

dr inż. Michał Bereta
Zakład Inteligencji Obliczeniowej
Instytut Informatyki
Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki
Politechnika Krakowska
Scopus Author ID: 36757629000
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7153-980X>

Załącznik nr 3
do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
Autoreferat w języku polskim

1. Imię i nazwisko

MICHAŁ BERETA

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

Stopień **doktora nauk technicznych w zakresie informatyki** – tytuł rozprawy doktorskiej: “Application of Artificial Immune Systems to classification and data analysis.” (w j. angielskim), wrzesień 2008, Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Promotor w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński,

Recenzenci w przewodzie doktorskim: prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz, prof. dr hab. inż. Sławomir Wierzchoń.

Tytuł zawodowy **magistra inżyniera** – temat pracy magisterskiej „Rozpoznawanie twarzy za pomocą sieci neuronowych” (promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński), 2004, Politechnika Krakowska, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, kierunek Modelowanie Komputerowe.

Tytuł zawodowy **inżyniera** – temat pracy inżynierskiej “Using Image Processing Techniques for Extracting Trees from Images” (promotor Kalevi Pietikäinen), 2003, stypendium naukowe IT PRO III na Politechnice w Jyväskylä (Finland/Finlandia), Wydział Inżynierii i Technologii.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

październik 2004 – obecnie:

Zakład Inteligencji Obliczeniowej, Instytut Informatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska

październik 2008 – 2010: zastępca Dyrektora ds. Badań i Rozwoju w Instytucie Informatyki

październik 2008 – obecnie: adiunkt

2004 – 2008: asystent

2010 – 2012

Stypendium podoktorskie na University of Alberta, Edmonton, Kanada

Program badawczy oraz rozwój oprogramowania związanego z technikami rozpoznawania twarzy.

marzec – listopad 2003

Alfa Forest Oy – Jyväskylä (Finlandia)

Programista - praktykant, rozwój oprogramowania w ramach pracy inżynierskiej “Using Image Processing Techniques for Extracting Trees from Images” na Politechnice w Jyväskylä.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a. Tytuł osiągnięcia naukowego

Rozwój metod inteligencji obliczeniowej w wybranych zadaniach klasyfikacji i optymalizacji.

b. Publikacje w recenzowanych czasopismach i materiałach konferencyjnych

Dotyczące bezpośrednio osiągnięcia

[1] M. Bereta, W. Pedrycz, and M. Reformat, “Local descriptors and similarity measures for frontal face recognition: A comparative analysis,” *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 24, no. 8, pp. 1213–1231, 2013.

[2] M. Bereta, P. Karczmarek, W. Pedrycz, and M. Reformat, “Local descriptors in application to the aging problem in face recognition,” *Pattern Recognition*, vol. 46, no. 10, pp. 2634–2646, Oct. 2013.

[3] M. Bereta, W. Pedrycz, and M. Reformat, “Analysis and design of rank-based classifiers,” *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 8, pp. 3256–3265, 2013.

[4] M. Bereta, “Entropy-based regularization of AdaBoost,” *Computer Assisted Methods in Engineering and Science*, vol. 24, no. 2, pp. 89–100, 2017.

[5] M. Bereta, “Monte Carlo Tree Search Algorithm for the Euclidean Steiner Tree Problem,” *Journal of Telecommunications and Information Technology*, no. 4, pp. 71–81, 2017.

[6] M. Bereta, “Baldwin effect and Lamarckian evolution in a memetic algorithm for Euclidean Steiner tree problem,” *Memetic Computing*, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12293-018-0256-7>, online first.

Inne po doktoracie

[7] M. Bereta and T. Burczyński, “Artificial immune system based classification of high-dimensional biological data,” in *Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control with Application to Industrial and Societal Problems [EUROGEN 2009]*, T. Burczynski and J. Périaux, Eds. CIMNE, Barcelona, 2011, pp. 9–20.

[8] T. Burczynski, M. Bereta, A. Poteralski, and M. Szczepanik, “Immune Computing: Intelligent Methodology and Its Applications in Bioengineering and Computational Mechanics,” *Computer Methods in Mechanics*, vol. 1, pp. 165–181, 2010.

[9] M. Bereta and T. Burczyński, “Evolving ensembles of linear classifiers by means of clonal selection algorithm,” *Control and Cybernetics*, vol. 39, no. 2, pp. 325–342, 2010.

[10] M. Bereta and T. Burczyński, "Immune K-means and negative selection algorithms for data analysis," *Information Sciences*, vol. 179, no. 10, pp. 1407–1425, 2009.

Przed doktoratem

[11] M. Bereta and T. Burczyński, "Comparing binary and real-valued coding in hybrid immune algorithm for feature selection and classification of ECG signals," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 20, no. 5, pp. 571–585, 2007.

[12] M. Bereta and T. Burczyński, "Combining negative selection with immune K-means algorithm for improving the support vector machines method," *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Elektronika*, vol. z. 160, pp. 25–33, 2007.

[13] M. Bereta and T. Burczyński, "Biradial functions as flexible detectors in negative selection algorithms," in *Recent developments in Artificial Intelligence Methods (AI-METH Series)*, 2007, pp. 9–20.

[14] M. Bereta and T. Burczyński, "Zastosowanie sztucznych systemów immunologicznych do wykrywania anomalii w sygnałach EKG," in *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna. XV Krajowa Konferencja Naukowa*, 2007.

[15] M. Bereta and T. Burczynski, "MAICS: Multilevel artificial immune classification system," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 4029 LNAI, pp. 563–572, 2006.

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

Motywacja

Prace zaprezentowane w tym autoreferacie dotyczą kilku aspektów inteligencji obliczeniowej. Jako cykl publikacji prezentują różnorodne podejścia do rozwiązywania wybranych problemów inteligencji obliczeniowej, tj. opracowywania systemów uczących się na danych oraz rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Większość z nich dotyczy problematyki opracowania systemu klasyfikacyjnego bądź to w konkretnym zadaniu (rozpoznawania twarzy) bądź w szerszym ujęciu dotyczącym zazwyczaj prób poprawy ogólnej jakości danej metody klasyfikacyjnej (takiej jak *AdaBoost*). Są wśród nich również prace dotyczące metod stricte optymalizacyjnych (w problemie Steinera). Każda z przedstawionych prac sama w sobie w opinii autora wnosi cenne oryginalne idee i/lub wyniki. Mimo pewnej różnorodności przedstawionych opracowań naukowych, istnieją zasadnicze podobieństwa metodologiczne co do rozwoju prezentowanych metod oraz podejścia naukowego. W dalszej części tego opracowania przedstawiono zarówno genezę tych prac, ich indywidualne znaczenie w dyscyplinie informatyki, jak również podobieństwa między nimi, istniejące niejako na wyższym poziomie ich analizy.

Do zgłoszonego osiągnięcia zaliczono publikacje od [1] do [6].

Za wspólne źródło i motywację do opracowania wszystkich prezentowanych publikacji uznać można zainteresowania habilitanta metodami uczenia maszynowego, w szczególności algorytmami uczenia klasyfikatorów oraz rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Praca magisterska habilitanta dotyczyła metod rozpoznawania twarzy z wykorzystaniem sieci

neuronowych. Z wielkim zainteresowaniem śledzi on aktualny rozwój metod uczenia głębokiego (ang. *deep learning*), gdyż metody te wyrastają bezpośrednio z technik, z którymi się wówczas zetknął. Z kolei praca doktorska dotyczyła rozwoju sztucznych systemów immunologicznych w problemach klasyfikacji i analizy danych. Zaowocowała ona wieloma ciekawymi i oryginalnymi algorytmami (przykładowo do klasyfikacji sygnałów EKG [11]), a publikacje je prezentujące były i są nadal wielokrotnie cytowane. Sztuczne systemy immunologiczne są również znanymi metodami optymalizacji, stąd problemy optymalizacyjne zawsze pozostawały w kręgu zainteresowań habilitanta.

