

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

DZIEKAN I RADA WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

zawiadamiają o

PUBLICZNEJ OBRONIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Mateusza Trokielewicza

która odbędzie się w dniu 18 czerwca 2019 r. o godzinie 13.00

na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej
Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa ul. Nowowiejska 15/19, w sali nr 116

Tytuł rozprawy doktorskiej:

“Iris recognition methods resistant to biological changes in the eye”

promotor: dr hab. inż. Adam Czajka University of Notre Dame, USA

recenzenci: prof. dr hab. inż. Krzysztof Ślot z Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki
Łódzkiej,

dr hab. inż. Michał Choraś, prof. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w
Bydgoszczy Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki.

Na stronie internetowej wydziału www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje znajdują się streszczenie rozprawy oraz recenzje, jak również dostęp do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

tytuł angielski: „Iris recognition methods resistant to biological changes in the eye”

tytuł polski: „Metody rozpoznawania tęczówki odporne na zmiany biologiczne w oku”

autor: mgr inż. Mateusz Trokielewicz

promotor: dr hab. inż. Adam Czajka

streszczenie:

Biometria tęczówki już od ponad 25 lat buduje swoją pozycję wśród technik rozpoznawania i uwierzytelniania osób jako metoda bezpieczna i szybka. Okres ten pozwolił na identyfikację wielu nowych problemów badawczych, w tym ryzyka obniżonej skuteczności metod biometrii tęczówki w przypadku zmian biologicznych w oku, takie jak te wywołane chorobami narządu wzroku, jak również zmiany związane z procesami rozkładu tkanek po śmierci człowieka. Przedstawiona rozprawa doktorska ma na celu zbadanie poziomu negatywnego wpływu wymienionych wyżej zmian na systemy biometrii tęczówki, analizę przyczyn błędów rozpoznawania oraz zaproponowanie metod przeciwdziałających spadkowi jakości działania algorytmów.

W ramach pierwszego z problemów badawczych wykonano analizę niezawodności istniejących metod w sytuacjach, gdy wykorzystywane są nietypowe próbki biometryczne oraz ocenę uzyskanych błędów i ich przyczyn. Pozwala to na wysnucie wniosku, iż za większą część spadku jakości rozpoznania dla próbek pochodzących od oczu osób cierpiących na schorzenia okulistyczne oraz oczu osób zmarłych odpowiedzialny jest niepoprawny przebieg segmentacji obrazu. Jednakże, podczas eksperymentu obejmującego ręczne, poprawne wykonanie tego etapu przetwarzania obrazu tęczówki nie uzyskano stuprocentowej redukcji błędnego działania, co może sugerować, iż procesy biologiczne mogą zmieniać lub niszczyć cechy tęczówki, w szczególności dla próbek pobranych od zmarłych w wiele dni po śmierci.

W pracy zaproponowano sposób rozwiązania problemu błędnie działającej segmentacji z wykorzystaniem nowej metodyki opartej o głęboką splotową sieć neuronową, która skutecznie lokalizuje tęczówkę przy jednoczesnym maskowaniu jej obszarów objętych zaawansowanymi zmianami chorobowymi lub pośmiertnymi. Pokazano sposób wykorzystania tego typu masek w tradycyjnym algorytmie rozpoznawania tęczówki, co pozwoliło na uzyskanie dokładności rozpoznawania przekraczającej tę uzyskiwaną przez dostępne obecnie metody, zarówno komercyjne, jak i o otwartym źródle. Uzyskano zmniejszenie częstości błędu zrównoważonego z 23.69% do 6.40% dla próbek pobranych w mniej niż 60 godzin po śmierci, oraz z 18.73% do zaledwie 0.68% dla próbek pobranych w mniej niż 24 godziny po śmierci. Dla próbek pochodzących od oczu objętych procesami chorobowymi uzyskano spadek błędu zrównoważonego z 18.73% do 1.73%. Podane wartości dotyczą metody OSIRIS.

Podjęto również działania mające na celu odzyskanie części informacji zawartej w cechach tęczówki zmienionych na skutek działania procesów pośmiertnego rozkładu tkanek oka. W tym celu zaproponowano nowy zestaw filtrów, stanowiący połączenie tradycyjnie używanych w biometrii tęczówki filtrów Gabora z nowymi filtrami, uzyskanymi w procesie uczenia sieci neuronowej na podstawie obrazów tęczówek osób zmarłych. Ta modyfikacja etapu kodowania cech tęczówki pozwoliła na dalszą redukcję błędu zrównoważonego dla próbek

pobrane w horyzontach czasowych dłuższych niż 24 godziny, dla przykładu dla wspomnianego wcześniej zestawu próbek pobranych do 60 godzin po śmierci błąd zmniejszono nawet o jedną trzecią -- z uzyskanych wcześniej 6.40% do 4.39%.

Ostatnim elementem proponowanego systemu biometrii tęczówki jest pierwsza znana Autorowi pracy metoda testowania żywotności w scenariuszu uwzględniającym prezentację próbek pochodzących od osób zmarłych, która umożliwia odróżnianie takich próbek od tych pochodzących od osób żyjących z 99% skutecznością.

