techniki redukcji wymiaru, podnoszące skuteczność klasyfikacji. Ponadto miary Bray-Curtisa, chi-kwadrat, przecięcia histogramów i Manhattan dały wyraźnie lepsze wyniki niż pozostałe miary biorące udział w teście.

### Deskryptor Chain Code-Based Local Descriptor (CCBLD)

Wyniki badań zostały przedstawione w monografii [1] (rozdział 2) i w artykule [4]. W przeciwieństwie do innych lokalnych deskryptorów, CCBLD nie został zdefiniowany na bazie określonego regionu (jego kształtu i wymiaru). Opis rozpatrywanego piksela wynika z zależności pomiędzy większą liczbą pikseli lub ich bloków. W sposób istotny wpływają na ten opis lokalne właściwości obrazu. Załóżmy, że opis ten rozpoczynamy w pewnym

dowolnym punkcie obrazu, tj. w pikselu oznaczonym  $I(x,y)$ , oraz że w jego krzyżowym otoczeniu istnieje piksel o większej wartości w skali szarości, tj. jeden z pikseli  $I_L(x-1,y)$ ,  $I_U(x,y-1)$ ,  $I_R(x+1,y)$  lub  $I_D(x,y+1)$  ma największą wartość. Pierwsza litera tego kodu łańcuchowego (opisu pikselowego) jest jednym z odpowiednich znaków  $L$ ,  $U$ ,  $R$  lub  $D$ . Proces jest kontynuowany w pikselu o największej wartości i zatrzymuje się, gdy żaden piksel w pewnym otoczeniu krzyżowym nie ma wartości większej. Zauważmy, że proces musi się zakończyć z uwagi na skończoną liczbę pikseli w obrazie. Ponadto nie są możliwe cykle. W przypadku, gdy znalezione są co najmniej dwa maksima, określana jest specjalna reguła wyłaniania następnego kroku. Oczywiście opis piksela może być pustym łańcuchem, gdy żadne maksimum w otoczeniu nie jest znalezione. W ten sam sposób, wykorzystując litery  $L$ ,  $U$ ,  $R$  lub  $D$ , możemy budować łańcuch na podstawie kolejnych minimów. Ponieważ liczba łańcuchów kodów może być znaczna, wprowadza się słownik wyrażzeń. Jeżeli zbudowane słowo nie występuje w słowniku, może być do niego dopasowane najbardziej zbliżone spośród obecnych. Porównanie słów może być realizowane np. z wykorzystaniem odległości Levenshteina [25]. Cały obraz jest opisany w formie skonkatelowanych histogramów słów pochodzących z podobszarów zdjęć. W ten sposób zarówno lokalne, jak i globalne właściwości obrazu są zachowane i poddane dalszemu przetwarzaniu. Formalnie można zapisać deskryptor w postaci

$$B = \left[ c_{1,1}^+, \dots, c_{1,\frac{n}{2}}^+, c_{1,1}^-, \dots, c_{1,\frac{n}{2}}^-, \dots, c_{i,j}^+, \dots, c_{i,j}^-, \dots, c_{r,1}^+, \dots, c_{r,\frac{n}{2}}^+, c_{r,1}^-, \dots, c_{r,\frac{n}{2}}^- \right],$$

gdzie  $i=1, \dots, r$ ,  $j=1, \dots, n/2$  są odpowiednio liczbą podobszarów i liczbą słów w histogramie związanym z podobszarem. Słowa ( $c$ ) utworzone z wykorzystaniem kolejnych minimów są oznaczone przez  $-$ , podczas gdy  $+$  jest stosowany do oznaczenia słów utworzonych przez regułę kolejnych maksimów.

Słownik wyrażzeń jest projektowany w następujący sposób: Losowo wybierane są obrazy, a następnie piksele ze zbioru wylosowanych zdjęć. Klasyfikatorem służącym do porównywania zdjęć jest metoda najbliższego sąsiada korzystająca z jakiegokolwiek miary podobieństwa dwóch histogramów, tj. wektorów postaci  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N)$ ,  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_N) \in \mathbb{R}^N$ .

Powyższa procedura tworzenia opisu obrazu może być łatwo zmodyfikowana (uogólniona) z wykorzystaniem bloków pikseli. Te bloki mogą być reprezentowane przez średnie lub mediany grup pikseli wymiaru  $(2p + 1) \times (2p + 1)$ , mianowicie

$$\bar{I}(x,y) = (I(x-p,y-p) + \dots + I(x,y) + \dots + I(x+p,y+p))/(2p+1)^2.$$

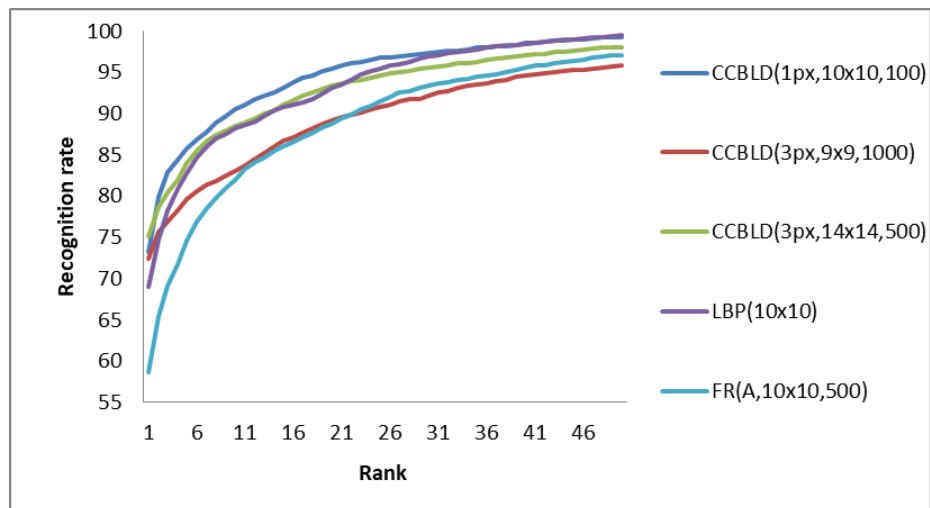
Przykład zaprezentowany jest na Rys. 1. Ostateczny wynik opisu to  $c^- = UUR$  oraz  $c^+ = R$ .

Warto zauważyć, że wyniki klasyfikacji uzyskane przy pomocy deskryptora CCBLD przewyższyły lub, w najgorszym przypadku, były porównywalne z innymi klasycznymi deskryptorami takimi, jak LBP, Full Ranking [16] i ich modyfikacjami dla różnych baz danych takich, jak AT&T, FERET, CAS-PEAL, Essex, FG-NET i in. Ponadto wersja medianowa deskryptora wykazała wysoką odporność na zaszumienie obrazów. Przykładowe wyniki zaprezentowane są na Rys. 2.