Z powyższego opisu wynika, iż przedstawione w osiągnięciu prace są logiczną kontynuacją zainteresowań autora. Łączy je jego fascynacja metodami inteligencji obliczeniowej, które nie przestają zadziwiać swoimi osiągnięciami. Jednocześnie nie jest to dziedzina zamknięta, wciąż powstają nowe opracowania, a osiągnane obecnie wyniki jeszcze przed paroma laty były niewyobrażalne. W opinii habilitanta, przedstawione prace wnoszą wartościowy wkład w rozwój informatyki.

Cele naukowe

Jako główny cel naukowy, wspólny wszystkim prezentowanym pracom, uznać można opracowanie nowoczesnych metod inteligencji obliczeniowej w zakresie metod klasyfikacji i optymalizacji. Szczególne miejsce zajmuje między nimi problem identyfikacji twarzy, szczególnie w trudnym przypadku, gdzie poprawnej identyfikacji pragniemy dokonać mimo znaczącego upływu czasu pomiędzy wykorzystywanymi zdjęciami. Nie brakuje również opracowań bardziej ogólnych metod, które przydatne będą w dowolnych problemach klasyfikacji. Dodatkowo, przedstawione zostaną również autorskie podejścia do problemu optymalizacyjnego Steinera.

Szczegółowy opis osiągnięć naukowych

Prace [1] oraz [2] dotyczą zastosowania tzw. lokalnych deskryptorów w problemie rozpoznawania twarzy. Aby lepiej zrozumieć motywację i znaczenie wyników zaprezentowanych w przytoczonych pracach, należy najpierw sprecyzować sam problem i wskazać jego cechy, które stanowią o jego unikalnych trudnościach w porównaniu do innych problemów klasyfikacyjnych.

Rozpoznawanie twarzy to termin dość ogólny i niewystarczająco precyzyjnie określa jaki jest cel opracowywanego systemu klasyfikacyjnego. Pod tym ogólnym terminem kryje się cała rodzina problemów. Można zatem mówić o detekcji twarzy, gdzie zadaniem systemu jest wykrycie czy w danym obrazie jest twarz lub twarze, a jeśli tak, to gdzie są zlokalizowane. W najbardziej ogólnym ujęciu (dowolna liczba twarzy, dowolna ich orientacja oraz skala) jest to trudne zadanie, które przedstawić można jako problem z dwiema klasami: „twarz” oraz „nie-twarz”. Klasyfikacji takiej poddany być musi każdy rozważany fragment analizowanego obrazu podczas jego skanowania. Na podstawie zdjęć twarzy zdefiniować można wiele innych problemów klasyfikacyjnych, takich jak rozpoznawanie płci (dwie klasy), rozpoznawanie nastroju (liczba klas zależy od liczby określonych stanów emocjonalnych), rozpoznawanie wieku (liczba klas zależy od wyszczególnionych kategorii wiekowych, bądź też przechodzi w problem regresji, jeśli celem jest przewidzenie dokładnego wieku). Innym problemem opartym na rozpoznaniu twarzy jest problem weryfikacji tożsamości, gdzie mimo istnienia wielu osób w bazie biometrycznej, rozważany problem klasyfikacyjny jest dwuklasowy – system ma za zadanie rozstrzygnąć, czy dana osoba poprawnie deklaruje swoją tożsamość, przy czym powinno to być rozstrzygnięte na podstawie znanych zdjęć osoby, której tożsamość jest deklarowana oraz nowego zdjęcia osoby, która tę tożsamość deklaruje.

Identyfikacja osób jest problemem polegającym na określeniu tożsamości osoby zaprezentowanej na zdjęciu. Stąd liczba klas w tym problemie klasyfikacyjnym jest określona liczbą osób w pewnej bazie typu biometrycznego. Można również wyszczególnić osobny przypadek (odpowiedź klasyfikatora), w którym system jako odpowiedź zgłasza, iż w bazie nie ma osoby z danego zdjęcia.

Problem identyfikacji osób na podstawie zdjęć stanowi główne zainteresowanie prezentowanych prac [1], [2] oraz w pewnym zakresie również [3], warto zatem przyrzeć się specyficznym cechom, które stanowią o trudności tego problemu. Należy tutaj zwrócić uwagę na dwie z nich, które są istotne w celu odpowiedniego docenienia znaczenia prezentowanych wyników. Przede wszystkim, problem identyfikacji osób charakteryzuje duża, a do tego zmienna liczba klas. Liczba klas w problemie identyfikacji jest równa liczbie osób, których zdjęciami dysponujemy w bazie. Ma to bardzo duży wpływ na opracowywanie klasyfikatora. Większość modeli klasyfikacyjnych, np. sieci neuronowe, wymagają informacji o liczbie klas na etapie ich konstruowania. Wyobraźmy sobie klasyfikator w postaci sieci neuronowej. Liczba klas w problemie przekłada się zazwyczaj na liczbę neuronów wyjściowych w ostatniej warstwie sieci. W konkretnym przypadku identyfikacji osób, liczba klas może sięgać tysięcy a nawet milionów. Oczywiście jest, że bezpośrednie zastosowanie sieci neuronowej nie jawi się tu jako model pożądany. Nawet gdyby sieć o takiej liczbie neuronów wyjściowych została skonstruowana, problemy pojawiają się, gdy do bazy wprowadzane są nowe osoby, a więc liczba klas w problemie się zmienia. Istnieją oczywiście sposoby, które można próbować wykorzystać by obejść ten problem. Przykładem mogłoby być podejście, które zamiast jednego problemu z wieloma klasami, stara się rozwiązać wiele problemów dwuklasowych, w których jedną klasą jest zawsze jedna osoba, a drugą klasą wszystkie pozostałe. Zadanie polegałoby zatem na odróżnieniu danej osoby od wszystkich innych w bazie. Jednak podejście takie również nie zda egzaminu. Podstawowy problem, jaki się tu pojawia to złe zbalansowanie zbioru trenującego - dla jednej osoby w bazie będziemy mieć zazwyczaj o wiele mniej zdjęć, a więc przykładów uczących, niż wszystkich innych.

Lokalne deskryptory w problemie identyfikacji twarzy

Z powyższego rozważania wynika, że mimo ostatnich sukcesów uczenia głębokiego sieci neuronowych, nie stanowią one odpowiedzi na wszystkie wyzwania, które mogą się pojawić podczas tworzenia systemów klasyfikacyjnych. W konkretnym problemie identyfikacji twarzy, najlepszym i też najczęściej stosowanym podejściem jest oparcie się na prostej metodzie klasyfikacji za pomocą najbliższego sąsiada. Mając nowe zdjęcie z niezidentyfikowaną osobą, należy je porównać z każdym zdjęciem z bazy i zaprezentować to najbardziej podobne. Czasami lepszym pomysłem jest zaprezentowanie listy najbardziej podobnych osób z bazy, jednak nie wprowadza to istotnej zmiany co do samej metody. W porównaniu do zastosowania sieci neuronowych bądź też innych klasyfikatorów, które w trakcie uczenia są w stanie uogólnić wiedzę i działać następnie bez oryginalnych danych uczących, podejście oparte na metodzie najbliższego sąsiada (NS) wydawać się może niewydajne. Jednak w rzeczywistości to ono okazuje się najbardziej praktyczne.