Autor wyraża nadzieję, że przedstawiona w poniższej rozprawie doktorskiej metoda poprawy jakości działania systemów biometrii tęczówki dla trudnych próbek pochodzących od oczu objętych zmianami biologicznymi stanowić będzie wartościowy wkład w rozwój dziedziny, umożliwiając niezawodną identyfikację w nawet tak trudnych okolicznościach, jak również poszerzy możliwy krąg zastosowań rozpoznawania tęczówki na nowe obszary, takie jak wykorzystanie w kryminalistyce.

prof. dr hab. inż. **Krzysztof Ślot**
Instytut Informatyki Stosowanej
Politechnika Łódzka

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera

Mateusza Trokielewicza

p.t.

Iris Recognition Methods Resistant to Biological Changes in the Eye

1. Podjęte zagadnienie naukowe, charakter rozprawy i jej tezy

Przedstawiona w rozprawie Pana magistra inżyniera Mateusza Trokielewicza tematyka badawcza to biometryczne rozpoznawanie osób na podstawie zarejestrowanych obrazów tęczówki. Obszarem zainteresowania Doktoranta są szczególne, trudne problemy identyfikacji realizowanej na podstawie tęczówek dotkniętych zmianami chorobowymi oraz rozpoznawania z użyciem tęczówek pochodzących od osób zmarłych. Zagadnieniem naukowym podjętym przez Doktoranta jest próba opracowania nowych lub modyfikacja istniejących metod biometrii tęczówki, prowadzących do uzyskania znaczącego, w stosunku do bieżącego stanu dziedziny, wzrostu poprawności identyfikacji dla obydwu wymienionych kontekstów. Osiągnięcie tak określonego celu pozwoliłoby na zapewnienie biometrii tęczówki dominującej roli niemal bezbłędnego narzędzia określania tożsamości, również w nie rozważanych dotąd, a istotnych z punktu widzenia praktycznego, scenariuszach zastosowań.

Zaburzenie wyglądu tęczówek spowodowane występowaniem stanów chorobowych oka jest istotnym wyłomem w dotychczas obowiązującym dogmacie niezmienności struktury tej biometryki na przestrzeni całego życia, o oczywistych negatywnych konsekwencjach, dlatego opracowanie odpowiednich środków zaradczych ma trudne do przecenienia znaczenie praktyczne. Równie istotne znaczenie ma uzyskanie istotnego postępu w analizie tęczówek podlegających procesom pośmiertnej degradacji. Pierwszym zastosowaniem jest tu oczywiście identyfikacja zmarłych w warunkach, gdy wykorzystanie innych przesłanek jest niemożliwe, ale równie istotne jest rozstrzygnięcie możliwości przeciwdziałania wykorzystaniu 'martwych' tęczówek w celu dokonania tzw. ataku prezentacji.

Prace wykonane przez Doktoranta stanowią kompleksowe podejście do realizacji sformułowanego zagadnienia naukowego, a wytyczone cele prac są podsumowane zbiorem postawionych przez Niego czterech hipotez naukowych, które w moim tłumaczeniu, mają następującą postać:

1. Mimo, że identyfikacja osób dotkniętych schorzeniami oczu lub osób zmarłych, jest możliwa przy użyciu stosowanych obecnie metod rozpoznawania tęczówki, poprawność tego rozpoznawania jest znacząco niższa w przypadku rozpoznawania osób zdrowych.

2. Możliwe jest zwiększenie poprawności rozpoznawania tęczówek dotkniętych zmianami chorobowymi i tęczówek podlegających procesom pośmiertnej dekompozycji, z wykorzystaniem metody segmentacji bazującej na koncepcji głębokiej konwolucyjnej sieci neuronowej.
3. Możliwe jest zwiększenie poprawności rozpoznawania tęczówek podlegających procesom pośmiertnej dekompozycji, poprzez wprowadzenie dedykowanych metod reprezentacji obrazu tęczówki.
4. Możliwe jest opracowanie metody, wykorzystującej wyłącznie analizę pojedynczego obrazu, pozwalającej na uzyskanie wysokiej skuteczności odróżniania tęczówek żywych od tęczówek pochodzących od osób zmarłych.

Podjęte w rozprawie badania mają pionierski charakter, a ich genezą było zakwestionowanie powszechnie przyjętych, choć pozbawionych obiektywnego potwierdzenia dogmatów. W konsekwencji, praca ma silne zabarwienie eksperymentalne – dla krytycznej weryfikacji istniejącego stanu wiedzy niezbędne było zgromadzenie i odpowiednie opracowanie obszernego materiału doświadczalnego, a następnie przeprowadzenie serii eksperymentów i analiza uzyskanych wyników. W efekcie potwierdzenia stawianych hipotez, Doktorant podjął zadanie opracowania nowych i modyfikacji istniejących metod biometrii tęczówki, umożliwiających skuteczne rozpoznawanie osób dla obydwu rozważanych w rozprawie przypadków, a więc wykonał również obszerne prace o charakterze algorytmicznym i teoretycznym.

2. Analiza źródeł

Przedłożoną rozprawę studiuje się z dużym zainteresowaniem między innymi z uwagi na doskonałe rozeznanie Autora w zakresie stanu wiedzy w obszarze rozpoznawania biometrycznego wykorzystującego tęczówkę. Obfitość i kompetentny dobór referencji dotyczy zarówno pozycji literaturowych o charakterze podstawowym, jak i najświeższych doniesień, raportujących najnowsze osiągnięcia dziedziny lub wyniki prowadzonych eksperymentów.