96	82	89	67	72	81	82	83	89	107	119	140
<b>70</b>			<b>74</b>			<b>73</b>			<b>96</b>		
76	86	72	74	76	79	59	71	78	74	103	98
80	83	74	69	81	74	66	66	68	74	77	79
76	79		66	76	70	75	90	92	79	96	96
<b>76</b>			<b>76</b>			<b>89</b>					
77	80	72	75	75	90	84	82	95	105	97	88
80	71	68	73	79	83	92	86	102	96	95	99
82	70	66	71	82	93	88	102	89	92	85	86
<b>77</b>			<b>83</b>			<b>91</b>			<b>78</b>		
85	72	72	85	81	95	91	89	91	72	74	86
86	75	83	90	76	78	84	95	80	71	85	72
87	69	84	78	88	102	81	91	71	77	79	68
83	68	79	84	121	79	86	76	82	69	69	68
76	69	80	84	69	69	91	79	87	71	67	76

Rys. 1 Przykład konstrukcji blokowej wersji deskryptora CCBLD

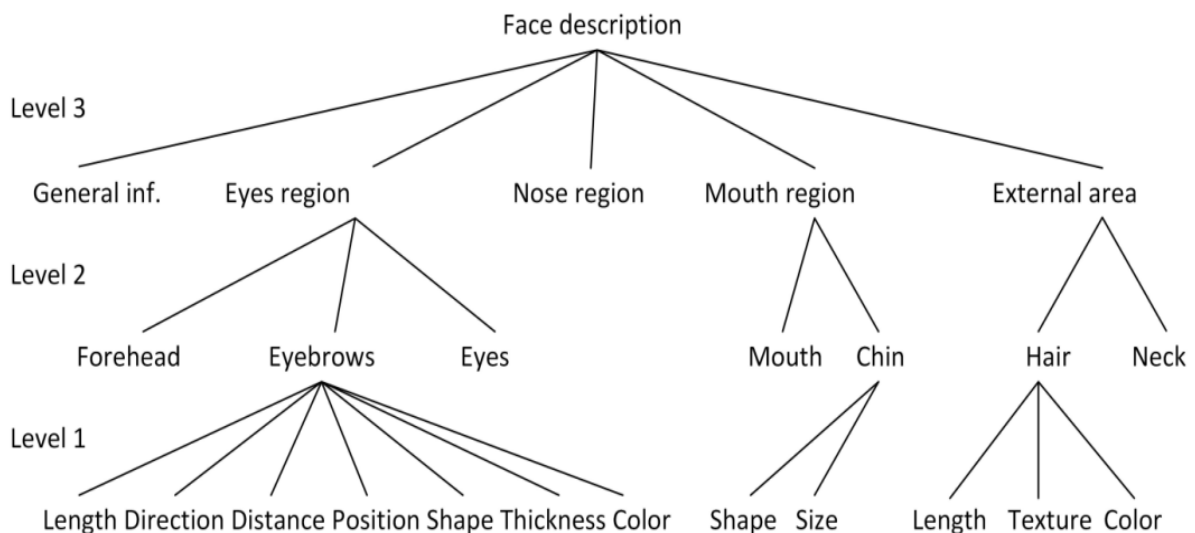


Rys. 2 Przykładowe wyniki dla bazy zdjęć FERET

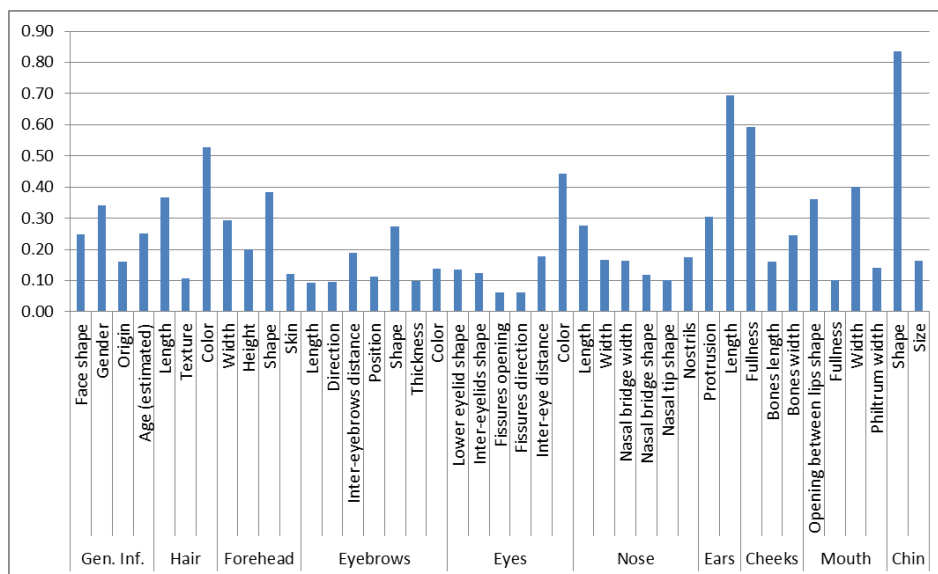
### Deskryptory językowe w rozpoznawaniu twarzy – istotność poszczególnych cech twarzy w procesie rozpoznawania

Wyniki badań w tym zakresie zostały przedstawione w monografii [1] (rozdział 3) i w artykule [5]. Głównym celem badań było znalezienie istotności cech twarzy, które są wykorzystywane w procesie rozpoznawania przez ludzi. Ponadto istotne w tym kontekście było zbadanie efektywności procesu pozyskiwania informacji od ekspertów. Otrzymane wagi dla poszczególnych obszarów twarzy (regionów, części twarzy itp.) mogą być zastosowane w procesach automatycznego rozpoznawania, opartych o schematy agregacji lub fuzji informacji, które są jednym z istotnych trendów w badaniu metod klasyfikacji [12]. Ponadto uzyskane wyniki mogą być stosowane w obszarach związanych tematycznie z kryminologią, psychologią emocji itp.

Innowacyjność metody polega na zastosowaniu Analitycznego Procesu Hierarchicznego wprowadzonego przez Saaty'ego [28]. Tutaj zaproponowano wykorzystanie hierarchii zbudowanej z trzech poziomów. Oznacza to, że informacja o całej twarzy jest umieszczona na szczycie tej hierarchii, natomiast poszczególne cechy twarzy usytuowane są na jej najniższym poziomie. Istotnym jest, że w obliczeniach wykorzystywane są jedynie informacje językowe, które nie są wyrażane w postaci liczb. Aby uzyskać wiarygodne wyniki, do badań z użyciem metody AHP zostali zaangażowani eksperci z zakresu psychologii i kryminologii, posiadający wieloletnie doświadczenie w rozwiązywaniu praktycznych problemów. Ponadto w celu ewaluacji rezultatów, zaprezentowana została oryginalna metoda związana z miarą entropii na każdym z poziomów hierarchii AHP. Wykorzystano ją do zweryfikowania wiarygodności informacji wygenerowanej w procesie AHP. Jak zostało wykazane w części eksperymentalnej, zastosowanie tej techniki podczas pracy z ekspertami oceniającymi poszczególne części twarzy lub oceniającymi jej obszary na wyższym poziomie ogólności, prowadzi do istotnej redukcji błędów (wynikających ze stereotypów w postrzeganiu twarzy) pojawiających się podczas oceny. Warto tutaj podkreślić, że korzystając z metody AHP, wyznaczono istotności 41 części twarzy, jak również przeprowadzono procesy AHP do oceny konkretnych cech twarzy wybranych osób przedstawionych na zdjęciach. Hierarchia wybranych części twarzy jest zaprezentowana na Rys. 3. Przykładowe uzyskane wartości istotności cech twarzy przy udziale ekspertów stosujących metodę AHP przedstawione są na Rys. 4.