Skoro NS nie ma etapu uczenia się w sensie np. sieci neuronowej, jakość osiągniętych wyników (procent poprawnie zidentyfikowanych osób), zależy przede wszystkim od dwóch czynników: metody opisu obrazu oraz użytej miary podobieństwa. Metoda opisu obrazu ma za zadanie wyodrębnienie cech charakterystycznych twarzy i dostarczenie opisu tych cech za pomocą odpowiedniej struktury danych. Strukturą taką może być zwykły wektor atrybutów (np. w grupie metod pokrewnych PCA, ang. *Principal Component Analysis*), graf (np. w metodzie EBGm,

ang. *Elastic Bunch Graph Mapping*) bądź też opis za pomocą połączonych histogramów, jaki został zastosowany w przytaczanych w osiągnięciu pracach. Miara podobieństwa jest używana do porównania opisów dwóch obrazów w celu oszacowania ich podobieństwa. Jako swoistego rodzaju miar niepodobieństwa użyć można miar odległości, takich jak metryka Euklidesa, odległość Canberra itp., jeśli opisem obrazu jest wektor atrybutów. W przypadku opisów innego rodzaju stosuje się specjalne miary, np. przecięcie histogramów, które szczegółowo zaprezentowano w cytowanych pracach.

W świetle powyższych rozważań powiedzieć można, że sposób opisu obrazu oraz użyta miara podobieństw są kluczowymi składowymi skutecznego systemu identyfikacji osób na podstawie ich twarzy. Na przestrzeni lat testowane były różne metody opisu obrazów. W latach 90-tych ubiegłego wieku zaproponowano słynne podejście oparte na transformacji PCA, które wyznaczyło w tamtym czasie pewien standard. PCA można uznać za metodę globalnego opisu zawartości obrazu. Każdą cechę obrazu wyodrębnioną przez PCA stanowi podsumowanie całej jego zawartości. Metodę PCA stosowano później oczywiście w bardziej wyrafinowany sposób do podobszarów analizowanego obrazu, wprowadzano elementy nieliniowości, jednak reprezentantem podejścia, które w pełni można by uznać za tzw. lokalne, była metoda EBGGM, w której mierzono cechy obrazu jedynie w pewnych wybranych punktach charakterystycznych dla twarzy, takich jak kąciaki ust czy obramowanie oczu. Cechy liczone w tych punktach oparte były na falkach Gabora. Metoda ta dostarczała opisu w postaci grafowej, który zawierał informacje zarówno o wzajemnej lokalizacji punktów charakterystycznych na danej twarzy, jak i o wartościach cech otrzymanych przez zastosowanie falek Gabora.

Wyniki dostarczone przez metody typu PCA oraz grafowe zostały przewyższone przez te dostarczone przez metody oparte na tzw. lokalnych deskryptorach. W ostatnich latach to one wytyczają standard w problemach identyfikacji. Jednym z pierwszych deskryptorów lokalnych był LBP (ang. *Local Binary Pattern*). Został on pierwotnie zaproponowany jako metoda opisu obrazu w problemie klasyfikacji tekstur, jednak bardzo szybko odkryte zostały jego bardzo dobre właściwości w problemie rozpoznawania twarzy, zwłaszcza problemie identyfikacji.

Sukces LBP spowodował szybki rozwój podobnych metod opisu. Nowe podejścia do budowania lokalnych deskryptorów wykorzystywały podobną ideę: zbadać lokalne wzorce w sąsiedztwie każdego piksela, zbudować histogramy podsumowujące wyróżnione podobszary, a następnie połączyć lokalne histogramy w końcowy opis obrazu. Lokalne deskryptory zostały również wykorzystane w połączeniu z falkami Gabora. Mnogość powstałych deskryptorów spowodowała, że wartościowym wyzwaniem okazała się próba zebrania najważniejszych podejść w jednej pracy, która służyć by mogła jako z jednej strony podsumowanie dotychczasowych badań i wyników, a z drugiej strony stanowiłaby dobry punkt wyjścia dla osób dopiero zaczynających swoje badania. Prezentowana jako część osiągnięcia praca [1] podjęła właśnie taką próbę. Oprócz wprowadzenia do techniki lokalnych deskryptorów oraz szczegółowego przeglądu konkretnych realizacji, praca ta oferuje również próbę uporządkowania dużej liczby rozwiązań poprzez zaproponowanie systematyki prezentowanych metod.

O tym, że praca spełniła, i nadal spełnia, swoją funkcję, świadczy duża liczba cytowań, która wciąż rośnie. Według bazy Scopus, metryka *Field-Weighted Citation Impact* wynosi dla tej pracy 1.89, i jest ona wśród 12% najczęściej cytowanych prac tego typu o porównywalnym wieku.

Lokalne deskryptory w problemie identyfikacji twarzy niezależnej od wieku

Angielskie terminy „*face recognition across the ages*” oraz “*age invariant face recognition*” odnoszą się do szczególnego przypadku, kiedy rozpoznaniu mają podlegać osoby na podstawie zdjęć, które z założenia może dzielić duża odległość czasowa – co najmniej kilka lat, lecz raczej kilkanaście a nawet kilkadziesiąt. Seria fotografii przedstawionych na rys. 1 obrazuje oczywisty fakt, że twarz ludzka może się bardzo zmienić w miarę dorastania oraz starzenia się. W wielu przypadkach wygląd twarzy zmieniają dodatkowe czynniki, takie jak choroby, niezdrowy tryb życia, używki itd.



Rys. 1 Przykładowe zdjęcia jednej osoby z bazy FGNET (<http://www-prima.inrialpes.fr/FGnet/html/benchmarks.html>)

W wielu sytuacjach można zagwarantować w miarę aktualne zdjęcia osób w bazie, przykładowo w problemie weryfikacji tożsamości stosowanej jako biometryczny środek ochrony dostępu do obiektów, można wymagać, by zdjęcie w bazie było nie starsze niż, przykładowo, rok. Podobne regulacje stosowane są np. w bazach paszportowych. Niemniej jednak jest wiele sytuacji, kiedy chcemy podjąć próbę identyfikacji mimo oczywistego braku aktualności posiadanych zdjęć. Przykładem może być problem poszukiwania osób zaginionych, w tym szczególnie trudna sytuacja poszukiwania osób, które zaginęły w młodym wieku.

Badanie problemu rozpoznawania twarzy niezależnego od wieku jest szczególnie utrudnione, jako że zebranie odpowiedniej kolekcji zdjęć w celach badawczych wymaga zazwyczaj udostępnienia przez ochotników osobistych kolekcji zdjęć. Dodatkowo, zdjęcia te wykonane zostały zwykle przez różne techniki akwizycji obrazu, a jakość zdjęć bardzo różni się od siebie. Niektóre bazy gwarantują jedynie różnicę kilkuletnią. Jest stosunkowo niewiele baz zdjęć gwarantujących naprawdę dużą rozpiętość czasową. Jedną nich jest baza FGNET, która wykorzystana została w pracy [2] w celu porównania jakości wyników identyfikacji osób na podstawie lokalnych deskryptorów. Dodatkowo, pod uwagę wzięte zostały również różne miary podobieństwa, które użyte być mogą w celu dopasowania zdjęć.