Ponieważ inspiracją dla prac podsumowanych w rozprawie była wspomniana już wcześniej krytyka panujących powszechnie (choć niepopartych dowodami empirycznymi) przekonań o nieprzydatności tęczówki dla celów identyfikacji pośmiertnej, Doktorant umiejętnie urozmaica techniczny przekaz rozprawy niemal fabularnym schematem narracji, wzmacniającym znaczenie uzyskanych przez siebie wyników. Prezentację osiągnięć swoich i swojego zespołu naukowego, poprzedza obszernymi i pochodzącymi z opiniotwórczych publikacji cytatami, autorytatywnie negującymi przydatność tęczówki w rozważanych analizach, co dobitnie kontrastuje z potwierdzonym przez Niego eksperymentalnie stanem faktycznym.

Na podkreślenie zasługuje rzetelna prezentacja najnowszych osiągnięć naukowych uzyskiwanych przez inne grupy badaczy w zakresie zarówno analizy wpływu stanów chorobowych oka na skuteczność rozpoznawania tęczówki, możliwości jej wykorzystania po biologicznej śmierci organizmu oraz proponowanych sposobów rozwiązywania istniejących problemów. W każdym przypadku, Doktorant wyraźnie wskazuje elementy wyróżniające jego badania, którymi typowo są metody pozwalające na eliminację wskazywanych w publikacjach problemów.

Podstawą sformułowanych i pozytywnie zweryfikowanych przez Doktoranta nowych metod analizy danych jest, stanowiąca obecnie najskuteczniejsze narzędzie uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji, koncepcja głębokich sieci neuronowych. Autor wykazuje doskonałą orientację w obszarze głębokiego uczenia, umiając zidentyfikować i odpowiednio wykorzystać właściwe,

metodyki szczegółowe: do realizacji procesu semantycznej segmentacji obrazu tęczówki wykorzystuje kodująco-dekodujące sieci konwolucyjne (FCEDN – Fully-Convolutional Encoder-Decoder Networks), projektowanie filtrów dedykowanych rozważanej klasie obrazów dokonywane jest z użyciem konwolucyjnych sieci syjamskich (Convolutional Siamese Networks), zaś kluczowym elementem opracowania metody detekcji żywości tęczówki była koncepcja identyfikacji w wytrenowanej strukturze specyficznych dla różnych klas rozkładów aktywacji (CAM – Class Activation Mapping).

3. Zasadność założeń, użyte metody i uzyskane wyniki

Stwierdzenie słuszności pierwszej tezy rozprawy: wykazanie słabości standardowych metod identyfikacji osób z wykorzystaniem obrazu tęczówki w sytuacji występowania zmian chorobowych lub w sytuacji postępującej dekompozycji martwych tkanek, staje się jednocześnie uzasadnieniem założenia o konieczności wprowadzenia do tych metod odpowiednich zmian, co potwierdza zasadność prac Autora, podsumowanych w rozprawie.

Przesłanką do sformułowania pierwszej tezy były wyniki wcześniejszych prac innych zespołów badawczych, wskazujące na istnienie problemów biometrii tęczówki w odniesieniu do pacjentów po zabiegach usunięcia zaćmy lub poddanych działaniu leków rozszerzających źrenicę. Doniesienia te zostały przez Autora zweryfikowane w serii starannie zaplanowanych i przeprowadzonych eksperymentów, wskazujących na istnienie bardzo istotnych rozbieżności między porównywanymi próbkami pochodzącymi z tego samego oka. Zastosowana przez Doktoranta, kompetentna metodyka analizy wyników eksperymentów, jednoznacznie podważyła zasadność hipotezy statystycznej o braku związku chorób oczu z wynikami rozpoznawania. Co więcej, Doktorant wykazał to w odniesieniu do zbioru czterech metod, powszechnie uznawanych za najbardziej zaawansowane narzędzia identyfikacji biometrycznej, wykorzystujących odmienne koncepcje do realizacji szczegółowych etapów przetwarzania. Bezsporne wykazanie słabości stosowanych metod, stało się naturalną przesłanką dla sformułowania tezy o prawdopodobnej wrażliwości procesu analizy tęczówki na innego rodzaju schorzenia oka, skutkujące zmianami wyglądu rejestrowanej tkanki. Przypuszczenie to zostało potwierdzenie w wynikach kolejnych eksperymentów, wykorzystujących opracowaną przez Doktoranta unikatową bazę danych, zawierających materiał ilustrujący szereg innych schorzeń. Wreszcie, stwierdzenie wrażliwości procesu rozpoznawania na zmiany wywołane stanami chorobowymi, stanowiły podstawę do sformułowania hipotezy, że nieprzydatność biometryczna tęczówki podlegającej procesowi pośmiertnej dekompozycji wynikać może z niewłaściwego sposobu przeprowadzania analizy, a nie z obiektywnych czynników biologicznych. Punktem wyjścia dla prac w tym obszarze było ponownie stwierdzenie szybko malejącej poprawności rozpoznawania z użyciem standardowych metod w funkcji czasu, jaki upływa od momentu zgonu, znowu z wykorzystaniem specjalnie przygotowanego przez Doktoranta materiału eksperymentalnego.

