

Kraków, 18 maja 2015 r.

**Dr hab. Janusz Jurek**  
**Katedra Systemów Informatycznych**  
**Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie**  
**ul. prof. St. Łojasiewicza 4, 30-348 Kraków**



### **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej pani magister Wioletty Wójtowicz**  
**pt. „Wykorzystanie technik biometrycznych**  
**do tworzenia cyfrowych znaków wodnych”**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr Wioletty Wójtowicz zatytułowana „Wykorzystanie technik biometrycznych do tworzenia cyfrowych znaków wodnych” przygotowana pod kierunkiem pana prof. dra hab. Marka R. Ogieli. Recenzja została wykonana na prośbę Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pana dra hab. inż. Antoniego Cieśli, prof. nadzw. AGH, w związku z przewodem doktorskim przeprowadzanym na tym wydziale.

Recenzowana rozprawa dotyczy problematyki znakowania wodnego obrazów cyfrowych. Problematyka ta jest niezwykle ważna i aktualna: z jednej strony w kontekście coraz powszechniejszego użycia informacji w postaci cyfrowej (w szczególności obrazów cyfrowych), a z drugiej strony – w kontekście dużej łatwości nieuprawnionego rozpowszechniania i korzystania z tego typu informacji.

Autorka rozprawy, po przedstawieniu krótkiego, wstępnego uzasadnienia dla potrzeby rozwoju metod znakowania wodnego obrazów cyfrowych, sformułowała na stronie 5 we „Wstępie” tezę dysertacji w następującej postaci: *„Możliwe jest opracowanie nowej klasy algorytmów cyfrowego znakowania obrazów, wykorzystujących personalne cechy biometryczne, i gwarantujących integralność danych obrazowych. Algorytmy takie mają istotne zalety w porównaniu z innymi, dotychczas powszechnie stosowanymi rozwiązaniami.”*

Wykazanie tezy pracy autorka sprowadziła do realizacji dwóch celów wymienionych na stronie 6:

- 1) *włączenie pojedynczych biometrycznych znaków wodnych do istniejących algorytmów znakowania wodnego, bazujących na wykorzystaniu jednego znaku wodnego i porównanie tych algorytmów pod kątem skuteczności identyfikacji właściciela obrazu opartej na znakach wodnych po ekstrakcji;*
- 2) *opracowanie nowego wielomodalnego algorytmu znakowania wodnego, który pozwoli na umieszczanie dwóch biometryk jednocześnie i przeprowadzenie weryfikacji biometrycznej właściciela obrazu, w oparciu o fuzję informacji dostarczanych przez te biometryki.*

Teza rozprawy została szczegółowo uzasadniona, a następnie wykazana przez Autorkę w kolejnych rozdziałach rozprawy.

W rozdziale pierwszym Autorka przedstawia kontekst badań: charakterystykę technologii cyfrowego znakowania wodnego oraz technik biometrycznych i ich wykorzystania w systemach znakowania wodnego. W ramach opisu technologii znakowania wodnego przedstawiono: typy znakowania wodnego (prywatne, półprywatne, publiczne), charakterystykę własności znakowania wodnego w kontekście różnych obszarów zastosowań, klasyfikację algorytmów znakowania wodnego (klasyfikacja ze względu na: typ znaku wodnego, jego widoczność, stopień odporności na zakłócenia, sposób dekodowania, uwzględnianie lokalnych własności obrazu oraz dziedzinę wstawienia znaku wodnego), najpopularniejsze transformaty obrazów wykorzystywane w znakowaniu wodnym, a także przegląd możliwych rodzajów ataku

na systemy znakowania wodnego. Z kolei w ramach opisu technik biometrycznych przedstawiono: definicję systemów biometrycznych i etapów ich działania, zagadnienie wielomodalnych systemów biometrycznych oraz problematykę wykorzystania biometrii w systemach bezpieczeństwa. Pierwszy rozdział rozprawy kończy omówienie celów i metod łączenia znakowania wodnego z metodami biometrycznymi (znakowanie wodne znaków biometrycznych i biometryczne znakowanie wodne).