Praca [2] prezentuje wyniki własnych eksperymentów i jest wartościowym wkładem w rozwój dziedziny. Świadczy o tym również rosnąca liczba cytowań. Przedstawione wyniki wskazują, iż rzeczywiście, niektóre z lokalnych deskryptorów wykazują szczególną odporność na upływ czasu. Przetestowane to zostało przy różnych konfiguracjach eksperymentu, takich jak podział dostępnych zdjęć, ograniczenie maksymalnego odstępu czasowego między zdjęciami, itp.

Według bazy Scopus, metryka *Field-Weighted Citation Impact* wynosi dla tej pracy 2.83, i jest ona wśród 5% najczęściej cytowanych prac tego typu o porównywalnym czasie publikacji.

Rozwój metod analizy klasyfikatorów rankingowych

W problemie identyfikacji twarzy istnieje wiele klas, jako że każda osoba jest uznawana za taką. Zatem odnalezienie właściwej osoby w bazie biometrycznej zawierającej tysiące lub więcej osób definiuje problem klasyfikacji z tyłoma właśnie klasami. W praktyce trudno oczekiwać, że system klasyfikacyjny zawsze wskaże właściwą osobę jako tę najbardziej według niego podobną. Czasami jednak wystarczające jest zaprezentowanie użytkownikowi listy najbardziej preferowanych osób, które najlepiej według systemu klasyfikacyjnego pasują do twarzy nieznanego osoby z rozważanego zdjęcia. Użytkownik (np. policjant), będzie w pełni usatysfakcjonowany, jeśli odkryje, że ta właściwa osoba jest na czwartym miejscu w zaprezentowanej mu liście rankingowej. Cel bowiem został osiągnięty, tożsamość została odkryta. Prowadzi to do budowy tzw. klasyfikatora rankingowego, który jako swoją odpowiedź dostarcza nie tylko jedną klasę, ale listę rankingową najbardziej preferowanych klas. Każda pozycja na tej liście związana jest z pewną wartością liczbową, która odzwierciedla stopień przekonania systemu, że klasa znajdująca się na danej pozycji jest tą właściwą, przy czym wartości te nie muszą być prawdopodobieństwami.

Przygotowanie dobrze działającego klasyfikatora rankingowego daje nowe możliwości, ale równocześnie stawia nowe wymagania i wyzwania. W pracy [3], będącej częścią zgłaszanego osiągnięcia, zaproponowano metodę analizy list rankingowych, mającej na celu oszacowanie, czy dana lista o określonej długości zawiera poprawną klasę na którejkolwiek pozycji. Możliwość automatycznej odpowiedzi na takie pytanie pozwala na chociażby automatyczny dobór długości listy rankingowej prezentowanej użytkownikowi. W pracy [3] zaproponowano rozwiązanie tego problemu poprzez wprowadzenia klasyfikatora działającego bezpośrednio na listach rankingowych i podejmującego nowo zdefiniowany problem klasyfikacji dwuklasowej, tj. zakładającego przypadek „poprawna klasa pierwotnego problemu jest na danej liście rankingowej” jako pierwszą klasę, a przypadek „poprawnej klasy pierwotnego problemu nie ma na danej liście rankingowej” jako klasę drugą. Mamy zatem do czynienia z klasyfikatorami dwóch poziomów. Pierwszy z nich to klasyfikacja w problemie oryginalnym, z wieloma klasami (przykładem jest oryginalny problem identyfikacji twarzy), gdzie klasyfikator dostarcza jako odpowiedź listę klas uszeregowaną od najbardziej do najmniej preferowanej dla zadanego przypadku testowego (np. zdjęcia z twarzą nieznanego osoby). Drugi poziom, to klasyfikator dwuklasowy, który analizuje cechy dostarczonej listy rankingowej.

Aby lepiej zilustrować ideę stojącą za całym podejściem, wyobraźmy sobie, że klasyfikator pierwszego poziomu dostarcza listę czterech najbardziej preferowanych klas i przypisuje im znormalizowane (tj. z przedziału $[0,1]$) stopnie preferencji $[1.0, 0.4, 0.3, 0.29]$. Dla innego przypadku testowego lista ta może wyglądać $[1.0, 0.99, 0.98, 0.96]$. Pierwszy przypadek może sugerować, że poprawna klasa rzeczywiście jest wskazana na pierwszym miejscu, jako iż kolejne wartości (0.4 itd.) są dużo niższe. Z kolei w drugim przypadku można podejrzewać, że klasyfikator pierwszego poziomu ma problem z wyraźnym rozróżnieniem klas na liście. Oczywiście, w praktyce wartości na listach rankingowych charakteryzować się będą bardziej skomplikowanymi zależnościami. Celem pracy [3] było właśnie sprawdzenie, czy jest możliwe rozpoznanie cech charakterystycznych danej listy rankingowej w celu podjęcia decyzji, czy zawiera ona prawdziwą klasę w problemie pierwszego poziomu.

Opisane podejście jest oryginalnym rozwiązaniem, które nie miało swojego odpowiednika w literaturze. Jak pokazały wyniki obliczeń zaprezentowane w pracy [3], zbudowanie takiego dwupoziomowego systemu klasyfikacyjnego jest możliwe. Przedstawiono wyniki zarówno dla danych syntetycznych, jak i dla trudnych problemów praktycznych takich jak rozpoznawanie liter oraz identyfikacja osób na podstawie zdjęć ich twarzy. Biorąc to ostatnie pod uwagę, praca [3] może być uznana za logiczną kontynuację prac [1] oraz [2], ale jednocześnie cała idea opracowana jest dla ogólnego przypadku klasyfikatora pierwszego poziomu, który dostarcza jako odpowiedzi listy rankingowe klas.

Prace [1], [2] oraz [3] powstały jako wynik udziału autora w grantie badawczym przeprowadzonym na University of Alberta, w Edmonton w Kanadzie, w którym uczestniczył jako postdoc. Prace te prowadzone były we współpracy z komercyjną firmą jak również z kanadyjskimi służbami policyjnymi, które dostarczały rzeczywistych baz danych biometrycznych. Jednak z powodu tajności oraz wymogów powtarzalności eksperymentów naukowych, wyniki zaprezentowane w omówionych pracach otrzymane zostały dla publicznie dostępnych baz i danych.

Rozwój metod budowy i analizy klasyfikatorów zagregowanych

Kontynuując zainteresowania autora związane z metodami klasyfikacyjnymi, w pracy [4] przedstawione zostały wyniki samodzielnych badań nad prostym sposobem ulepszenia znanego algorytmu budowy klasyfikatora zagregowanego jakim jest *AdaBoost*.