Konsekwencją wykazania słuszności pierwszej tezy było przystąpienie do prac nad identyfikacją powodów pogorszenia skuteczności biometrycznej identyfikacji tęczówki w rozważanych kontekstach, a następnie, nad opracowaniem modyfikacji eliminujących lub redukujących słabości stosowanej metodyki analizy tęczówki. Przeprowadzona, wnikliwa analiza wyników porównań obrazów tęczówek oczu zdrowych i obarczonych zmianami chorobowymi lub tęczówek zarejestrowanych w różnych odstępach czasu od chwili zgonu z tęczówkami osób żyjących, doprowadziła do szeregu istotnych spostrzeżeń, które stały się fundamentem prac nad modyfikacjami algorytmów rozpoznawania. Kluczowym wnioskiem stało się wskazanie jako najistotniejszej przyczyny błędów porównań, nieprawidłowych wyników segmentacji obszarów zainteresowania, zarówno w odniesieniu do niewłaściwej lokalizacji regionu zainteresowania, jak i w odniesieniu do niewłaściwego określania obszarów o jakości odpowiedniej dla celów analizy.

Odzwierciedleniem zaproponowanej koncepcji modyfikacji procedury biometrycznej analizy obrazu tęczówki jest druga teza rozprawy. Skoro prawdopodobną przyczyną błędów analizy są błędy segmentacji tęczówki, naturalnym środkiem zaradczym jest poszukiwanie lepszych metod dla realizacji tej operacji. Z uwagi na wymykającą się opisowi analitycznemu naturę rozważanego problemu, przyjętą przez Doktoranta strategią postępowania stało się wykorzystanie metod uczenia maszynowego, a w szczególności, odnoszącej ogromne sukcesy koncepcji głębokich sieci neuronowych. Istotą zaproponowanej przez Doktoranta modyfikacji algorytmu rozpoznawania stało się zastąpienie klasycznych metod segmentacji, segmentacją dokonywaną przez, odpowiednio wytrenowaną i dostrojona dla specyfiki zadania, sieć głęboką. Przeprowadzone eksperymenty, poddane starannej analizie statystycznej jednoznacznie wykazały możliwość uzyskania znaczącej poprawy dokładności zarówno wyniku segmentacji (odniesienie do manualnie przygotowanej informacji referencyjnej), jak i dokładności rozpoznawania. Uzyskanie kilkuprocentowego wzrostu poprawności klasyfikacji względem najlepszych istniejących metod komercyjnych, w rozważanej dziedzinie stanowi **fundamentalną poprawę**, dlatego też zaproponowane przez Doktoranta rozwiązanie jest bezdyskusyjnym wykazaniem słuszności zaproponowanej koncepcji, a tym samym, udowodnieniem drugiej tezy rozprawy.

Mimo osiągnięcia znaczącej poprawy jakości rozpoznawania, na zdecydowane uznanie zasługuje wnikliwość badawcza Doktoranta, który nie zadowolił się uzyskanym sukcesem, stawiając hipotezę o możliwości dalszego zwiększenia poprawności analizy, w drodze modyfikacji innego elementu procedury - metody wyznaczania ilościowej reprezentacji tęczówki. Zaproponowana przez Doktoranta metoda wykorzystania do procesu generacji kodu tęczówki, obok typowo stosowanych transformacji falkowych o ustalonych parametrach, również transformacji o współczynnikach nauczonych w sposób maksymalizujący dyskryminację dla rozważanego zbioru danych, okazała się być skuteczna. Uzyskana dalsza poprawa rozpoznawania, stanowiąca potwierdzenie trzeciej tezy rozprawy, pozwala na osiągnięcie poziomu praktycznej stosowalności biometrii tęczówki w odniesieniu do pośmiertnej identyfikacji osób, a więc stanowi unikatowe na skalę światową osiągnięcie Doktoranta.

Ostatni wątek rozprawy to opracowanie metody odróżniania tęczówek żywych i tęczówek 'martwych' (pochodzących ze zwłok), dokonywanej wyłącznie w oparciu o analizę pojedynczego obrazu. Powodem przeprowadzenia detekcji 'żywości' biometryki jest konieczność przeciwdziałania atakom prezentacji, czyli próbom podstawienia systemowi rozpoznawania sfałszowanych danych, w tym, biometryk osoby innej, niż próbująca uzyskać akceptację systemu. Dla osiągnięcia postawionego celu, Doktorant po raz kolejny stosuje poprawną metodykę postępowania, wykazując się jednocześnie wiedzą i intuicją badawczą. Zastosowana przez Niego droga postępowania rozpoczyna się od próby ustalenia przesłanek, stanowiących o różnicach między obrazami należącymi do obydwu kategorii, przy czym zastosowana koncepcja analizy bazuje na identyfikacji cech dyskryminatywnych 'odkrytych' przez odpowiednio wytrenowane głębokie sieci neuronowe. W efekcie uzyskanej diagnozy, Doktorant formułuje odpowiednią metodę, której doskonała skuteczność zostaje potwierdzona przeprowadzoną z dochowaniem wszelkich reguł, weryfikacją eksperymentalną.

Podsumowując przedstawione w niniejszym punkcie oceny, należy podkreślić wzorową metodykę prac prowadzonych w odniesieniu do wszystkich rozważanych wątków tematycznych. W każdym z nich, próby sformułowania właściwych koncepcji rozwiązania problemu są poprzedzone próbą zrozumienia jego przyczyn i istoty. Każda z zaproponowanych koncepcji podlega przemyślanemu sprawdzeniu, dokonywanemu w oparciu o adekwatny materiał doświadczalny. Wreszcie, uzyskiwane wyniki są każdorazowo poddawane starannej analizie statystycznej, uprawniającej do formułowania ostatecznych konkluzji.