Rys. 3 Hierarchia części twarzy (wybrane cechy)



Rys. 4 Uzyskane istotności dla poszczególnych części twarzy (znormalizowane w obrębie grup)

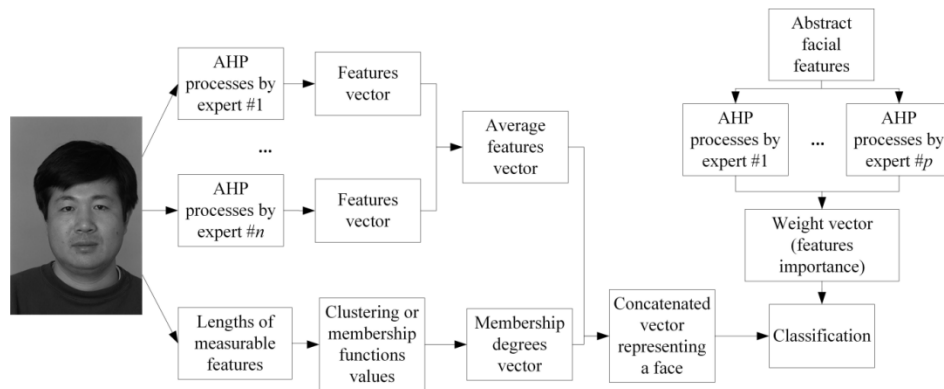
#### Deskrytory językowe i metoda AHP w procesach klasyfikacji twarzy

Wyniki badań zostały zaprezentowane w monografii [1] (rozdział 3) i w artykule [8]. Metoda przedstawiona w tej sekcji może być stosowana z powodzeniem do problemu identyfikacji osób zarówno przez ludzi, jak i przez komputery. Oparta jest ona ponownie o AHP, który jest stosowany do uzyskania wag powiązanych z wybranymi (biorącymi udział w klasyfikacji) cechami twarzy oraz o stopnie przynależności konkretnych cech twarzy do ich językowych atrybutów. Dlatego zakłada się tutaj, że możliwe jest uzyskanie najistotniejszych i najbardziej deskryptywnych cech twarzy, i że mogą one być relatywnie łatwo ocenione przez ludzi analizujących zdjęcia twarzy. Ogólna idea metody polega na tym, że eksperci biorący udział w ocenie cech muszą odpowiedzieć na pytania: w jakim stopniu cecha  $X$  przewyższa (jest bardziej preferowana w opisie) niż cecha  $Y$ ? Można rozszerzyć tę formę pytania do następującej postaci: W jakim stopniu atrybut  $a$  tej cechy jest bardziej preferowany, aniżeli atrybut  $b$ ? Wynik tego procesu to znormalizowany wektor  $\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_N]$ . Składa się on z  $N$  wag związanych z  $N$  rozpatrywanymi cechami. Podobnie można rozpatrywać konkretne obrazy twarzy. Wówczas generowane są wektory postaci  $\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_N$ , które opisują każdą cechę rozpatrywanej twarzy. Mogą być one łatwo skonkatelowane w jeden wektor opisujący całą twarz:  $\mathbf{f} = [\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \dots, \mathbf{f}_N]$ . Wektory tej postaci mogą stanowić wejście do różnych klasyfikatorów, np. najbliższego sąsiada. Dla przykładu, rozważmy cechę długość brwi oraz załóżmy, że odpowiedzi eksperta w procesie porównań parami można zapisać jako: *krótkie – przeciętne*: 1 – 5, *krótkie – długie*: 1 – 9, oraz *przeciętne – długie*: 1 – 7. Wówczas

macierz recyprokalna ma postać  $\begin{bmatrix} 1 & 0.2 & 0.11 \\ 5 & 1 & 0.14 \\ 9 & 7 & 1 \end{bmatrix}$ , a jej unormowany wektor własny

to  $[0.055, 0.173, 0.772]$ . Jego składniki korespondują z językowymi wartościami *krótkie*, *przeciętne* i *długie*. Ten przykład pokazuje, że brwi są raczej długie niż krótkie lub przeciętne pod względem długości. W ten sposób można zbudować wektory opisujące całą twarz. Opisany sposób konstrukcji wektora cech twarzy został w wymienionych pracach uzupełniony o wektory wartości funkcji przynależności rzeczywistych długości do klastrów grupujących mierzalne cechy (*krótkie*, *przeciętne* i *długie*). Alternatywnie zastosowano również metodę optymalizacji z wykorzystaniem roju cząstek (*Particle Swarm Optimization*,

PSO) [22] w celu zminimalizowania tzw. współczynnika niezgodności oceny eksperta (lub grupy ekspertów) w metodzie AHP. Powyższe metody klasyfikacji z udziałem ekspertów na stosunkowo małym zbiorze zdjęć (50 osób) znacznie przewyższają skutecznością inne metody, np. lokalne deskryptory binarne. Warto wspomnieć, że oprócz metody AHP, służącej do uzyskania wartości wektora cech twarzy, wykorzystano też narzędzie koncepcyjnie prostsze, mianowicie mechanizm oceniania cech przez głosowanie grupy ekspertów. Tutaj również wyniki dają wyraźną przewagę metod opartych na udziale ekspertów nad metodami komputerowymi. Ogólny schemat metody przedstawiony jest na Rys. 5.



Rys. 5 Ogólny schemat metody klasyfikacji opartej o deskryptory językowe

#### Graficzne rozszerzenia techniki AHP

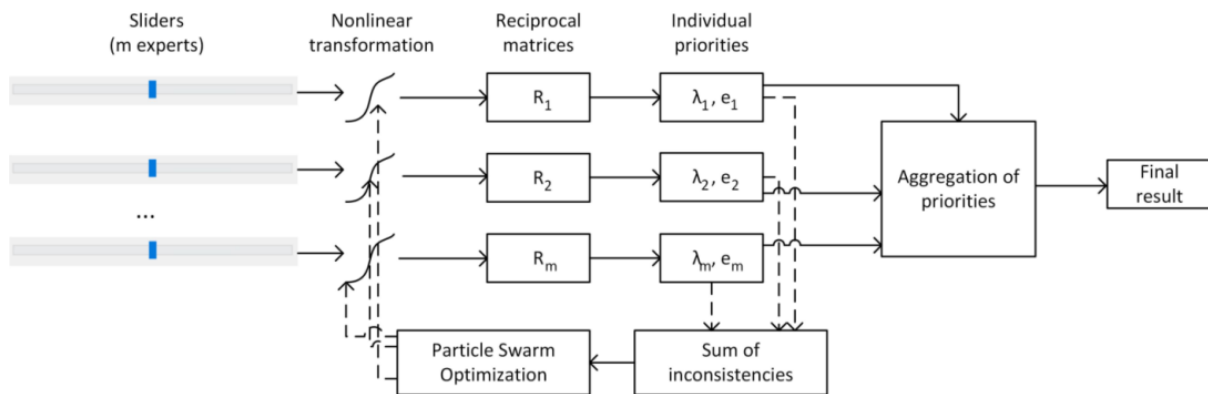
W monografii [1] (rozdział 4) zaprezentowałem nowatorski i innowacyjny sposób rozszerzenia możliwości Analitycznego Procesu Hierarchicznego. W typowym procesie porównywania parami, na którym opiera się AHP, macierze porównań parami są zbudowane na bazie liczbowych wartości danych generowanych przez ekspertów oceniających zbiór alternatyw. Te wartości liczbowe są często liczbami naturalnymi z zakresu 1-9 lub liczbami rozmytymi zbudowanymi z wykorzystaniem tej skali. We wspomnianej pracy wprowadziłem graficzne podejście do metody AHP, które pozwala ekspertom uniezależnić się od tej skali.

Aby uzyskać taki efekt, zaproponowałem wykorzystanie dobrze znanych komponentów graficznego interfejsu użytkownika takich, jak suwak i gałka. Seria eksperymentów z udziałem fanów motoryzacji, seriali, sportu itp. wskazała, że komponenty graficzne znacznie zmniejszają wskaźnik niezgodności AHP (*ang. inconsistency index*). Ponadto, korzystając z PSO, można znaleźć parametry przekształcenia nieliniowego, które przekształca skalę suwaka bądź gałki na wartości macierzy recyprokalnej AHP, co pozwala zachować niską niezgodność odpowiedzi eksperckich, jak również zwrócić w wyniku preferencje wartości bardzo zbliżone do preferencji ekspertów dotyczących poszczególnych par alternatyw (cech). Dwoma modelami przekształceń nieliniowych rozważanymi w pracy [1] były funkcja kawałkami liniowa i kombinacja funkcji sigmoidalnych. Ogólny schemat metody przedstawia Rys. 6.