AdaBoost jest znanym algorytmem tworzenia tzw. klasyfikatora zagregowanego. Zamiast budować jeden skomplikowany model klasyfikacyjny, klasyfikatory zagregowane polegają na łączeniu odpowiedzi wielu prostszych klasyfikatorów (tzw. modeli bazowych), poprzez odpowiedniego rodzaju głosowanie (większościowe, większościowe ważone lub inne). Motywacji do opracowywania tego typu klasyfikatorów szukać można w dość odległych czasach, nie związanych z uczeniem maszynowym. Słynne twierdzenie Condorceta (*Marquis de Condorcet*, "Essai sur l'application de l'analyse a la probabilité des décisions rendues a la pluralité des voix", 1785) mówi o prawdopodobieństwie podjęcia poprawnej decyzji przez grupę osób, z których każda niezależnie od innych podejmuje decyzję, która jedynie z małym prawdopodobieństwem jest poprawna. Jeśli $p > 0.5$ dla każdej osoby (p to prawdopodobieństwo podjęcia poprawnej decyzji), to twierdzenie Condorceta mówi, że przez dodawanie kolejnych osób, ich decyzja podjęta przez głosowanie będzie poprawna z prawdopodobieństwem asymptotycznie dążącym do 1. W praktyce uczenia maszynowego, jeśli chcemy zastosować tę zależność do łączenia odpowiedzi bazowych klasyfikatorów, problemem staje się wymóg, że każdy z łączonych bazowych modeli musi być niezależny od pozostałych. Trudno jest zapewnić takie cechy w obliczu ograniczonych zasobów danych trenujących – modele trenowane na podstawie tych samych danych uczących nie będą niezależne. Stąd, różne algorytmy uczące próbują rozwiązać ten problem w specyficzny dla siebie sposób. Algorytmy *bagging* przygotowują zbiór trenujący dla każdego modelu bazowego przez wykorzystanie metody próbkowania *bootstrap*, algorytm lasu losowego wprowadza dodatkowe losowe restrykcje podczas budowania drzew decyzyjnych stanowiących modele bazowe lasu. Algorytmy z rodziny *boosting* wymagają od każdego kolejnego modelu bazowego, by skupiał się on bardziej na przykładach trenujących, które były szczególnie trudne dla wcześniejszych.

Mimo specyficznych problemów podczas budowania klasyfikatorów zagregowanych, uznawane są one za jedne z najlepszych. Nie ustają prace nad metodami tzw. regularyzacji tychże

algorytmów. Przez regularyzację możemy tu rozumieć jakąkolwiek zmianę modyfikującą dane trenujące bądź też oryginalną procedurę uczącą, która wpływa na proces uczenia klasyfikatora. W rodzinie algorytmów typu *boosting* metody regularyzacji często mają dwa cele, po pierwsze, poprawić jakość klasyfikacji w stosunku do pierwotnego algorytmu, po drugie dostarczyć prostszy klasyfikator, czyli taki, który składa się z mniejszej liczby modeli bazowych. W praktyce prowadzi to często do definiowania nowego, skomplikowanego problemu optymalizacji. W pracy [4] wskazano kilka takich metod. Jednocześnie zaproponowana została prosta metoda regularyzacji algorytmu *AdaBoost*, która jest w stanie zarówno poprawić jakość klasyfikacji jak i ograniczyć liczbę klasyfikatorów bazowych. Autorska metoda wprowadza dodatkowy człon regularyzacyjny dodany do głównego kryterium uczenia. Dodatkowy człon normalizacyjny oparty został na pomiarze entropii wykorzystania poszczególnych atrybutów, na podstawie których modele bazowe podejmują swoje decyzje. Klasyfikator zagregowany jest przez to zmuszony do bardziej równomiernego wykorzystania dostępnych informacji odnośnie obiektów mających podlegać klasyfikacji. Jak pokazały testy numeryczne na wielu problemach klasyfikacyjnych, podejście takie rzeczywiście jest w stanie poprawić działanie oryginalnego algorytmu *AdaBoost* i jest konkurencyjne dla innej klasycznej metody regularyzacji. Dodatkowo wskazano również na pewnego rodzaju komplementarne działanie zaproponowanej metody oraz klasycznej metody regularyzacji. Oznacza to, że jeśli wykorzystamy obie metody regularyzacji, wyniki będą lepsze niż gdyby użyta została jedynie jedna z nich.

Rozwój metod optymalizacji w problemie Steinera

Problemy budowy klasyfikatorów nie są odległe od problemów optymalizacji. Każdy algorytm uczący można bowiem przedstawić jako problem optymalizacji pewnego kryterium działania klasyfikatora. Stąd, w kręgu zainteresowań autora zawsze pozostawały problemy optymalizacji. W pracy [5] przedstawione zostały wyniki samodzielnych prac autora nad zastosowaniem algorytmu MCTS (ang. *Monte Carlo Tree Search*) do rozwiązania Euklidesowego problemu Steinera na płaszczyźnie. Natomiast w pracy [6] do rozwiązania tegoż problemu zaproponowano algorytm memetyczny, czyli algorytm łączący możliwości algorytmu ewolucyjnego oraz odpowiednich dla danego problemu procedur optymalizacji zachłannej.

Algorytm MCTS zyskuje na znaczeniu w ostatnich latach. Jest to swoistego rodzaju połączenie przeszukiwania drzewa stanów w danym problemie poszukiwania z symulacją Monte Carlo. Jednym z najbardziej znanych i spektakularnych zastosowań tego algorytmu było opracowanie przez zespół DeepMind z Google programu AlphaGo, który pokonał najlepszych zawodowych graczy w grę Go (Igo, Baduk, Weiqi), co było wcześniej swoistego rodzaju świętym galem dla osób opracowujących algorytmy uczenia inteligentnych agentów dla gier abstrakcyjnych. Aby opracować AlphaGo, MCTS połączony został z metodami uczenia sieci głębokich.

Jednak algorytm MCTS jest bardzo ogólnym schematem poszukiwania rozwiązań i można go dostosować do wielu problemów. W pracy [5] zaproponowano jak może być on zastosowany do rozwiązania problemu Steinera na Euklidesowej płaszczyźnie.

Problem Steinera polega na połączeniu zadanego zbioru punktów za pomocą połączeń o jak najkrótszej sumarycznej długości. Zadanie to dopuszcza wykorzystanie dodatkowych punktów (tzw. punktów Steinera), których nieznaną liczbą i umiejscowieniem sprawiają, że problem jest np-trudny. Jeśli wykorzystanie dodatkowych punktów nie jest dozwolone, mamy do czynienia z prostym zadaniem znalezienia minimalnego połączenia, które można rozwiązać algorytmami o złożoności wielomianowej, np. algorytmem Pima.

W pracy [5] zaprezentowano możliwość dostosowania MCTS do problemu Steinera w dwuwymiarowej przestrzeni Euklidesa. Zaproponowana w tej samej pracy procedura optymalizacji zachłannej została wykorzystana jako kluczowy element algorytmu MCTS, co sprawiło, że powstały algorytm okazał się lepszy niż sama procedura zachłanna, ale również lepszy niż „czysta” symulacja Monte Carlo, bez połączenia z konstruowaniem częściowego drzewa przeszukiwań, które jest kluczowym elementem MCTS.

Wartość pracy [5] wynika nie tylko z prezentowanych rezultatów dla problemów 2D. Przede wszystkim wytyczona została pewna metoda adaptacji ogólnego algorytmu MCTS do całej rodziny problemów kombinatorycznych, jaką stanowi problem Steinera dla dowolnej liczby wymiarów oraz metryki użytej do mierzenia odległości między łączonymi punktami. Dalsze zastosowania opracowanych metod dla trudniejszych problemów Steinera są aktualnie jednymi z planów badawczych autora.