Rozdział drugi rozprawy zawiera szczegółowe przedstawienie najnowszych osiągnięć naukowych w obszarze badań nad biometrycznymi znakami wodnymi wraz ze stosownym przeglądem literaturowym. Jak wykazuje Autorka, początki tej dziedziny badań związane były głównie z wykorzystaniem znakowania wodnego do zabezpieczenia obrazów biometrycznych stosowanych w tradycyjnych systemach biometrycznych, zaś z czasem biometryczne znaki wodne zaczęły coraz częściej pojawiać się w zastosowaniach związanych z ochroną praw autorskich dowolnych obrazów cyfrowych. Autorka wymienia tu szereg przykładów zastosowań (m.in. ukrywanie biometryki twarzy, tęczówki, odcisków palców w obrazach neutralnych; ukrywanie więcej niż jednej biometryki w obrazach neutralnych) oraz wykorzystywane w tych zastosowaniach algorytmy (m.in. dekompozycja na wartości singularne, SVD; analiza składowych głównych, PCA; liniowe kodowanie predykcyjne, LPC; dyskretna transformata falkowa, DWT; dyskretna transformata kosinusowa, DCT).

Rozdziały trzeci i czwarty zawierają rezultaty badań własnych Autorki i są one kluczowymi rozdziałami rozprawy.

W rozdziale trzecim zaprezentowano wyniki badań związanych z wykorzystaniem biometrycznych znaków wodnych w postaci wektorów cech twarzy w celu porównania kilku najbardziej znanych w literaturze algorytmów znakowania wodnego pod kątem skuteczności identyfikacji biometrycznej właścicieli obrazów. W proponowanym przez Autorkę podejściu do przeprowadzenia identyfikacji osób i wynikającej z niej analizy skuteczności działania algorytmów znakowania wodnego wykorzystane zostały sztuczne sieci neuronowe, które na wejściu otrzymują wyekstrahowany znak wodny. Autorka szczegółowo opisuje przeprowadzone eksperymenty i osiągnięte rezultaty oraz przedstawia wnioski dotyczące metody konstrukcji znaku wodnego, wad i zalet

poszczególnych algorytmów, a także wnioski dotyczące metody oceny skuteczności algorytmów.

Rozdział czwarty zawiera opis nowego, zdefiniowanego przez Autorkę, algorytmu biometrycznego znakowania wodnego, pozwalającego na umieszczenie w obrazie cyfrowym dwóch niewidocznych znaków wodnych w postaci obrazu odcisku palca i kodu tęczówki oka. Algorytm ten opiera się na standardowej metodzie MRICA (Multi Resolution Independent Component Analysis), która została dostosowana do wykorzystania dwóch biometrycznych znaków wodnych jednocześnie. Najpierw w ramach algorytmu obliczane są cztery niezależne komponenty bazowe obrazu oryginalnego i wybierane są dwa spośród nich do umieszczenia znaków wodnych. Następnie komponent będący aproksymacją obrazu oryginalnego jest łączony z zakodowanym obrazem odcisku palca z wykorzystaniem transformaty Arnolda, zaś w jednym z komponentów zawierających szczegóły obrazu zostaje umieszczony znak wodny zawierający kod tęczówki i jej maskę z wykorzystaniem techniki kwantyzacji pikseli.

W rozdziale czwartym zawarto również wyniki przeprowadzonych przez Autorkę eksperymentów i testów działania algorytmu. Celem przeprowadzonych testów było zbadanie wpływu procedury znakowania wodnego na jakość i użyteczność wydobytych danych biometrycznych, w tym także w scenariuszach uwzględniających ataki na obrazy. Szczególną uwagę zwrócono tu na aspekt zmniejszenia błędów weryfikacji opartej na danych wyekstrahowanych z obrazów wynikający z połączenia informacji dostarczanych przez obie biometryki.

W rozdziale piątym Autorka przedstawia podsumowanie najistotniejszych wyników badawczych zawartych w rozprawie. Poza wnioskami końcowymi dotyczącymi zrealizowanych celów i odniesienia się do tezy rozprawy, Autorka przedstawia w nim także kierunki dalszych badań zmierzających do udoskonalenia zaproponowanego algorytmu bimodalnego znakowania wodnego.