4. Oryginalność pracy, samodzielny i oryginalny wkład Autora, pozycja rozprawy

Mimo, że prace Doktoranta od początku wpisane były w szerszy kontekst działań większego zespołu naukowego, zagadnienia przedstawione w rozprawie stanowią obszar Jego samodzielnych badań, lub badań, w których jego udział był dominujący. Analiza dorobku Doktoranta nie pozostawia wątpliwości, że tezy badawcze rozprawy zostały przez Niego sformułowane i dowiedzione samodzielnie.

Osiągnięcia Doktoranta podsumowane w przedłożonej rozprawie dotyczą różnych aspektów dziedziny biometrii tęczówki. Pierwszym z nich, który ma znaczenie przede wszystkim użyteczne, to opracowanie unikatowych w skali światowej i publicznie udostępnionych zbiorów danych przeznaczonych do badań nad wpływem chorób oczu oraz wpływem pośmiertnych procesów dekompozycji tkanek na poprawność rozpoznawania bazującego na obrazie tęczówki. Doktorant opracował metodologię pozyskiwania materiału eksperymentalnego, uczestniczył w procesie zbierania obrazów i ich opisywania, a także zaprojektował strukturę wielu zbiorów danych, o liczności pozwalającej na przeprowadzanie statystycznie istotnych analiz oraz o zawartości wypełniającej istotną lukę, jaka panowała dotychczas w istniejących zasobach.

Wartościowym i znaczącym wkładem naukowym Doktoranta do dziedziny rozpoznawania biometrycznego wykorzystującego obrazu tęczówki, są sformułowane przez Niego nowe i oryginalne metody, znacząco zwiększające poprawność realizowanych analiz, a w szczególności:

1. Opracowanie metody segmentacji obrazu tęczówki, ukierunkowanej na eliminację obszarów zmienionych wskutek występowania stanów chorobowych lub wskutek zachodzących w martwych tkankach procesów rozkładu. Istotą metody jest wykorzystanie metod uczenia głębokiego, tworzących pośrednio, na podstawie wiedzy zawartej w zbiorze przykładów, odpowiednie, ilościowe modele obszarów patologicznych i poprawnych.
2. Opracowanie metody tworzenia dyskryminatywnej reprezentacji obrazu tęczówki, dedykowanej dla specyficznych kategorii danych i wykorzystującej filtry splotowe, o parametrach uzyskiwanych z wykorzystaniem odpowiednio wytrenowanej sieci neuronowej 'syjamskiej'
3. Opracowanie metody detekcji ataku prezentacji, wykorzystującego tęczówki osób zmarłych, bazującej na pojedynczym obrazie, a więc zasadnej w sytuacji braku możliwości testowania prawidłowości przebiegu naturalnych dla żywego oka procesów fizjologicznych.

Osiągnięcia wymienione w dwóch pierwszych punktach prowadzą do modyfikacji algorytmu rozpoznawania tęczówki, zapewniającego uzyskanie **jakościowej** poprawy skuteczności w rozważanych kontekstach. Oznacza to osiągnięcie efektów liczących się w skali światowej, docenionych zresztą przez środowisko naukowe faktem opublikowania wyników prac Doktoranta w najbardziej liczących się na świecie czasopismach naukowych z zakresu biometrii.

Trzecie z wymienionych osiągnięć należy niewątpliwie również uznać za niezwykle wartościowe, chociaż jak to zostało zaznaczone, ma ono zakres potencjalnej stosowalności wyłącznie w przypadku niemożliwości dokonania tzw. testów żywości, wykorzystujących sekwencje rejestrowanych obrazów oka.

5. Zwięzłość i jasność rozprawy oraz poprawność redakcyjna

Praca jest napisana w sposób niemal wzorowy. Prezentacja treści dokonywana jest w przemyślany, logicznie uporządkowany sposób. W pracy praktycznie nie znalazłem fragmentów niezrozumiałych lub nieistotnych. Na szczególne uznanie zasługuje jasność przekazu treści, ogromnie wspierana dzięki starannie opracowanemu materiałowi graficznemu. Wreszcie, jestem pod wrażeniem poprawności językowej pracy.

6. Słabe strony i wady

Jak wcześniej wspomniałem, wyszukanie słabych stron pracy wymaga sporo wysiłku. Wynikiem krytycznej analizy tekstu jest krótka lista uwag, adresujących nieliczne słabości rozprawy, o zdecydowanie drugorzędym charakterze.

Jedną z niewielu dostrzeżonych przeze mnie niezręczności przekazu treści jest zdanie: „Can dead iris be effectively used in presentation attack detection”. Wydaje się, że sens przytoczonego zdania jest odwrotny do zamierzonego – chodzi chyba o możliwość dokonania ataku z wykorzystaniem martwej tęczówki, a nie możliwość detekcji takiego ataku.