Opisana metoda została rozszerzona do dwóch suwaków (odpowiadających końcom liczb przedziałowych), trzech suwaków (odpowiadających wierzchołkom liczb trójkątnych) i czterech suwaków (budujących liczby trapezoidalne). Podejście to zostało porównane z metodami opartymi o skalę numeryczną (również dla trzech rodzajów liczb rozmytych) i językową (opisową dla tych samych rodzajów liczb). W dziewięciu przypadkach na szesnaście możliwych, AHP oparty o graficzny interfejs użytkownika, dał najlepszy wynik

(w sensie wskaźnika niezgodności ekspertów) niezależnie od metody agregującej wyniki porównań różnych ekspertów (średnia arytmetyczna składowych wektorów własnych vs. średnia geometryczna elementów macierzy recyprokalnych).

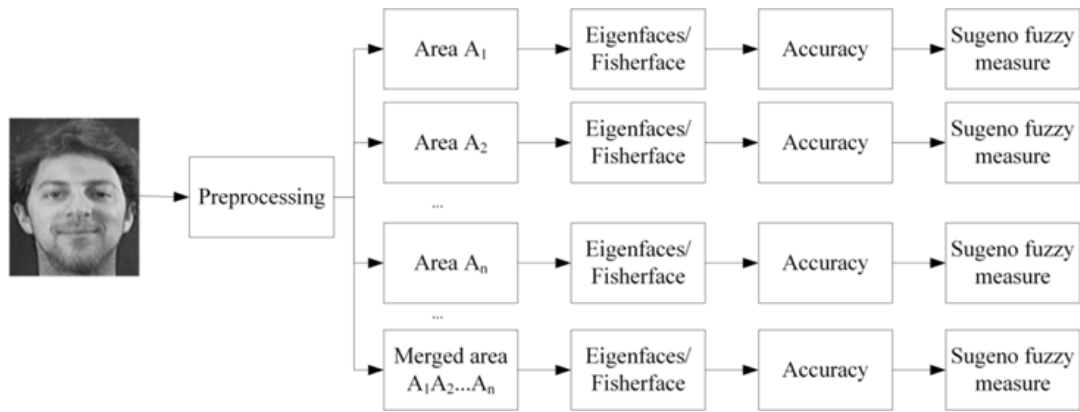
Warto podkreślić, że zaproponowana metoda została z powodzeniem zastosowana do opisu biometrycznych cech twarzy. Na przykładzie takich cech, jak szerokość twarzy lub brwi, wykazano, że pozwala ona lepiej niż tradycyjne AHP ocenić te cechy.



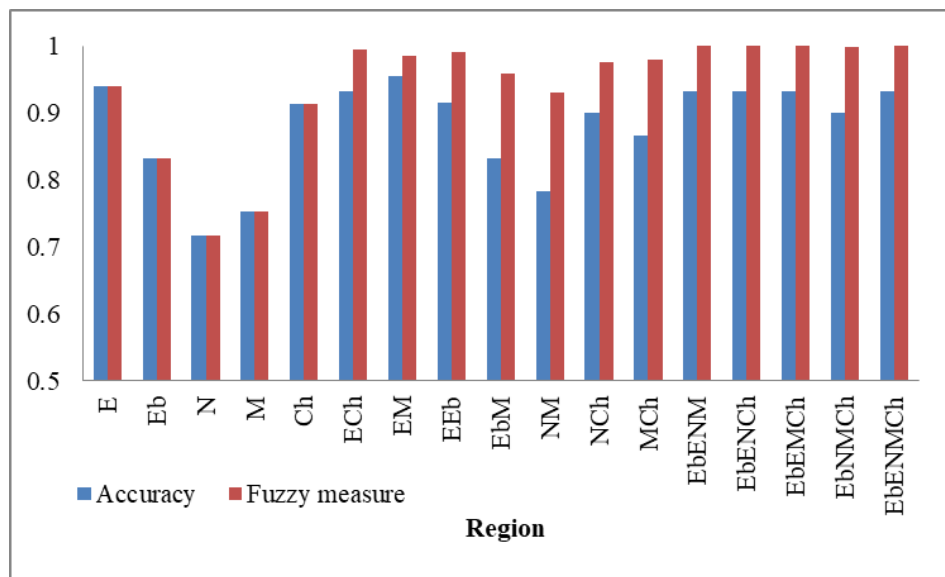
Rys. 6 Ogólny schemat metody

### Zastosowanie miary rozmytej do odzwierciedlenia istotności informacji zawartej w różnych częściach twarzy

W monografii [1] (rozdział 5) oraz artykule [3] zbudowałem miarę rozmytą w oparciu o wyniki eksperymentów komputerowych i psychologicznych oraz porównałem je z wynikami dotyczącymi badań nad procesami rozpoznawania twarzy przez ludzi. Miara rozmyta może odzwierciedlić informację związaną z ważnością (istotnością) poszczególnych obszarów twarzy i ich połączeń lub kombinacji. Informacja ta jest wykorzystywana przez ludzi w celach rozpoznawania innych ludzi. Intuicyjnym faktem jest to, że im więcej cech jest włączonych w proces rozpoznawania twarzy, tym lepsza jest skuteczność metody. Kluczowym czynnikiem jest tutaj własność monotoniczności. Formalnie fakt ten może być odwzorowany z wykorzystaniem miary rozmytej, która bazuje na koncepcji monotoniczności, a jednocześnie eksperymentalnie potwierdzony w celu oceny działania tej miary rozmytej. W sekcji eksperymentalnej rozpatrzono części twarzy takie, jak brwi, oczy, nos, usta, lewe i prawe policzki. Są one jednymi z najbardziej deskryptywnych części twarzy. Do budowy wartości miary rozmytej wykorzystano wyniki badań eksperymentalnych oraz pre-testy (procentowe wartości klasyfikacji) z wykorzystaniem klasycznych metod klasyfikacji (Fisherfaces i Eigenfaces) dla poszczególnych ich części, kombinacji i całych twarzy. Przy okazji zbadano istotność tych części i ich kombinacji w serii testów. Proces budowania wartości miary rozmytej na podstawie wyników klasyfikacji przedstawiony jest na Rys. 7. Natomiast Rys. 8 pokazuje porównanie wyników klasyfikacji z wartościami miary rozmytej, zbudowanej na podstawie wyników badań psychologicznych.



Rys. 7 Proces wyznaczania wartości miary rozmytej

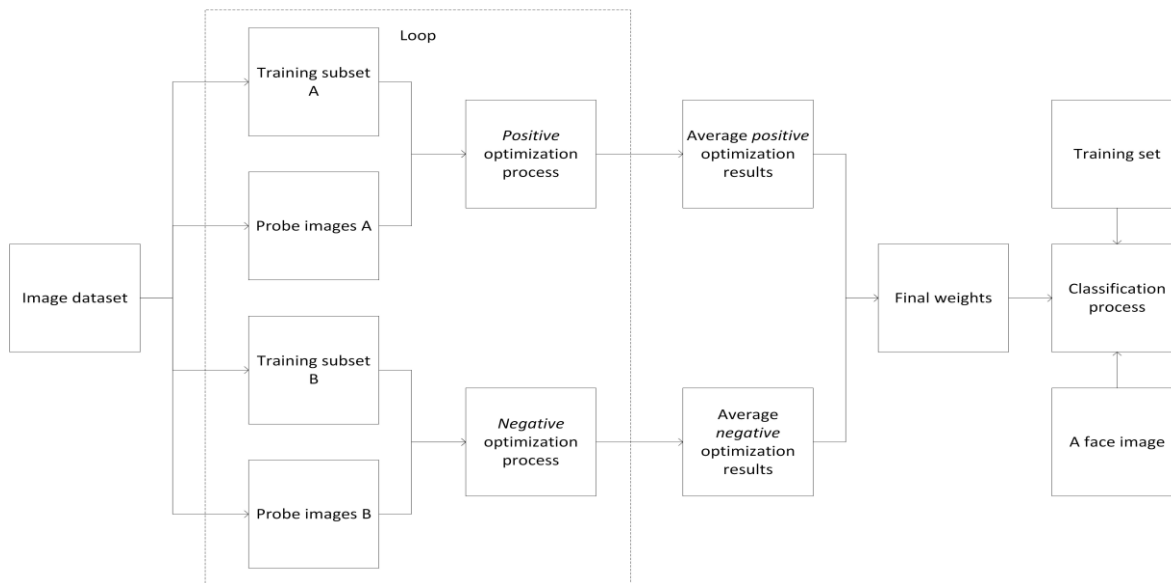


Rys. 8 Wartości miary rozmytej otrzymane na podstawie wyników eksperymentów psychologicznych w porównaniu do wyników klasyfikacji (E – oczy, Eb – brwi, N – nos, Ch – broda)

