



Prof. dr hab. Ewa Grabska
Zakład Projektowania i Grafiki Komputerowej
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński

Kraków, 13. 06. 2022

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: System wykrywania i rozpoznawania twarzy na obrazach

Autor rozprawy: mgr inż. Michał Bukowski

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Konrad Wojciechowski

Promotor pomocniczy: insp. dr hab. Iwona Klonowska

I. Informacje ogólne

Oceniana rozprawa doktorska mgr inż. Michała Bukowskiego zatytułowana „System wykrywania i rozpoznawania twarzy na obrazach” stanowi opracowanie o objętości 201 stron, zawierające 75 rysunków, 11 tabel, spis literatury obejmujący 121 pozycji oraz elektroniczną wersję rozprawy w formacie PDF na płycie CD.

II. O przedmiocie rozprawy

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Michała Bukowskiego dotyczy metody badawczej zwanej antropometrią, która polega na pomiarach porównawczych części ciała ludzkiego. Celem antropometrii jest uzyskanie danych pomiarowych z ustalonych punktów pomiarowych zwanych punktami antropometrycznymi. Autor rozprawy zajmuje się oceną możliwości zastosowania cech antropometrycznych do identyfikacji twarzy na obrazach. Wyniki antropometrycznej analizy twarzy znajdują liczne zastosowania, na przykład w medycynie sądowej oraz kryminalistyce, jak również w informatyce oraz sztuce.

Od przełomu XX i XXI wieku istnieje dyskusja na temat „nienaukowości” większości metod identyfikacji twarzy. Konsekwencją owej dyskusji było podjęcie na szeroką skalę starań polegających na standaryzacji stosowanych metod oraz certyfikacji ekspertów.

Innym działaniem mającym przyczynić się do rozwiązania problemu „nienaukowości” jest regularny powrót do idei pomiaru, uznając metody pomiarowe za jedną z głównych technik identyfikacji wartą naukowego zainteresowania. Od podjęcia pierwszych prób opracowania metod identyfikacji kryminalistycznej opartych na pomiarze mija ok. 150 lat. Należy jednak zwrócić uwagę, iż niektóre metody pomiarowe, wśród nich antropometria, po okresie intensywnego stosowania uległy zarzuceniu albo znaczącym przekształceniom. Problem ze stosowaniem do celów identyfikacyjnych metod pomiarowych tkwi w tym, że najczęściej przynoszą one oczekiwany skutek jedynie wówczas, gdy badane cechy identyfikowanego obiektu są niezmiennie. Taka sytuacja w praktyce ma miejsce rzadko.

Obecnie jednak zwrot ku metodom pomiarowym wydaje się uzasadniony i to nie tylko z powodu, że upowszechnienie pomiaru i metod pomiarowych może przyczynić się do zmniejszenia subiektywizmu klasycznych metod identyfikacyjnych, ale również dzięki temu, że rozwój nauki spowodował, że potrafimy mierzyć coraz więcej obiektów i ich właściwości oraz dysponujemy coraz dokładniejszymi narzędziami pomiarowymi, sprzętem foto-wideo oraz odpowiednim oprogramowaniem. Poza tym, zdarza się, że jedynym dostępnym dowodem przestępstwa jest nagranie wideo, zawierające wizerunek przestępcy. Metody pomiarowe są kierunkiem badań, który jest wart stawiania celów badawczych, zdając sobie sprawę z jego ograniczeń.

III. O postawionym w rozprawie celach

Cel jaki rozważa w rozprawie doktorant to wyznaczenie cech antropometrycznych i na tej podstawie dokonanie oceny możliwości identyfikacji twarzy z obrazów dwuwymiarowych w warunkach niekontrolowanych.

Główne hipotezy Autora do weryfikacji są następujące:

1. Dla danych punktów antropometrycznych w orientacji neutralnej głowy istnieje zależność pomiędzy dwoma wektorami cech biometrycznych wyznaczona na podstawie trójwymiarowych oraz dwuwymiarowych współrzędnych tych punktów.
2. Na podstawie informacji o orientacji głowy istnieje możliwość korygowania wektora cech biometrycznych pozyskanych z dwuwymiarowego obrazu.

IV. Przegląd zawartości rozprawy

W **Rozdziale 1** Autor wyjaśnia na czym polega identyfikacja osób i krótko charakteryzuje stosowane metody ich identyfikacji. Kluczowe znaczenie w rozpoznawaniu osób odgrywają metody identyfikacji twarzy, będące tematem niniejszej rozprawy, której cel i zakres badań opisany jest w dalszej części rozdziału.

Rozdział 2 ma charakter przeglądowy metod identyfikacji twarzy takich jak antropometria, morfologia, nakładanie i rekonstrukcja twarzy.