Jedyny fragment pracy, w którym przedstawione wyjaśnienia nie są wystarczające, dotyczy opisu metodyki uczenia sieci syjamskiej, zastosowanej jako narzędzie ‘projektowania’ splotowych filtrów do analizy transformowanego do współrzędnych biegunowych obrazu tęczówki. Zagadnienia, które nie są dostatecznie jasne, więc ewentualna reprodukcja koncepcji na podstawie przedstawionego opisu i dostępnego publicznie materiału doświadczalnego nie byłaby możliwa, to:

- struktura modułu sieci konwolucyjnej – można domniemywać, że sieć ma organizację trójwymiarową, zawierającą 6 ‘plastrów’, z których każdy stanowi jeden z sześciu poddawanych uczeniu filtrów konwolucyjnych, ale możliwe jest również, że architektura jest inna (np. osobne uczenie każdego z filtrów)
- w przypadku, gdy uczeniu podlega jednocześnie sześć filtrów, brak jest informacji o sposobie agregacji wyników filtracji, dokonywanej za pomocą uczonych filtrów – czy jest to zbiór sześciu dodawanych do siebie sum modułów różnic, między odpowiadającymi sobie wyjściami filtrów obydwu gałęzi przetwarzania?
- niejasne jest wykorzystanie wyjściowego neuronu, jako narzędzia do budowy funkcji błędu: skoro wyjście sieci to ‘sigmoidalny’ neuron, to idealna zgodność pomiędzy obrazami po filtracji przekłada się na błąd o wartości 0.5. Czy rzeczywiście, ten wynik jest miarą błędu, propagowaną wstecz?

7. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Przedłożona do recenzji rozprawa, a ściślej, zawarte w niej wyniki prac Doktoranta, stanowią **istotny wkład** do dziedziny badań nad biometrią tęczówki. Sformułowane przez Doktoranta koncepcje i algorytmy mają konkretną postać, pozwalającą na ich bezpośrednią implementację w powszechnie dostępnym, otwartym narzędziu OSIRIS, służącym do identyfikacji biometrycznej na podstawie obrazów tęczówki. Dlatego też, uzyskane wyniki mają oczywisty, użyteczny charakter, dostarczając społeczności naukowej narzędzia poprawy jakości analizy biometrycznej dla dwóch specyficznych, ale istotnych kontekstów.

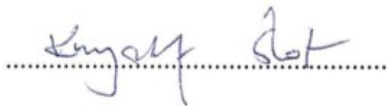
Dodatkową wartością, zwiększającą przydatność rozprawy dla nauk technicznych, jest zawarcie w niej koncepcji o uniwersalnym charakterze, które mogą stanowić inspiracje dla rozwiązywania

problemów szczegółowych w innych obszarach rozpoznawania. Do takich koncepcji należą bezsprzecznie metody budowy dedykowanych dla specyficznego problemu, dyskryminatywnych reprezentacji danych, wykorzystujących konwolucyjne warstwy neuronowe oraz metody interpretacji modeli tworzonych przez głębokie sieci neuronowe, wspomagające odkrywanie istoty sposobu rozwiązywania zadania.

8. Wniosek końcowywymagania określone w odnośnej ustawie o stopniach i tytule naukowym

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Mateusza Trokielewicz p.t. „Iris Recognition Methods Resistant to Biological Changes in the Eye” **spełnia**, w moim przekonaniu **z wyraźnym nadmiarem**, wymagania określone w odnośnej ustawie o stopniach i tytule naukowym i tym samym **wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony**.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę niepodważalne w mojej opinii osiągnięcia naukowe Doktoranta, przedstawione w rozprawie, **wnioskuje o jej wyróżnienie**.

.....

Dr hab. inż. Michał Choraś, prof. nadzw. UTP

Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki,

WTiIE, UTP, Bydgoszcz

Recenzja rozprawy doktorskiej pt.

„Iris recognition methods resistant to biological changes in the eye”,

której Autorem jest Pan mgr inż. Mateusz Trokielewicz

1. Wprowadzenie.

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej, której Autorem jest Pan mgr inż. Mateusz Trokielewicz, została wykonana na zlecenie Rady Wydziału Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej.

Rozprawę odebrałem w dniu 17 kwietnia 2019, a recenzję wysłałem przed upływem wyznaczonego terminu w maju 2019 (6 maja 2019).

Niniejsza recenzja (poza wprowadzeniem i wnioskiem) zawiera odpowiedzi na osiem zasadniczych pytań dotyczących rozprawy doktorskiej, zgodnych z kwestionariuszem wykorzystywanym na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej i przesłanym wraz z dokumentami oraz pracą.

2. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy? Czy został on trafnie i jasno sformułowany? Jaki charakter ma rozprawa?

Rozprawa, której Autorem jest Pan mgr inż. Mateusz Trokielewicz, dotyczy metod biometrycznej identyfikacji osób, a w szczególności biometrii bazującej na tęczę oka.

W szczególności Autor bada wpływ chorób okulistycznych oraz śmierci na skuteczność systemów identyfikacji osób na podstawie tęczę oka, oraz proponuje własne rozwiązania zwiększające skuteczność działania takich systemów (np. w zakresie segmentacji, rozpoznawania oraz odporności na ataki).

Problemy naukowe zostały jasno i trafnie sformułowane, a także rozwiązane przez Autora.

Autor przedstawił główne problemy i zagadnienia niniejszej rozprawy w czterech głównych punktach i tezach rozprawy (sekcja 1.2, strona 18), i odnosi się do nich konsekwentnie w dalszych częściach rozprawy. Każda z tez i problemów jest dogłębnie rozwinięta w odpowiadających rozdziałach, gdzie stawiane są dodatkowe pytania, zagadnienia i cele (np. str. 53).