Algorytmy ewolucyjne (algorytmy genetyczne, strategie ewolucyjne, programowanie genetyczne, algorytmy immunologiczne i inne) są bardzo bogatą rodziną ogólnych heurystyk rozwiązywania problemów optymalizacji. Jedną z definicji, którą można użyć w celu scharakteryzowania algorytmu ewolucyjnego jest określenie trzech jego cech. Po pierwsze algorytm taki przetwarza populację potencjalnych rozwiązań (w przeciwieństwie do algorytmów optymalizacji zachłannej, które zazwyczaj przetwarzają jedno rozwiązanie). Po drugie, częścią algorytmu jest tzw. nacisk selekcyjny, którego zadaniem jest promowanie lepszych rozwiązań aktualnej populacji. Po trzecie, zdefiniowane są operatory dywersyfikacji, które umożliwiają generowanie nowych rozwiązań na podstawie wybranych z aktualnej populacji poprzez operator realizujący nacisk selekcyjny. Tak zdefiniowane algorytmy przez lata udowodniły, że, mimo iż nie ma formalnego dowodu zbieżności ich działania do rozwiązania optymalnego, często są w stanie dostarczyć satysfakcjonujące rozwiązania problemów, w których zawodzą inne heurystyki (np. metody optymalizacji zachłannej) a metody dokładne są zbyt wymagające obliczeniowo. Z drugiej jednak strony wiadome jest, że algorytmy ewolucyjne, mając duży potencjał w lokalizowaniu najbardziej obiecujących obszarów przestrzeni poszukiwań, mają jednocześnie problemy z końcowym dostrojeniem rozwiązania. W niektórych problemach, aby wzmocnić możliwości algorytmu ewolucyjnego, łączy się je z metodami optymalizacji zachłannej, czy też inaczej mówiąc, lokalnej. Taka dodatkowa procedura wykorzystywana jest również jako procedura naprawcza, w problemach, w których rozwiązania spełniać muszą restrykcyjne warunki, a algorytm ewolucyjny ma z ich realizacją problemy. W wyniku połączenia algorytmu ewolucyjnego z metodą optymalizacji lokalnej powstaje najprostszy rodzaj algorytmu memetycznego.

Algorytm memetyczny dla problemu Steinera na płaszczyźnie Euklidesowej został zaproponowany w pracy [6]. Podczas próby zastosowania algorytmu genetycznego (z odpowiednio przygotowanym sposobem kodowania osobników), szybko stało się jasne, że algorytm ten ma trudności z dostarczeniem rozwiązań spełniających wszystkie wymogi minimalnego drzewa Steinera. W pracy [6] pokazano, jak odpowiednio przygotowana procedura optymalizacji lokalnej jest w stanie wspomóc algorytm genetyczny w procesie optymalizacji. Opracowany algorytm memetyczny działał lepiej niż algorytm genetyczny oraz metoda optymalizacji zachłannej stosowane osobno.

Ważnym aspektem pracy [6] była analiza dwóch możliwych sposobów wykorzystania procedury lokalnej w zaproponowanym algorytmie memetycznym. Znane są dwa główne podejścia wykorzystania rozwiązań modyfikowanych przez procedurę lokalną. Efekt Baldwina opisuje sytuację, kiedy oryginalne rozwiązanie (osobnik w populacji) jest modyfikowany jedynie po to, by

jako ocenę jego jakości (jego potencjału) wykorzystać ocenę osobnika zmodyfikowanego. Z kolei w ewolucji lamarckowskiej zmodyfikowany osobnik zastępuje oryginał. Możliwe są również metody pośrednie, gdzie zastępowanie następuje z pewnym prawdopodobieństwem. To, która z metod jest lepsza, zależy w dużym stopniu od problemu. W pracy [6], testy numeryczne wykazały, że dla większych problemów Steinera (tzn. z większą liczbą punktów do połączenia), ewolucja lamarckowska jest zdecydowanie preferowana. Uzyskane rezultaty otwierają drogę do dalszych badań nad wykorzystaniem metod ewolucyjnych w trudniejszych problemach Steinera.

Wspólne elementy przedstawionych prac

W przedstawionych pracach warto zwrócić uwagę na pewien wspólny element. Mimo pewnych różnic aplikacyjnych występujących między tymi publikacjami, istnieje między nimi podobieństwo metodologiczne. Praktycznie w każdej pracy zaobserwować można, że prezentowane ulepszenia metod inteligencji obliczeniowej wynikają z odpowiednio zastosowanej synergii dwóch lub większej liczby metod. Synergia jest tu rozumiana jako projektowanie nowego algorytmu na podstawie pewnych istniejących metod czy też koncepcji w taki sposób by był on lepszy (w sensie pewnego kryterium) od któregośkolwiek ze składników. W przypadku prac [1] oraz [2] dotyczących lokalnych deskryptorów w problemie identyfikacji osób na podstawie zdjęć twarzy, wskazane zostało w wynikach, że dobre efekty przynosi połączenie falek Gabora z lokalnymi deskryptorami różnego typu. Zarówno falki Gabora jak i lokalne deskryptory typu LBP były wykorzystywane w problemach rozpoznawania twarzy osobno, jednak ich wspólne wykorzystanie prowadzi zazwyczaj do dużo lepszych wyników. W pracy [3] połączenie dwóch klasyfikatorów (opisanych wcześniej jako pierwszego i drugiego poziomu) pozwala opracować system klasyfikacyjny o całkiem nowych właściwościach użytkowych i rekomendacyjnych z punktu widzenia użytkownika. Dobrym przykładem zastosowania synergii są również metody przedstawione w samodzielnych publikacjach [4], [5] oraz [6]. Pojęcie entropii w połączeniu z klasycznym algorytmem *AdaBoost* pozwoliło na opracowanie nowego, prostego i wydajnego obliczeniowo, algorytmu uczącego. Z kolei w pracy [5] opracowany algorytm łączy w sobie podstawowe właściwości geometryczne rozważanego problemu (np. definicję punktu Fermata), zachłanną procedurę szukania dopuszczalnych rozwiązań, symulacje Monte Carlo oraz przeszukiwanie drzewa stanów budowanego w sposób dynamiczny. Synergia tych składowych pozwoliła opracować oryginalne podejście do problemu Steinera, które może być rozszerzone na inne jego wersje. Również w pracy [6] dostrzec można pozytywny efekt synergii, który wszak jest podstawą działania algorytmów memetycznych. Algorytmy ewolucyjne mają dużą zdolność lokalizacji obiecujących obszarów w przestrzeni poszukiwań w problemach optymalizacyjnych, jednak mogą mieć trudność z dokładnym określeniem rozwiązania. Z kolei procedury optymalizacji zachłannej mocno eksploatują lokalne obszary, gdzie kosztem eksploracji są w stanie efektywnie znajdować lokalne optima. Połączenie tych dwóch metod prowadzi do opracowania algorytmu memetycznego, który jeśli jest odpowiedni do rozwiązywanego problemu, działać może lepiej niż „czysty” algorytm ewolucyjny lub metoda zachłanna, jeśli są użyte osobno.

Powyższe rozważania pokazują, że synergia jest ważnym, ogólnym podejściem do opracowywania nowych metod inteligencji obliczeniowej. Bazując na omówionych publikacjach, można wskazać nowe kierunki badań, które stanowią obszar zainteresowań autora i mogą równocześnie stanowić przykłady innych podejść opartych na synergii. Przykładowo, stosunkowo niezbadanym obszarem jest połączenie popularnych w ostatnich latach algorytmów uczenia głębokiego z lokalnymi deskryptorami. Pojawiają się również pierwsze publikacje, które starają się łączyć uczenie głębokie z algorytmami z rodziny *boosting*. Wiele metod optymalizacji

zachłannej czeka na wykorzystanie w ogólnym schemacie algorytmu MCTS w zastosowaniu do różnych problemów optymalizacyjnych. Sam algorytm MCTS został jak do tej pory stosunkowo słabo wykorzystany w problematyce uczenia klasyfikatorów, choć jednym z jego zastosowań była próba opracowania algorytmu wyboru atrybutów w problemach klasyfikacyjnych. Z rozważań tych wynika, że opracowywanie metod inteligencji obliczeniowej w różnych zadaniach nie powinno być traktowane jako rozłączne. Stały przepływ idei i nowych zastosowań istniejących rozwiązań wydaje się być kluczowym czynnikiem stałego rozwoju informatyki. W opinii autora, zaprezentowane prace wpisują się bardzo dobrze w tę ogólną wizję.