### Metoda optymalizacji współczynników miary rozmytej w procesie agregacji klasyfikatorów

W pracy [1] (rozdział 5) oraz artykule [6] zaproponowałem metodę znajdowania współczynników (gęstości) miary rozmytej Sugeno przez dogłębne porównanie wyników otrzymanych dla ww. sześciu części twarzy oraz dla różnych kombinacji części twarzy, a także całego jej obszaru. Aby znaleźć te relacje, przetestowane zostały metody Eigenfaces, Fisherfaces, LBP, MBLBP (*Multi-scale Block LBP* [15], [26]), *Full Ranking* [16], CCBLD. Wyniki zostały uzyskane z wykorzystaniem baz zdjęć takich, jak AT&T, FERET, Yale oraz Labeled Faces in the Wild.

Metoda oparta jest na maksymalizacji wartości całki Choqueta (jako operatora agregacji wyników klasyfikacji opartych o klasyfikator najbliższego sąsiada) w przypadku, gdy dwa zdjęcia należą do tej samej klasy oraz na minimalizacji wartości tej całki, gdy zdjęcia należą do różnych klas. W serii eksperymentów udało się wskazać klasy metod, dla których takie *pozytywne* i *negatywne* optymalizacje (z wykorzystaniem PSO) są skuteczne, jak również metody, dla których warto stosować wagi uzyskane z udziałem ocen ekspertów. Ogólny schemat metody przedstawiony jest na Rys. 9.



Rys. 9 Ogólny schemat metody wyznaczania współczynników całki Choqueta w oparciu o *pozytywną* i *negatywną* optymalizację

#### Porównanie funkcji agregujących wyniki klasyfikacji dla poszczególnych części twarzy

Wyniki badań przedstawiono w monografii [1] (rozdział 6) i artykule [9]. Głównym celem pracy było znalezienie najlepszych operatorów agregacji w zastosowaniu do procesu klasyfikacji opartego o wiele klasyfikatorów. W przypadku, gdy korzysta się z najbardziej intuicyjnych metod opartych na klasyfikatorze najbliższego sąsiada, istotny jest wybór miary odległości (podobieństwa) wykorzystywanej w procesie porównania wektorów. Dlatego celem badań było również określenie najlepszych możliwych technik agregacji w zależności od miary odległości stosowanej do porównania wektorów w popularnych klasyfikatorach takich, jak Eigenfaces i Fisherfaces. Do ewaluacji tych metod wykorzystane zostały bazy danych AT&T oraz FERET. Części twarzy, dla których przeprowadzono serię eksperymentów, to regiony brwi, oczu, nosa i ust. Badania objęły swoim zakresem ponad 1000 różnych funkcji agregujących opublikowanych w literaturze przedmiotu. Wyniki są istotne nie tylko z powodu znalezienia najlepszych możliwych funkcji agregujących, ale również dlatego, że pozwoliły określić najbardziej optymalne parametry dla różnych rodzin tych funkcji. Wyniki pokazały, że najbardziej optymalnymi wyborami operatora agregacji są: całka Choqueta, głosowanie, mediana czy funkcja Hamachera. Tabela 1 pokazuje wyniki klasyfikacji w zależności od miary podobieństwa.

Tabela 1 Średnie wyniki klasyfikacji dla mediany (m), głosowania (v) i całki Choqueta (c) w zależności od miary podobieństwa

Name	Bray-Curt	Canberra	Chebyshev	Chi-square	Correlation	Cosine	Euclidean	Manhattan	Med. abs. dif.	Med. sq. dif.	Mod. Eucl.	Mod.Manh.	Weight.cos.	Sq. Euclidean	W. Euclidean	W. Manh.
AT&T database																
m	91.9	89.0	<b>83.9</b>	73.9	92.2	92.3	<b>88.9</b>	<b>87.8</b>	78.0	77.3	<b>86.2</b>	<b>86.7</b>	78.1	<b>88.4</b>	79.7	<b>77.1</b>
v	88.4	83.8	81.6	<b>77.5</b>	88.4	88.6	87.0	86.1	72.2	72.2	86.0	85.5	75.1	87.0	<b>79.8</b>	75.7
c	<b>92.6</b>	<b>91.3</b>	83.3	67.0	<b>92.6</b>	<b>92.7</b>	87.4	86.5	<b>80.2</b>	<b>78.9</b>	81.6	84.8	<b>81.7</b>	86.5	76.7	75.3
FERET database																
m	<b>90.1</b>	83.3	79.0	51.3	90.5	90.7	84.5	82.9	<b>68.4</b>	68.1	83.1	82.9	87.7	84.3	79.9	77.5
v	<b>90.1</b>	<b>83.9</b>	77.8	40.9	<b>90.7</b>	<b>91.0</b>	84.0	82.2	67.5	64.8	79.3	81.3	<b>87.8</b>	82.5	77.0	76.3

### Uogólnienia i rozszerzenia całki Choqueta w procesie agregacji klasyfikatorów

W pracy [27] wprowadzono koncepcję tzw. funkcji  $r$ -rosnącej. Jest to funkcja  $f: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ , która dla wszystkich punktów  $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$  oraz  $p > 0$  spełnia zależność

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq f(x_1 + pr_1, x_2 + pr_2, \dots, x_n + pr_n),$$

gdzie  $r = (r_1, r_2, \dots, r_n) \in [0, 1]^n$ . Ci sami autorzy udowodnili, że jeżeli  $T: [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$  spełnia  $T(x, y) \leq x, T(x, 1) = x, T(0, y) = 0$ ,  $T$  jest  $[0, 1]$ -rosnąca, i jeżeli dla jakiegokolwiek miary rozmytej  $g$  uogólniona całka Choqueta (tzw. funkcja preagregująca) jest funkcją postaci

$$Ch' \int h \circ g(T) = \sum_{1 \leq i \leq n} T(h(x_i) - h(x_{i+1}), g(A_i)),$$

przy założeniu, że

$$h(x_{n+1}) = 0,$$

to można znaleźć taki niezerowy wektor  $r$ , że  $Ch'$  jest  $r$ -rosnąca, spełnia warunki brzegowe funkcji agregacji oraz

$$\min(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq Ch' \leq \max(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Ta własność może sugerować zastosowanie powyższej konstrukcji jako skutecznego agregatora. Dlatego w serii eksperymentów przetestowałem 25 klas funkcji postaci  $Ch'$ , gdzie rolę funkcji  $T$  odgrywają  $t$ -normy zaprezentowane w monografii [11], str. 72, tab. 2.6.

Interesującym wynikiem wspomnianych eksperymentów jest fakt, że tylko funkcja postaci

$$T_\alpha(x, y) = \frac{xy}{(1+(1-x^\alpha)(1-y^\alpha))^{\frac{1}{\alpha}}}$$

dla  $\alpha \geq 3.1$  oraz mediana dają średnie wartości skuteczności lepsze niż całka Choqueta z operatorem produktu pod znakiem całki. Najlepszym wyborem parametru  $\alpha$  dla funkcji  $T_\alpha(x, y)$  jest wartość 9.8.