Koncepcję punktów antropometrycznych została opracowana w końcu XVIII wieku i dotyczyła czterech pomiarów czaszki: wysokości twarzy od czoła do brody, szerokości czaszki pomiędzy skroniami, wysokości czaszki od wierzchołka do potylicy oraz odległości pomiędzy wierzchołkiem czaszki i wyrostkiem kości skroniowej. Te początkowe pomiary, które są wykorzystywane do tej pory, były z upływem czasu uzupełniane przez kolejne pomiary dotyczące kątów orientacji głowy. A następnie miała miejsce standaryzacja metod antropometrycznych.

Cechy morfologiczne dotyczą formy i struktury obiektu. Obecnie prowadzone analizy morfologiczne obejmują również wizerunek twarzy. Cechy morfologiczne mogą być pomocne w porównywaniu twarzy co najmniej dwóch osób. Porównanie morfologiczne powinno być jednym z etapów identyfikacji twarzy i może być przeprowadzone na zdjęciach lub obrazach wideo. Opis morfologiczny rysów twarzy ma wady wynikające z istnienia wielu czynników wpływających na zmianę rysów. Przykładowo, takimi czynnikami są emocje czy proces starzenia się.

Inną techniką identyfikacji osób jest nakładanie obrazów. W tym wypadku najczęściej używaną konfiguracją sprzętową jest kamera wideo oraz monitor. Okazuje się jednak, że wiarygodność identyfikacji twarzy przy wykorzystaniu tej metody jest niewystarczająca.

Współczesna technika trójwymiarowej rekonstrukcji twarzy korzysta z metod grafiki komputerowej 3D.

Kolejną metodą porównywania wizerunku opisana w rozdziale wykorzystuje wyniki pomiarów biometrycznych, takich jak na przykład odcisk palca czy skan tęczówki oka.

Istotnym problemem opisanym w drugim rozdziale jest rola monitoringu wideo do zwalczania, wykrywania i zapobieganiu przestępczości. Sprzęt wideo, mimo jego ciągłych ulepszeń nie dostarcza obrazów o wymaganej jakości do niepodważalnej identyfikacji osób.

Rozdział kończą rozważania dotyczące analizy obrazu, obejmujące między innymi fotogrametrię.

Rozdział 3 zawiera przegląd algorytmów rozpoznania twarzy. Rozważane są algorytmy rozpoznania twarzy w obu przestrzeniach: dwuwymiarowej oraz trójwymiarowej.

W **Rozdziale 4** Autor opisuje zbiór stwierdzających tożsamość cech antropometrycznych twarzy. Istotne są również zależności pomiędzy poszczególnymi częściami twarzy. Wybierane punkty antropometryczne powinny być jednoznaczne i łatwe do identyfikacji oraz różnicować osoby. Do kolejnych badań antropometrycznych wybrano 21 punktów. Spośród tych punktów istnieją cztery, które wyróżniają się korzystnie w identyfikacji oraz stosunkowo łatwo mogą być zlokalizowane na zdjęciu.

W **Rozdziale 5** przedstawione są techniki stosowania pomiarów antropometrycznych do identyfikacji twarzy. Na podstawie zdjęć twarzy pięciu osób analizowano wpływ kąta widzenia kamery na wyniki pomiarów antropometrycznych. Dla każdej badanej osoby wykonano serię zdjęć dla różnych kątów orientacji głowy. Do badania wybrano cztery punkty antropometryczne twarzy.

Korzystając z odpowiedniego oprogramowania, między innymi było to darmowe oprogramowanie GIMP oraz program Excel, do zdjęć w postaci plików JPEG zostały dodane punkty antropometryczne oraz narysowane odcinki pomiędzy pięcioma parami punktów. W wyniku tego otrzymano dwa trójkąty ze wspólnym bokiem. Każdy z trójkątów reprezentował jedną ze stron twarzy. Dla każdego trójkąta obliczono po trzy proporcje pomiędzy jego bokami oraz po dwa kąty. Dodatkowo obliczono również proporcję pomiędzy dłuższymi bokami przeciwległymi do wspólnego boku trójkątów. Dane te zostały wykorzystane do wyliczenia wartości średnich oraz odchyłeń standardowych ilustrujących zmiany proporcji i pomiarów kątowych wraz ze zmianą kąta obrotu głowy względem kamery. Przy analizie proporcji i kątów przyjęto, że błędy związane z kątem kamery oraz błędy wynikające z naniesienia punktów antropometrycznych są stałe, to znaczy w identyczny sposób wpływają na pomiar wszystkich badanych osób. Lokalizacja punktów antropometrycznych ma również wpływ na otrzymane wyniki.