Wpływ na dyscyplinę naukową, uzyskane wyniki i wykorzystanie w praktyce

Wszystkie prezentowane prace dotyczyły metod rozwiązywania rzeczywistych problemów i jako takie, dzięki swoim częściom eksperymentalnym, mają charakter mocno praktyczny. Wyniki i wnioski uzyskane w ramach prezentowanych prac jak najbardziej nadają się do praktycznego zastosowania. Wyniki, również implementacyjne, prac [1], [2] oraz [3] uzyskane zostały w ramach pobytu autora jako postdoc na University of Alberta we współpracy ze służbami policyjnymi oraz komercyjną firmą i ich los jako takich, stopień ich wykorzystania w dalszych badaniach wymienionych podmiotów, nie jest autorowi do końca znany. Jednak część eksperymentalna przedstawiona w przytoczonych pracach, publicznie dostępna, stanowi, w opinii autora, cenny wkład w rozwój dziedziny i punkt odniesienia dla innych badaczy.

Nowe algorytmy i wyniki eksperymentów numerycznych przedstawione w pracach [4], [5] oraz [6] opublikowane zostały niedawno, pod koniec roku 2017 oraz na początku roku 2018. Jako takie, nie doczekały się jeszcze cytowań. Biorąc jednak pod uwagę popularność jaką zyskuje w ostatnich latach algorytm MCTS, można wierzyć, że publikacja [5] to wstęp do dalszych badań i opracowań. Również praca [4] pokazuje, że rodzina algorytmów *boosting* nie jest zamknięta na nowe opracowania i ulepszenia, które uzyskać można dzięki prostym technikom wydajnym obliczeniowo. W przygotowaniu jest praca habilitanta wykorzystująca ogólny algorytm optymalizacji zachłannej *TabuSearch* jako nowy sposób regularyzacji algorytmu *boosting*. Będzie to kolejny przykład, że synergia metod inteligencji obliczeniowej ma bardzo wiele do zaoferowania.

Podsumowanie

Przedstawione osiągnięcie składa się z cyklu publikacji dotyczących metod inteligencji obliczeniowej w zakresie metod klasyfikacji oraz optymalizacji. Szczególnie dużo miejsca zajmują prace dotyczące problemu rozpoznawania twarzy, w szczególności identyfikacji osób. Przedstawiono rolę nowoczesnych metod opisu obrazów opartych na lokalnych deskryptorach [1]. Ich działanie przetestowano w trudnym problemie identyfikacji twarzy pod kątem ich odporności na odległość czasową, jaka dzieli porównywane zdjęcia [2]. Praca [3] prezentuje bardziej ogólną metodologię, mogącą być wykorzystaną nie tylko w problemach identyfikacji osób, ale w dowolnych problemach klasyfikacyjnych z dużą liczbą klas, gdzie wyniki prezentowane są w postaci rankingu preferowanych klas. Z kolei praca [4] prezentuje wydajny obliczeniowo sposób regularyzacji algorytmu *AdaBoost* z wykorzystaniem odpowiednio mierzonej entropii obserwowanej w funkcjonowaniu generowanych klasyfikatorów bazowych. Oryginalne zastosowanie ogólnego algorytmu MCTS w problemie optymalizacyjnym Steinera zaproponowano w pracy [5]. W pracy [6] zaproponowano i analizowano algorytm memetyczny dla problemu Steinera. Wszystkie prezentowane prace wykazują, że synergia metod inteligencji obliczeniowej może służyć jako ogólny drogowskaz w opracowywaniu nowych algorytmów.

Wszystkie prace mają charakter bardzo praktyczny, a wnioski płynące z przeprowadzonych eksperymentów numerycznych stanowią w opinii autora wartościowy punkt odniesienia dla innych badaczy.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo badawczych

Doświadczenie i osiągnięcia naukowe

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, habilitant kontynuował pracę na Politechnice Krakowskiej jako adiunkt naukowo-badawczy, które to stanowisko nadal zajmuje. Krótco po obronie pracy doktorskiej został kierownikiem badawczego grantu naukowego Narodowego Centrum Nauki pt. „*Sztuczne systemy immunologiczne w zagadnieniach rozpoznawania wzorców i optymalizacji wielokryterialnej*”. Projekt ten pozwolił rozwijać tematykę rozpoczętą w pracy doktorskiej. Projekt ten trwał w latach 2009 – 2013.

Wielkim sukcesem oraz bardzo wartościowym doświadczeniem było dla habilitanta stypendium *postdoc* na University of Alberta w Edmonton w Kanadzie. Pod kierunkiem prof. Witolda Pedrycza, światowej sławy naukowca, uczestniczył przez dwa lata w projekcie „*Architectures of hybrid face recognition for systems of national safety*”. Pozwoliło to habilitantowi rozwijać zainteresowania zapoczątkowane jeszcze w czasach przygotowywania pracy magisterskiej. Różne aspekty problemu rozpoznawania twarzy stanowią bardzo ciekawe i jednocześnie trudne wyzwanie badawcze, które nadal jest podejmowane przez habilitanta w jego pracy naukowej. Udział w projekcie kanadyjskim pozwolił habilitantowi poznać od strony teoretycznej oraz praktycznej nowoczesne metody opisu zdjęć (np. filtry Gabora, lokalne deskryptory typu LBP). Zaowocowało to szeregiem publikacji w prestiżowych czasopismach *Pattern Recognition*, *Expert Systems with Applications* oraz *Journal of Visual Communication and Image Representation*.

Zainteresowania naukowe habilitanta dotyczą szeroko rozumianych heurystyk mających zastosowanie w rozwiązywaniu trudnych problemów optymalizacyjnych. Przykładem takich metod są algorytmy ewolucyjne czy też sztuczne systemy immunologiczne. Drugą grupą zagadnień, którymi habilitant zajmuje się w swojej pracy naukowej, to metody klasyfikacji i analizy danych, zwłaszcza w zakresie metod rozpoznawania twarzy oraz opracowywania algorytmów uczenia klasyfikatorów zagregowanych, które oparte są na podejmowaniu decyzji klasyfikacyjnej przez grupę klasyfikatorów. W kręgu zainteresowań znajdują się również nowoczesne metody uczenia głębokiego sieci neuronowych (ang. *deep learning*).

Dorobek naukowy habilitanta znajduje odzwierciedlenie w publikacjach w wiodących czasopismach naukowych związanych z informatyką. Publikacje te zostały docenione również na Politechnice Krakowskiej, czego wyrazem było przyznanie habilitantowi w 2014r. indywidualnej nagrody Rektora Politechniki Krakowskiej za cykl publikacji naukowych. Prace te są licznie cytowane, co pozwoliło habilitantowi osiągnąć indeks Hirscha równy 5 według baz Web of Science oraz Scopus.