Rozprawa ma charakter teoretyczno-analityczno-doświadczalny. Praca ma także charakter interdyscyplinarny.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Niniejsza rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki. Autor, w odniesieniu do każdego z problemów badawczych, przedstawił aktualny stan wiedzy oraz przegląd aktualnej literatury. Co istotne, przegląd źródeł zawsze prowadzi ich analizy oraz do odpowiednich wniosków i podsumowań (często zawartych także w tabelach, np. tabele 2.1 i 3.1 na stronach odpowiednio 34 i 58).

Bardzo podoba mi się także sposób w jaki Autor zaprezentował swoje własne prace – zauważalne jest, że były one bardzo przemyślane oraz prowadziły one kolejno do rozwoju zarówno Autora jako naukowca, a także jaki wpływ miały na prowadzenie badań związanych z niniejszą rozprawą.

4. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia ? Czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych? Czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor w sposób odpowiedni rozwiązał problemy, których dotyczy rozprawa.

Nie mam wątpliwości, iż Autor posiada dużą wiedzę dot. zagadnień związanych z biometryczną identyfikacją osób. Doktorant wykazał się także umiejętnościami dotyczącymi prowadzenia badań naukowych, eksperymentów, projektowania systemów informatycznych oraz implementacji i programowania. Na pochwałę zasługuje wysiłek włożony w pozyskanie biometrycznych baz danych zgodnych z projektem i protokołem Autora rozprawy.

Autor poprawnie korzysta ze znanych aktualnych narzędzi, takich jak np. Keras.

Co istotne, Autor w pełni rozumie ograniczenia oraz wady pewnych rozwiązań, także tych wykorzystywanych przez siebie w pracy. Fakt ten pokazuje, iż Autor jest dojrzałym

naukowcem odpowiednio poruszającym się w zagadnieniach związanych z informatyką, systemami rozpoznawania oraz biometryczną identyfikacją osób.

Ponadto Autor bardzo dobrze rozumie aspekty nietechniczne związane z etyką prowadzenia badań, ochroną danych i prywatności itp.

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu nauki reprezentowanych przez literaturę światową?

Tematyka rozprawy jest bardzo aktualna – wciąż trwają prace nad poprawą znanych metod biometrycznych oraz projektowaniem nowych rozwiązań dla coraz to innych zastosowań.

Praca Autora bardzo dobrze wpisuje się w aktualne trendy biometryczne związane z badaniami dotyczącymi wpływu:

- efektów starzenia się próbek biometrycznych (*j.ang. ageing*)
- efektów procesów chorobowych na próbki biometryczne
- analizy post-mortem
- bezpieczeństwa systemów biometrycznych i ataków na takie systemy

Autor nie proponuje całkiem nowych metod ani algorytmów przetwarzania obrazów, a wykorzystuje znane podejścia, m.in. falki/filtry Gabora oraz głębokie splotowe sieci neuronowe.

Tym niemniej, rezultaty Autora są bardzo pionierskie i oryginalne, oraz wnoszą znaczny wkład w rozwój biometrii bazującej na tęczęwce oka.

W szczególności, wkład i dokonania Autora to między innymi:

- Stworzenie pionierskich baz biometrycznych dotyczących tęczęwek zmienianych chorobami oraz bazy post-mortem (obie we współpracy z lekarzami). Co istotne bazy te są otwarte dla środowiska naukowego. W ramach pracy stworzono pierwszą bazę tęczęwek oka post-mortem.
- Analiza wpływu zmian tęczęwki oka spowodowanych chorobami okulistycznymi na skuteczność działania znanych systemów biometrycznych. Autor wykonał badania porównawcze pokazujące nie tylko skutek, ale też przyczyny pogorszenia skuteczności badanych systemów biometrycznych (największy wpływ mają zniekształcenia geometryczne i przesłonięcia tęczęwki).
- Analiza wpływu obumarcia tęczęwki oka na skuteczność działania znanych systemów biometrycznych oraz bardzo odważne i nowatorskie wyniki analizy dotyczących czasu przydatności tęczęwki post-mortem w rozpoznawaniu osób.

- Opracowanie metody segmentacji tęczówki oka (oraz jej przetestowanie i uzyskanie dobrych wyników), która poddana jest zmianom i deformacjom chorobowym.
- Opracowanie metody segmentacji obumarłej tęczówki (post-mortem) oka (oraz jej przetestowanie i uzyskanie dobrych wyników), która poddana jest zmianom i deformacjom.
- Nowa metoda opisu cech (reprezentacji) obumarłej tęczówki oka (post-mortem) wykorzystująca falki Gabora i filtry uczone na danych.
- Zaproponowanie pierwszej metody detekcji żywotności (*j.ang. liveness detection*) tęczówki oka z wykorzystaniem zdjęć obumarłych tęczówek w eksperymentach.

Postawione we wstępie pracy (sekcja 1.2) tezy/problemy badawcze zostały udowodnione.

Podkreślić także należy znaczny nakład pracy na pozyskanie, przygotowanie i oznaczanie próbek biometrycznych.