W mojej ocenie, sformułowała na stronie 5 we „Wstępie” teza dysertacji została przez Autorkę w pełni wykazana. Za dwa podstawowe osiągnięcia Autorki związane z wykazaniem tezy dysertacji uważam:

1. Zaprojektowanie i przeprowadzenie eksperymentów związanych ze znakowaniem wodnym, mających na celu weryfikację skuteczności identyfikacji właścicieli obrazów na podstawie biometrycznych znaków wodnych.
2. Prawidłowe skonstruowanie nowatorskiego algorytmu bimodalnego znakowania wodnego wykorzystującego dziedzinę składowych niezależnych obrazu oraz zaproponowanie prawidłowych metod jego ewaluacji.

W ramach tych dwóch zasadniczych osiągnięć można wskazać szereg wartościowych wyników szczegółowych, takich jak: pozytywne przetestowanie zastosowania zredukowanej, wektorowej reprezentacji obrazów twarzy do znakowania wodnego; opracowanie metody porównania skuteczności istniejących algorytmów znakowania wodnego w oparciu o sztuczne sieci neuronowe wykorzystywane do identyfikacji właściciela obrazu; czy też określenie wad i zalet różnych znanych metod znakowania wodnego w przypadku scenariuszy biometrycznego znakowania wodnego bez ataków na obrazy i z takimi atakami.

W aspekcie formalnym recenzowana dysertacja spełnia wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim i świadczy o dobrym warsztacie naukowym jej Autorki. Motywacja, teza i cele rozprawy zostały precyzyjnie określone we wstępie. Schemat rozprawy jest przejrzysty, co ułatwia jej lekturę. W rozprawie wyraźnie rozgraniczono kontekst badań od wyników prac własnych. Należy również podkreślić, że Autorka swobodnie porusza się w problematyce, a literatura przytoczona w bibliografii jest adekwatna do rozpatrywanych w rozprawie zagadnień.

W zakończeniu recenzji chciałbym zamieścić uwagi krytyczne do opiniowanej rozprawy.

1. Redakcja rozdziału trzeciego rozprawy ma – w moim przekonaniu – pewne braki, utrudniające czytelnikom zrozumienie przekazywanych treści:

- a) Rozdział trzeci poświęcony jest weryfikacji pięciu różnych algorytmów znakowania wodnego, do których Autorka odnosi się poprzez symbole A1-A5. Symbole te wprowadzane są jedynie w formie komentarza w nawiasach w ramach ciągłego tekstu opisującego kolejne algorytmy (str. 50-53). Sprawia to, że w trakcie dalszej lektury trudno odszukać znaczenie danego symbolu. Lektura rozdziału trzeciego byłaby moim zdaniem łatwiejsza, gdyby Autorka zdecydowała się na wprowadzenie zestawienia symboli algorytmów i ich opisów, np. w formie tabeli, lub gdyby wprowadzone zostały formalne (łatwo identyfikowalne) definicje algorytmów A1-A5.
- b) Podstawowe wyniki eksperymentów stanowiących przedmiot rozdziału trzeciego zaprezentowano w tabelach 3.1 i 3.2 zamieszczonych na str. 60 i 61. Zawierają one po kilkadziesiąt liczb odnoszących się do skuteczności identyfikacji w przypadku poszczególnych algorytmów i scenariuszy znakowania wodnego. Moim zdaniem istotną pomocą dla czytelnika w zakresie interpretacji liczb zawartych w tabeli, byłaby ich wizualizacja w formie stosownych wykresów.

2. W rozprawie pojawiają się drobne usterki edycyjne:

- a) podpis pod rysunkiem 4.4 na str. 84 jest błędny,
- b) rysunek 4.10 na str. 94 może być – moim zdaniem – mylący lub niezrozumiały dla czytelnika (przykładowe ilustracje dla różnych wartości parametru  $Q$  są nierozróżnialne).

Powyższe uwagi dotyczą wyłącznie niedoskonałości redakcyjnych oraz edytorskich – błędów formalnych i merytorycznych w recenzowanej rozprawie nie znalazłem. Uwagi te nie mają zatem charakteru zasadniczego i nie wpływają na moją całkowicie pozytywną ocenę dysertacji.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska pani magister Wioletty Wójtowicz zawiera szereg oryginalnych i wartościowych wyników naukowych, stanowiących cenny wkład w dziedzinę biometrycznego znakowania wodnego. Spełnia ona warunki

ustawowe i może stanowić podstawę do dopuszczenia jej Autorki do dalszych faz przewodu doktorskiego w celu nadania stopnia naukowego doktora w zakresie informatyki.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jurek', written in a cursive style.

Dr hab. Janusz Jurek