Publikacje po doktoracie nie związane ze zgłaszanym osiągnięciem

Prace [7] oraz [8] opublikowane zostały po obronie doktoratu. Jednak stanowią one swoistego rodzaju kontynuację oraz podsumowanie prezentowanych w doktoracie osiągnięć i jako takie nie

są umieszczone na liście publikacji związanych z osiągnięciem naukowym zgłaszanym we wniosku habilitacyjnym. Z kolei prace [9] oraz [10], mimo daty publikacji po doktoracie, są bezpośrednio związane z doktoratem a wyniki tam przedstawione są również omawiane bezpośrednio w rozprawie doktorskiej. Rozbieżność dat związana jest z długością procesu publikacyjnego.

Projekty badawcze

Kierownik projektu badawczego: „*Sztuczne systemy immunologiczne w zagadnieniach rozpoznawania wzorców i optymalizacji wielokryterialnej*” (grant Narodowego Centrum Nauki Nr NN519 405437), 2009 – 2013.

Staże naukowe

Stypendium podoktorskie w projekcie „*Architectures of hybrid face recognition for systems of national safety*” (grant Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC)) w ramach stypendium podoktorskiego na University of Alberta, Edmonton, Kanada, 2010 – 2012.

Stypendia, nagrody i wyróżnienia

Indywidualna Nagroda Rektora Politechniki Krakowskiej za cykl publikacji, 2014.

Stypendysta w ramach subsydium profesorskiego prof. dr hab. inż. Tadeusza Burczyńskiego ze środków Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, 2006.

Recenzje dla czasopism

Habilitant jest autorem wielu recenzji dla specjalistycznych czasopism związanych z informatyką, takich jak

- Information Sciences,
- Applied Soft Computing,
- Expert System with Applications,
- Computer Assisted Methods in Engineering and Science.

Promotorstwo

Prace doktorskie

- Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr Adama Marszałka, tytuł rozprawy „Skierowane liczby rozmyte w modelowaniu i symulacji finansowych szeregów czasowych”, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński, Polska Akademia Nauk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki. Praca została obroniona w 2017 roku z wyróżnieniem.

Prace magisterskie

- Ziębiec Tomasz, Projekt i implementacja aplikacji społecznościowej umożliwiającej komunikację grupową
- Smardz Wojciech, System realizacji produkcji monitorujący wydajność pracy maszyn
- Kula Kamil, Metoda identyfikacji i weryfikacji tożsamości w oparciu o tęczówkę oka
- Rapacz Bartłomiej, Rozpoznawanie twarzy w materiale wideo

- Podgórski Jakub, System wyszukiwania podobieństw w tekstach
- Kuś Małgorzata, Inteligencja nowoczesnych aplikacji mobilnych na przykładzie osobistego doradcy ubioru
- Węc Sebastian, System wspomagający podejmowanie decyzji kierowcy
- Żurek Karol, Automatyzacja zadań administratorskich w systemach operacyjnych Microsoft Windows przy użyciu Powershell
- Przetacznik Konrad, Metody dowodzenia wspomagane komputerowo na przykładzie programu wyszukującego rozwiązanie kostki Rubika
- Malucha Mateusz, Zastosowanie sieci złożonych w analizie kolekcji dokumentów
- Dudczak Łukasz, Strategia gry planszowej w oparciu o metody sztucznej inteligencji
- Sochacki Mateusz, Problem synchronizacji danych na przykładzie aplikacji mobilnej i serwisu internetowego
- Wąchała Paweł, Heurystyczne rozwiązanie problemu komiwojażera na architekturze NVIDIA CUDA w oparciu o algorytmy ewolucyjne
- Król Wojciech, Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do analizy sentymentu tekstu
- Ząber Grzegorz, System automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych
- Gierat Marek, Interaktywna aplikacja internetowa wspomagająca współpracę projektanta graficznego z klientem
- Libiszewski Dawid, Rozpoznawanie utworów muzycznych
- Nika Grzegorz, Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji do stworzenia automatycznego systemu transakcyjnego operującego na kontraktach CFD
- Nikiel Jacek, Projekt i implementacja platformy wspomagającej zarządzanie zespołem z wykorzystaniem systemu GPS
- Tomczyński Grzegorz, Implementacja serwisu ze sklepem internetowym przy użyciu framework Symfony 2 z zastosowaniem baz danych SQL i NoSQL

Prace inżynierskie:

- Gonciarz Łukasz, Wydajny system wsparcia technicznego w oparciu o ASP .NET MVC 4
- Kuboń Piotr, System zarządzania kompleksem sportowym
- Okulanis Mariusz, Implementacja filtra antyspamowego przy użyciu uczenia maszynowego
- Mirek Piotr, System planowania wycieczki dla klientów biura podróży
- Podgórski Jakub, Aplikacja wspomagająca zarządzanie torem gokartowym
- Poręba Filip, System wspomagający zarządzanie kompleksem hotelowo-restauracyjnym
- Przybyłek Mateusz, System informatyczny do ewidencji rzeczy znalezionych
- Serafin Waldemar, Projekt oraz implementacja portalu dla osób aktywnych fizycznie
- Wojciechowski Szymon, System zarządzania projektem informatycznym
- Krzywicki Mateusz, Protektor plików wykonywalnych w systemie Microsoft Windows
- Malik Adrian, Wydajne, szybkie i nowoczesne strony www
- Narożnicki Damian, Serwis internetowy wspomagający sprzedaż nieruchomości oparty na wzorcu projektowym MVC
- Słowikowski Krzysztof, Zestaw aplikacji wspierających pracę hurtowni artykułów biurowych
- Roman Łukasz, Zestaw aplikacji wspomagających pracę kina
- Siepracki Mateusz, Dynamiczny serwis sieci web umożliwiający użytkownikom wymianę zdjęć

- Gierat Marek, System ankietyzacji stosowany w ocenie nauczycieli akademickich
- Szatan Paweł, Implementacja programu realizującego migrację danych pomiędzy systemami Comarch ERP Optima a SAP ERP w oparciu o specyfikacje obiektów migracji.
- Zapała Konrad, Projekt i implementacja aplikacji pozwalającej na rozwiązywanie testów wyboru
- Kaczmarzyk Kacper, Aplikacja webowa wspierająca decyzje dotyczące nabywania usług i towarów
- Bysiek Konrad, Chatbot, czyli wirtualny asystent internetowy z elementami uczenia się
- Miernik Marcin, Aplikacja desktopowa informująca o stężeniu smogu

Doświadczenie dydaktyczne

Habilitant posiada duże doświadczenie w pracy dydaktycznej ze studentami uczelni wyższej. W trakcie pracy na Politechnice Krakowskiej prowadził liczne zajęcia dydaktyczne, również w języku angielskim ze studentami z programu Erasmus. Prowadził zajęcia takie jak *Metody klasyfikacji i rozpoznawania wzorców*, *Systemy uczące się*, *Wstęp do bioinformatyki*, *Algorytmy immunologiczne*, *Programowanie obiektowe*, *Komputerowe przetwarzanie obrazu*, *Programowanie C++* oraz inne związane z informatyką. Był również opiekunem naukowym kilkudziesięciu dyplomantów (prace dyplomowe pierwszego oraz drugiego stopnia studiów).

Doświadczenie administracyjne

Habilitant posiada również doświadczenie administracyjne. W roku 2008 objął stanowisko z-cy Dyrektora ds. Badań i Rozwoju w Instytucie Informatyki, na Wydziale Fizyki, Matematyki i Informatyki Politechniki Krakowskiej. Pełnienie tej funkcji przerwał wyjazd na stypendium *postdoc* do Kanady. Aktualnie jest również członkiem Rady Wydziału z wyboru na tymże wydziale.