W monografii [1] (rozdział 6) przedstawiono również wyniki eksperymentów z ostatnio opublikowanymi rozszerzeniami całki Choqueta oraz zaproponowane nowe tego rodzaju rozszerzenia jako agregatory klasyfikatorów. Spośród nich zaproponowana przeze mnie funkcja

$$C_{MC}(x) = \sum_{i=1}^n \left( C(h(x_i), g(A_i)) - C(h(x_{i+1}), g(A_i)) + C(h(x_i) - h(x_{i+1}), g(A_i)) \right)$$

daje najlepsze wyniki (dla baz danych AT&T, FERET, Yale, LFW, PUT, MUCT i metod rozpoznawania twarzy opartych o różne klasyfikatory CCBLD, LBP, MBLBP, Eigenfaces, Fisherfaces i części twarzy lub obrazy całych twarzy).



## Cytowana literatura (prace inne niż autorstwa habilitanta)

- [10] T. Ahonen, A. Hadid, M. Pietikäinen (2004) *Face recognition with Local Binary Patterns*. In: Proceedings of the 8<sup>th</sup> European Conference on Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science **3021**, pp. 469–481
- [11] C. Alsina, M. J. Frank, B. Schweizer (2006) *Associative functions. Triangular norms and copulas*, World Scientific, New Jersey
- [12] D. T. Anderson, G. J. Scott, M. Islam, B. Murray, R. Marcum (2018) *Fuzzy Choquet integration of deep convolutional neural networks for remote sensing*. In: W. Pedrycz, S. M. Chen (Eds.), Computational Intelligence for Pattern Recognition. Studies in Computational Intelligence, vol. 777. Springer, Cham, pp. 1–28
- [13] P. N. Belhumeur, J. P. Hespanha, D. J. Kriegman (1997) *Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection*, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **19**, pp. 711–720
- [14] G. Beliakov, A. Pradera, T. Calvo (2007) *Aggregation functions: A guide for practitioners*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [15] C.-H. Chan, J. Kittler, K. Messer (2007) *Multi-scale Local Binary Pattern histograms for face recognition*. In: S.-W. Lee, S. Z. Li (Eds.), ICB 2007, Lecture Notes in Computer Science **4642**, pp. 809–818
- [16] C. H. Chan, F. Yan, J. Kittler, K. Mikolajczyk (2015) *Full ranking as local descriptor for visual recognition: A comparison of distance metrics on  $s_n$* , Pattern Recognit. **48**, pp. 1328–1336
- [17] M. Gagolewski (2015) *Data fusion. Theory, methods, and applications*, Institute of Computer Science, Polish Academy of Sciences, Warsaw
- [18] M. Grabisch, J.-L. Marichal, R. Mesiar, E. Pap (2009) *Aggregation functions*, Cambridge University Press, Cambridge
- [19] G. B. Huang, H. Lee, E. Learned-Miller (2012) *Learning hierarchical representations for face verification with convolutional deep belief networks*. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on, pp. 2518–2525
- [20] H. Jin, Q. Liu, H. Lu, X. Tong, *Face detection using improved LBP under Bayesian framework*. In: International Conference on Image and Graphics, 2004, pp. 306–309
- [21] T. Kanade (1977) *Computer recognition of human faces*, Birkhauser, Basel
- [22] J. F. Kennedy, R. C. Eberhart, Y. Shi (2001) *Swarm intelligence*, Academic Press, San Diego
- [23] E. P. Klement, R. Mesiar (2005) *Logical, algebraic, analytic, and probabilistic aspects of triangular norms*, Elsevier, Amsterdam
- [24] K.-C. Kwak, W. Pedrycz (2005) *Face recognition: A study in information fusion using fuzzy integral*, Pattern Recognit. Lett. **26**, pp. 719–733
- [25] V. I. Levenshtein (1965) *Binary codes with correction for deletions and insertions of the symbol 1*, Probl. Peredachi Inf. **1**, pp. 12–25
- [26] S. Liao, X. Zhu, Z. Lei, L. Zhang, S. Z. Li (2007) *Learning multi-scale block Local Binary Patterns for face recognition*. In: Advances in Biometrics, International Conference, ICB 2007, Lecture Notes in Computer Science **4642**, pp. 828–837
- [27] G. Lucca, J. A. Sanz, G. P. Dimuro, B. Bedregal, R. Mesiar, A. Kolesárová, H. Bustince (2015) *The notion of pre-aggregation function*. In: V. Torra, Y. Narakawa (Eds.), MDAI 2015, LNAI **9321**, pp. 33–41

- [28] T. L. Saaty (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York
- [29] T. L. Saaty, L. G. Vargas (2012) *Models, methods, concepts & applications of the Analytic Hierarchy Process*, Springer, New York
- [30] M. Sugeno (1974) *Theory of fuzzy integral and its applications*, Dissertation, Tokyo Institute of Technology, Tokyo
- [31] Y. Sun, X. Wang, X. Tang (2014) *Deep learning face representation from predicting 10,000 classes*. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on, pp. 1891–1898
- [32] M. Turk, A. Pentland (1991) *Eigenfaces for recognition*, J. Cogn. Neurosci. **3**, pp. 71–86
- [33] J. Wright, A. Y. Yang, A. Ganesh, S. S. Sastry, Y. Ma (2009) *Robust face recognition via sparse representation*, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **31**, pp. 210–227
- [34] R. R. Yager, J. Kacprzyk (2012) *The ordered weighted averaging operators: Theory and applications*, Springer Science+Business Media, New York

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### Inne publikacje po doktoracie:

- [1] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2018) On some aspects of an aggregation mechanism in face recognition problems, in: L. Rutkowski, R. Scherer, M. Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, J. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing. ICAISC 2018. Lecture Notes in Computer Science* **10842**, pp. 148-156, doi: 10.1007/978-3-319-91262-2\_14  
 Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji klasyfikatorów opartych o deskrytory językowe i numeryczne, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu (metody agregacji, odległości dla klasyfikatorów najbliższego sąsiada dla metod CCBLD, Fisherfaces i Eigenfaces), analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).
- [2] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2018) An application of graphic tools and analytic hierarchy process to the description of biometric features, in: L. Rutkowski, R. Scherer, M. Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, J. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing. ICAISC 2018. Lecture Notes in Computer Science* **10842**, pp. 137-147, doi: 10.1007/978-3-319-91262-2\_13  
 Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 60%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod związanych z optymalizacją indeksu zgodności AHP, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).
- [3] A. Kiersztyn, P. Karczmarek, W. Pedrycz (2018) Multi-level aggregation in face recognition, in: L. Rutkowski, R. Scherer, M. Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, J. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing. ICAISC 2018. Lecture Notes in Computer Science* **10841**, pp. 645-656, doi: 10.1007/978-3-319-91253-0\_60  
 Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 15%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), udziale w opracowaniu tekstu manuskryptu.
- [4] A. Kiersztyn, P. Karczmarek, K. Zhadkovska, W. Pedrycz (2018) Determination of a matrix of the dependencies between features based on the expert knowledge, in:

L. Rutkowski, R. Scherer, M. Korytkowski, W. Pedrycz, R. Tadeusiewicz, J. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing. ICAISC 2018. Lecture Notes in Computer Science* **10842**, pp. 570-578, doi: 10.1007/978-3-319-91262-2\_50

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), udziale w opracowaniu tekstu manuskryptu.

- [5] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2017) An evaluation of fuzzy measure for face recognition, in: L. Rutkowski, M. Korytkowski, R. Scherer, R. Tadeusiewicz, L. Zadeh, J. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing. ICAISC 2017. Lecture Notes in Computer Science* **10245**, pp. 668-676, doi: 10.1007/978-3-319-59063-9\_60

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji i optymalizacji parametrów całki Choqueta, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu (metody agregacji, odległości dla klasyfikatorów najbliższego sąsiada dla metod CCBLD, Fisherfaces i Eigenfaces), analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).