Na uwagę zasługuje także aktywność publikacyjna Autora rozprawy, w tym publikacje na najważniejszych biometrycznych konferencjach międzynarodowych, a także publikacje w prestiżowych czasopismach, w tym np. w IEEE Transactions on Information Forensics and Security. Autor brał też udział w projektach badawczych, w tym w BioWiz i TSHEPII w USA.

Reasumując praca jest aktualna i ważna, a wkład Autora znaczący.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników? Jaka jest poprawność redakcyjna rozprawy?

Praca napisana jest na bardzo wysokim poziomie edycyjnym, graficznym oraz językowym.

Niniejsza rozprawa stanowi przykład bardzo profesjonalnie przygotowanej, przemyślanej i napisanej pracy doktorskiej. Zarówno przeprowadzone eksperymenty, jak i uzyskane wyniki przedstawione są w sposób jasny i klarowny, oraz metodologicznie poprawny. Warstwa eksperymentalna i prezentacji wyników jest bardzo bogata.

Praca zredagowana jest na bardzo wysokim poziomie.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Przedstawiona rozprawa jest bardzo dobra i nie ma zbyt wielu słabych stron.

Jednym z mankamentów jest brak dogłębnej analizy dotyczącej powodów wyboru poszczególnych stosowanych rozwiązań – w pracy brakuje szerszej analizy innych możliwych wyborów (np. alternatyw dla głębokich splotowych sieci neuronowych lub wybranych filtrów).

W pracy brakuje także, chociażby skrótowych, odniesień do innych modalności biometrycznych (w zakresie analizy post-mortem, ataków itp.).

Moim zdaniem, można także było znacznie szerzej opisać pozyskane dane (bazy biometryczne), ich rozwój oraz protokół ich pozyskiwania. Na przykład tabela 2.2. zawiera informację o ilości próbek/zdjęć, ale nie zawiera informacji o ilości osób (*j.ang. data subjects*), od których pozyskano dane.

Ciekawy byłby także (nie poruszony w pracy) aspekt związany z klasyfikacją jednostek chorobowych na podstawie tęczyówek oka.

W lepszy sposób Autor mógł przedstawić i wytłumaczyć metodologię wykorzystania próbek biometrycznych w badaniach, a w szczególności informację (może w sposób graficzny, schemat blokowy itp.) kiedy wykorzystywane są tęczyówki obumarłe, kiedy pobrane od osób żywych (ale chorych), oraz że (to nie jest zarzut ani wina Autora) próbki post-mortem nie są porównywane z próbkami tęczyówek żywych (a rolę próbek żywych mogą pełnić tęczyówki post-mortem w bardzo krótkim czasie po śmierci).

Ponadto należałoby umieścić także więcej szczegółów dotyczących samego procesu trenowania głębokiej sieci neuronowej wykorzystywanej w pracy. W pracy przydałoby się także więcej informacji dokładnie wskazujących i wyjaśniających ręczne (manualne) etapy przetwarzania wstępnego, szczególnie w przypadkach gdy wstępne manualne badania prowadziły do decyzji dot. dalszych konfiguracji poszczególnych etapów procesu rozpoznawania.

W pracy Autor do badań i porównań wykorzystał komercyjne rozwiązania biometryczne, co niestety uniemożliwia głębszą analizę wpływu wykorzystanych tam metod na skuteczność i odporność tych systemów na choroby lub obumarłą tęczyówkę. Nie jest to jednak zarzut dla Autora, a jedynie stwierdzenie faktu.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Praca ma bardzo dużą potencjalną przydatność dla wielu nauk, w tym:

- Nauk technicznych w zakresie informatycznych biometrycznych metod identyfikacji osób na podstawie tęczyówki oka, na przykład w systemach biometrycznych dużej skali, takich jak systemy w Kanadzie lub Indiach

- Nauk technicznych w zakresie praktycznego zastosowania głębokich splotowych sieci neuronowych
- Nauk medycznych, w szczególności okulistyki, w zakresie zrozumienia zmian w tęczówce oka wywołanych chorobami oraz śmiercią
- Nauk kryminalistycznych i informatyki śledczej, w zakresie identyfikacji zmarłych/ofiar na podstawie obumarłej tęczówki oka
- Nauk technicznych w zakresie udostępnienia stworzonych przez Autora baz danych tęczówek oczu
- Nauk związanych z bezpieczeństwem w zakresie badań ataków na systemy biometryczne

Ponadto praca jest dobrym przykładem prowadzenia badań w zakresie nauk technicznych i informatyki, przy jednoczesnym zrozumieniu i wykorzystaniu dobrych praktyk w zakresie aspektów etycznych, prawnych, ochrony danych osobowych oraz prywatności.

Praca może być inspiracją dla dalszych badań w wielu ośrodkach, a także dla producentów komercyjnych rozwiązań w zakresie identyfikacji osób na podstawie tęczówki oka.

9. Do której z kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

Niniejszą rozprawę zaliczam do kategorii (wg klasyfikacji WETI PW):

d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem

10. Wniosek

Biorąc pod uwagę przedstawioną przez Doktoranta rozprawę stwierdzam, że spełnia **ona z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim** przez obowiązującą Ustawę o stopniach i tytule naukowym, i wnioskuję o **dopuszczenie** jej do publicznej obrony.

KIEROWNIK
Zakładu Systemów Teleinformatycznych


dr hab. inż. Michał Choraś
prof. nadzw. UTP