Z analizy zmierzonych i potwierdzonych danych empirycznych wynika, że dla porównywanej twarzy przedstawionej na zdjęciach kąty widzenia kamer użytych do wykonania tych zdjęć powinny być zbliżone. Dopuszcza się uwzględnienie kąta kamery i skorygowanie pomiarów, uzyskanych ze standardowego widoku (najczęściej, dla kąta zero stopni).

Rozdział 6 zawiera opis oszacowania niepewności pomiarów wybranych proporcji twarzy spowodowanych różnym rozmieszczeniem punktów antropometrycznych przez operatorów dokonujących analizy zdjęć oraz w wyniku wykonywania zdjęć. Oszacowanie niepewności jest brane pod uwagę przy porównywaniu obrazów dwuwymiarowych.

Rozdział 7 zawiera analizę wspomaganą komputerowo zarejestrowanych 21 punktów antropometrycznych z użyciem kamer wideo oraz techniki przechwytywania ruchu (ang. Motion Capture) dla każdej z siedmiu osób biorących udział w badaniu. Celem było wykazanie że dla danych punktów antropometrycznych w orientacji neutralnej głowy istnieje zależność pomiędzy wektorami cech biometrycznych wyznaczona na podstawie trójwymiarowych oraz dwuwymiarowych współrzędnych tych punktów. Rozdział zawiera szczegółowe dane z kolejnych etapów tej analizy.

Rozdział 8 opisuje system wykrywania i rozpoznawania osób do celów procesowych oraz wykorzystanie systemu w postępowaniu karno-procesowym.

Rozdział 9 zawiera podsumowanie oraz pokazuje wybrane kierunki kontynuacji badań.

V. Ocena wyników rozprawy

Mocną stroną rozprawy jest niewątpliwie podjęcie bardzo trudnej tematyki dotyczącej metod pomiarowych stosowanych jako techniki identyfikacji twarzy.

Z dotychczasowych badań wynika, że w większości wypadków pomiar powinien być stosowany wówczas, gdy może podnieść poziom racjonalności wydawanych przez biegłych opinii.

Celem Autora było sprawdzenie możliwości identyfikacji twarzy z porównywanych obrazów z użyciem fotograficznej antropometrii obrazów 2D i 3D.

Wprawdzie przedstawione wyniki potwierdzają dotychczasowy stan, to znaczy, że metoda może być stosowana w ograniczonym zakresie, jednak prowadzone badania zachęcają do kontynuacji tematyki rozprawy. Porównanie wyznaczonych cech antropometrycznych twarzy wraz z ich zmianami dla dwuwymiarowego obrazu w otoczeniu niekontrolowanym z cechami antropometrycznymi w trójwymiarowej przestrzeni w otoczeniu kontrolowanym może stanowić punkt wyjścia do dalszych badań dotyczących identyfikacji i rozpoznawania osób. Ten aspekt rozprawy został przedstawiony oraz zweryfikowany.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością tematu i jego literatury. Cel rozprawy został osiągnięty. Rozprawa jest merytorycznie poprawna i spójna logicznie.

Uwagi krytyczne:

1. Wysoko oceniam umiejętność Autora opisanie metod identyfikacji twarzy oraz problemów rozpoznawania twarzy, odpowiednio w drugim i trzecim rozdziale, natomiast mam zastrzeżenia do streszczenia. Pierwsze zdanie powinno być poprzedzone wprowadzeniem w tematykę antropometrii, a dopiero w dalszej części można pozwolić sobie na jej charakterystykę.
2. W podrozdziale 7.3 brakuje przedstawienia metodologii dotyczącej wyznaczenia odległości antropometrycznych w obrazie 3D. Ponadto, rysunki 23 oraz 25 nie dostarczają żadnych informacji.
3. Strona 77, pierwszy wiersz podrozdziału 5.3
Stwierdzenie „Pomiędzy każdą parą punktów antropometrycznych wyznaczono odcinki...” jest niezgodne z rys. 10. Nie ma odcinka pomiędzy punktami A oraz C.
4. Strona 104, błędny jest zapis $i = 1 \dots N$, powinno być $i = 1, \dots, N$.
Notacja matematyczna jest jednoznaczna.
5. Strona 105, wiersz 9 – błędny wzór.

5. Konkluzja

W sumie nie mam jednak poważniejszych zastrzeżeń do rozprawy i oceniam ją pozytywnie. Oceniana rozprawa doktorska spełnia wymagania, jakie ustawa o stopniach i o tytule naukowym przewiduje dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie: informatyka techniczna i telekomunikacja i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenia jej Autora – mgr inż. Michała Bukowskiego – do publicznej obrony.