- [6] M. Dolecki, P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2016) Utility functions as aggregation functions in face recognition, in: *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI 2016)*, pp. 1-6, doi: 10.1109/SSCI.2016.7850120

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 40%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod agregacji, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu (metody agregacji, odległości dla klasyfikatorów najbliższego sąsiada dla metod Fisherfaces i Eigenfaces), analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).

- [7] A. Kiersztyn, P. Karczmarek, P. Rutka, W. Pedrycz (2016) Quantitative methods for linguistic descriptors in face recognition, in: A. Zapała (ed.), *Recent Developments in Mathematics and Informatics, Contemporary Mathematics and Computer Science*, Vol. **1**, Wydawnictwo KUL, Lublin, pp. 123-138

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami).

- [8] M. Dolecki, P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz (2016) Face recognition by humans performed on basis of linguistic descriptors and neural networks, in: *Proceedings of 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2016)*, pp. 5135-5140, doi: 10.1109/IJCNN.2016.7727877

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 40%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, współudziale w pozyskaniu wyników eksperymentów z udziałem ekspertów, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, analiza wyników).

- [9] A. Kiersztyn, P. Karczmarek, M. Dolecki, W. Pedrycz (2016) Linguistic descriptors and fuzzy sets in face recognition realized by humans, in: *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2016)*, pp. 1120-1126, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2016.7737813

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 30%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, współdziałanie w pozyskaniu wyników eksperymentów z udziałem ekspertów, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, analiza wyników).

- [10] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz, M. Dolecki (2016) Linguistic descriptors and analytic hierarchy process in face recognition realized by humans, in: L. Rutkowski, M. Korytkowski, R. Scherer, R. Tadeusiewicz, L. A. Zadeh, J. M. Zurada (eds.), *Artificial Intelligence and Soft Computing, 15th International Conference, ICAISC 2016, Zakopane, Poland, June 12-16, 2016, Proceedings, Part I, Lecture Notes in Artificial Intelligence* **9692**, pp. 584-596, doi: 10.1007/978-3-319-39378-0\_50

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji metod klasyfikacji w oparciu o dane pochodzące od ekspertów, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu i współdziałanie w pozyskaniu wyników eksperymentów z udziałem ekspertów, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).

- [11] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, W. Pedrycz, P. Rutka (2016) Chain code-based local descriptor for face recognition, in: R. Burduk, K. Jackowski, M. Kurzyński, M. Woźniak, A. Żołnierek (eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2015*, pp. 307-316, doi: 10.1007/978-3-319-26227-7\_29

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, opracowaniu koncepcji deskryptora CCBLD, implementacji tego deskryptora, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu ich, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, większość rysunków).

- [12] P. Karczmarek, A. Kiersztyn, P. Rutka, W. Pedrycz (2015) Linguistic descriptors in face recognition: A literature survey and the perspectives of future development, *SPA 2015 Signal Processing, Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications. Conference Proceedings (2015)*, Poznań, pp. 98-103, doi: 10.1109/SPA.2015.7365141

**Publikacja indeksowana w WoS.**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 50%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu artykułu przeglądowego i opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, większość rysunków).

- [13] P. Karczmarek, D. Pylak, M. A. Sheshko (2016) The full proof of the estimates of an error of approximate solution of a singular integral equation on the half-plane. Part I, in: A. Zapała (ed.), *Recent Developments in Mathematics and Informatics, Contemporary Mathematics and Computer Science, Vol. 1*, Wydawnictwo KUL, Lublin, pp. 103-122

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, sformułowaniu i udowodnieniu twierdzeń i lematów oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, opis wyników).

- [14] P. Karczmarek, M. A. Sheshko, P. Wójcik (2016) Singular integral equation on the unbounded strip, in: A. Zapała (ed.), *Recent Developments in Mathematics and Informatics, Contemporary Mathematics and Computer Science, Vol. 1*, Wydawnictwo KUL, Lublin, pp. 87-102

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, sformułowaniu i udowodnieniu twierdzeń, obliczeniach

przykładowych oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, opis wyników).

- [15] D. Pylak, P. Karczmarek (2015) The full proof of the error estimates of approximate solutions of a singular integral equation on the quarter plane, *Computer Algebra Systems in Teaching and Research* **5**, pp. 198-208

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 15%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, przeprowadzeniu części obliczeń przykładowych oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałym autorem).

- [16] M. A. Sheshko, P. Karczmarek, D. Pylak, P. Wójcik (2014) Application of Faber polynomials to the approximate solution of a generalized boundary value problem of linear conjugation in the theory of analytic functions, *Computers and Mathematics with Applications* **67** (8), pp. 1474-1481, doi: 10.1016/j.camwa.2014.02.012

**IF: 1.86, 5-Year IF: 2.08, IF w roku pub.: 1.697, lista ministerialna A (40 pkt. za lata 2013-2016, 40 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami).

- [17] P. Karczmarek, D. Pylak (2013) Singular integral equations with multiplicative regular and Cauchy kernels, *Computer Algebra Systems in Teaching and Research* **4** (1), pp. 24-38

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, sformułowaniu twierdzeń i przeprowadzeniu ich dowodów, rozwiązaniu dwóch przykładowych równań i opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z drugą autor).

- [18] P. Karczmarek, D. Pylak, P. Wójcik (2013) Singular integral equations with multiplicative Cauchy-type kernels, *Fasciculi Mathematici* **50**, pp. 77-90

**Lista ministerialna B (10 pkt. za lata 2013-2016, 9 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, sformułowaniu twierdzeń i przeprowadzeniu ich dowodów, rozwiązaniu części przykładowych równań i opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami) oraz przygotowaniu odpowiedzi na uwagi anonimowych recenzentów.

- [19] P. Wójcik, M. A. Sheshko, D. Pylak, P. Karczmarek (2012) Solution of a class of the first kind singular integral equation with multiplicative Cauchy kernel, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio A. Mathematica* **66** (2), pp. 93-105, doi: 10.2478/v10062-012-0016-y

**Lista ministerialna B (8 pkt. za lata 2013-2016, 8 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami).

- [20] P. Karczmarek (2011) Numerical solution of singular integral equation in the half-plane, in: L. Gadowski, M. Jakubiak, A. N. Prokopenya (Eds.), *Computer Algebra Systems in Teaching and Research. Differential Equations, Dynamical Systems and Celestial Mechanics*, Wydawnictwo Collegium Mazovia, Siedlce, pp. 46-57

Jestem jedynym autorem tej pracy.

- [21] P. Karczmarek, D. Pylak, M. A. Sheshko (2016) The full proof of the estimates of an error of approximate solution of a singular integral equation on the half-plane. Part II, in: A. M. Zapała (ed.), *Recent Developments in Mathematics and Informatics, Contemporary Mathematics and Computer Science*, Vol. **2**, Wydawnictwo KUL, Lublin, pp. 39-50

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań, sformułowaniu i udowodnieniu twierdzenia

zaprezentowanego w artykule oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami, przegląd literatury, cele pracy, opis wyników).

- [22] D. Pylak, P. Karczmarek, P. Wójcik (2018) Approximate solution of a singular integral equation with a Cauchy kernel on the Euclidean plane, *Computational Methods in Applied Mathematics* **18** (4), pp. 741-752, doi: 10.1515/cmam-2017-0052

**IF: 0.658, lista ministerialna A (20 pkt. za lata 2013-2016, 20 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami).

- [23] D. Pylak, P. Karczmarek, M. A. Sheshko (2010) Cauchy-type singular integral equation with constant coefficients on the real line, *Applied Mathematics and Computation* **217** (7), pp. 2977-2988, doi: 10.1016/j.amc.2010.08.031

**IF: 2.3, 5-Year IF: 2.108, IF w roku pub.: 1.536, lista ministerialna A (40 pkt. za lata 2013-2016, 35 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań oraz opracowaniu tekstu manuskryptu (wspólnie z pozostałymi autorami).

### **Publikacje przed doktoratem:**

- [1] P. Karczmarek (2008) Generalized characteristic singular integral equation with Hilbert kernel, *Opuscula Mathematica* **28** (3), pp. 277-284

**Lista ministerialna B (11 pkt. za lata 2013-2016, 11 pkt. w roku 2016)**

Jestem jedynym autorem pracy.

- [2] P. Karczmarek (2008) Approximate solution of a singular integral equation with a multiplicative Cauchy kernel in the half-plane, *Computational Methods in Applied Mathematics* **8** (2) 143-154, doi: 10.2478/cmam-2008-0010

**IF: 0.658, lista ministerialna A (20 pkt. za lata 2013-2016, 20 pkt. w roku 2016)**

Jestem jedynym autorem pracy.

- [3] P. Karczmarek (2008) Application of Chebyshev and trigonometric polynomials to the approximation of a solution of a singular integral equation with a multiplicative Cauchy kernel in the half-plane, *Opuscula Mathematica* **28** (2), pp. 129-136

**Lista ministerialna B (11 pkt. za lata 2013-2016, 11 pkt. w roku 2016)**

Jestem jedynym autorem pracy.

- [4] P. Karczmarek (2008) Singular integral equation with a multiplicative Cauchy kernel in the half-plane, *Opuscula Mathematica* **28** (1), pp. 63-72

**Lista ministerialna B (11 pkt. za lata 2013-2016, 11 pkt. w roku 2016)**

Jestem jedynym autorem pracy.

- [5] P. Karczmarek, D. Pylak, M. A. Sheshko (2006) Application of Jacobi polynomials to approximate solution of a singular integral equation with Cauchy kernel, *Applied Mathematics and Computation* **181** (1), pp. 694-707, doi: 10.1016/j.amc.2006.01.054

**IF: 2.3, 5-Year IF: 2.108, IF w roku pub.: 0.816, lista ministerialna A (40 pkt. za lata 2013-2016, 35 pkt. w roku 2016)**

Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%. Polegał on na uczestnictwie w opracowaniu koncepcji i zakresu badań opisanych w artykule, implementacji algorytmów, ustawieniu parametrów eksperymentów, ich przeprowadzeniu, analizie wyników (wspólnie z pozostałymi autorami), opracowaniu tekstu manuskryptu (przeгляд literatury, cele pracy, opis algorytmów, analiza wyników, konkluzje, rysunki).

W pracach opublikowanych po doktoracie [1]-[12] zawarte zostały wyniki związane z tematyką osiągnięcia habilitacyjnego, wydane w materiałach pokonferencyjnych lub monografiach wieloautorskich, w których habilitant albo nie był głównym autorem [3],

[4], [6], [7], [8], [9], albo w których zawarte zostały wyniki przeglądowe [12] lub wyniki wstępne badań [1], [2], [5], [10], [11]. Pozostałe prace [13]–[23] zawierają wyniki uzyskane w trakcie pracy nad doktoratem (wcześniej niepublikowane) lub będące kontynuacją badań autora prowadzonych w zakresie prac Katedry Równań Różniczkowych i Całkowych KUL, dotyczących metod dokładnych i numerycznych rozwiązywania równań całkowych oraz zagadnień brzegowych teorii funkcji analitycznych.

Ponadto za swoje osiągnięcia naukowo-badawcze uważam:

1. Pozyskanie i kierownictwo w grantie Deskryptory lingwistyczne w rozpoznawaniu twarzy, NCN, 2014/13/D/ST6/03244, Sonata 7, 23.02.2015–22.08.2017, budżet projektu: 303960 PLN
2. Pozyskanie i kierownictwo (po stronie polskiej) w grantie BIG-SMART-LOG (The Use of Big Data Analytics for Process Modelling in Smart Logistics Operations), NCN, CHIST-ERA, 02.2019-02.2021 (konsorcjum z Ekol Lojistik, Technology Group, Istanbul Şehir University, Centre for Research and Technology Hellas, Information Technologies Institute (ITI), Holisun srl), budżet projektu: 349240 PLN
3. Wykonawstwo w projekcie: Architectures of hybrid face recognition for systems of national safety, Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, Strategic Project Grant, 2011 – 2012, Edmonton, University of Alberta, we współpracy z Global Biometrics Inc.
4. Nagrody Rektora KUL (indywidualne IV stopnia w latach 2014, 2015, zespołowe IV stopnia w latach 2016, 2017)
5. Członkostwo w redakcji czterech czasopism, w tym International Journal of Machine Intelligence and Sensory Signal Processing
6. Członkostwo w komitetach programowych konferencji
  - 6.1. The Thirteenth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI 2019), June 30 – July 04, 2019, Rome, Italy
  - 6.2. 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2019), June 23-26, 2019, New Orleans, USA
  - 6.3. The 2019 International Conference on Computational Intelligence, Information Technology and Systems Research, June 13-15, 2019, Lublin
  - 6.4. WorldCIST'19 - 7th World Conference on Information Systems and Technologies, 16 - 19 April 2019, La Toja Island, Galicia, Spain
  - 6.5. The First International Symposium on Information and Future Technologies (ISIFut), 20-22 March, 2020, Marrakech, Morocco
  - 6.6. Conference on Computational Intelligence and Granular Computing for Computer Vision and Image Understanding (CIGC), May 22-24, 2018, Lublin
  - 6.7. International Conference on Smart Multimedia (ICSM 2018), August 24-26, 2018, Toulon, France
  - 6.8. The Thirteenth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI 2018), June 24 - 28, 2018 - Venice, Italy
  - 6.9. The 2nd Annual International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering (AICE2018), May 18<sup>th</sup> - 20<sup>th</sup>, 2018, Xi'an, China
  - 6.10. WorldCist'18 - 6th World Conference on Information Systems and Technologies, 27 - 29 March 2018, Naples, Italy
  - 6.11. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2017), October 5-8, 2017, Banff, Canada
  - 6.12. WorldCist'17 - 5th World Conference on Information Systems and Technologies, Porto Santo Island, 11 - 13 April 2017, Madeira, Portugal

- 6.13. WorldCist'16 - 4th World Conference on Information Systems and Technologies, 22-24 March 2016, Recife, PE, Brazil
- 6.14. International Conference on Software, Multimedia and Communication Engineering (SMCE2015), September 20-21, 2015, Hong Kong, China
- 6.15. WorldCIST'15 - 3rd World Conference on Information Systems and Technologies, April 1-3, 2015, Ponta Delgada, São Miguel, Azores, Portugal
- 6.16. The 2014 World Conference on Information Systems and Technologies (WorldCIST'14), April 15-18, Madeira, Portugal
- 6.17. The 2013 World Conference on Information Systems and Technologies (WorldCIST'13), March 27-30, 2013, Algarve, Portugal
7. Członkostwo w komitetach organizacyjnych konferencji
  - 7.1. The 2019 International Conference on Computational Intelligence, Information Technology and Systems Research, June 13-15, 2019, Lublin
  - 7.2. Conference on Computational Intelligence and Granular Computing for Computer Vision and Image Understanding (CIGC), May 22-24, 2018, Lublin
8. Ponad 340 recenzji manuskryptów dla czasopism i materiałów konferencyjnych, m.in. Applied Soft Computing, Expert Systems with Applications, Fuzzy Sets and Systems, Granular Computing, IEEE Transactions on Cybernetics, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, IEEE Transactions on Image Processing, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, Information Fusion, Information Sciences, International Journal of Fuzzy Systems, Pattern Recognition, Soft Computing
9. Recenzje wniosków projektowych dla Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (ocena wniosków w Programie Operacyjnym Innowacyjny Rozwój i w Programie Operacyjnym Wiedza Edukacja Rozwój)
10. Dwadzieścia referatów i prezentacji na konferencjach międzynarodowych

18.02.2019, Paweł Nawarowski