

prof. dr hab. inż. Marek Domański
Instytut Telekomunikacji Multimedialnej
Politechniki Poznańskiej
ul. Polanka 3, 60 965 Poznań

WPŁYNEŁO
2024 -01- 0 4
dn.....

Poznań, 29 grudnia 2023r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pani Athanasii Papanikolaou, M.Sc.
**pt. „*Portable Multimodal System for Measurement and Monitoring*
of Cultural Heritage Objects”**

Rozprawa doktorska pani Athanasii Papanikolaou jest zwięźle napisana w języku angielskim, liczy 159 stron, w tym 117 stron właściwego tekstu uzupełnionego bardzo obszernym spisem literatury (184 pozycji), objaśnieniami skrótowców, spisem treści, spisem ilustracji, spisem tablic i streszczeniami. Krótki rozdział 1 zwięźle przedstawia podjęty temat badań na tle literatury, wyjaśnia jego znaczenie i motywację podjęcia prac, a także w bardzo starannej formie tezy i cele rozprawy. Rozdział 2 stanowi zwięźle wprowadzenie do zagadnień rejestracji cech geometrycznych i barwnych obiektów dziedzictwa kulturowego, a jednocześnie podaje zwięźły przegląd literatury związanej z tematyką rozprawy. Kolejne rozdziały od 3 do 6 dotyczą właściwych osiągnięć pracy, które zostały podsumowane w rozdziale 7.

Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrywane w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Głównym zadaniem badawczym doktorantki było opracowanie przenośnego i taniego urządzenia do pomiarów obiektów dziedzictwa kulturowego. Należy stwierdzić, że tak określona tematyka rozprawy jest bardzo aktualna i ważna ze względu na praktyczne zastosowania dla rozwijającej się techniki pomiarów obiektów różnego rodzaju, w tym obiektów dziedzictwa kulturowego. Bardzo dużo prac opisanych w literaturze dotyczyło dotychczas systemów skomplikowanych i nieprzenośnych, natomiast tematyka systemów tanich i przenośnych nie jest jeszcze dostatecznie zbadana.

Przedstawiony powyżej ogólny cel pracy został w rozprawie szczegółowo wyjaśniony przez jego rozłożenie na cztery podstawowe cele:

1. Stworzenie przenośnego multimodalnego systemu obrazowania;
2. Modyfikacja trójwymiarowej analizy korelacyjnej dla pomiarów obiektów o naturalnych teksturach;
3. Stworzenie uproszczonej metody pomiarowej dla reflektancji w systemach multimodalnych;
4. Weryfikacja osiągnięć sformułowanych w powyższych trzech celach poprzez pomiary obiektów dziedzictwa kulturowego.

Powyższe cele pracy powiązane zostały ze sformułowanymi w rozprawie w rozdziale 1 trzema podstawowymi problemami badawczymi, dla których sformułowano odpowiednie tezy:

1. Tani przenośny system pomiarowy realizujący pomiary kształtu, pomiary przemieszczeń oraz pomiary reflektancji. Pierwsza teza głosi, że taki system powinien wykorzystywać metody bazujące na widzeniu maszynowym oraz że przetwarzane dane powinny być sprowadzone do jednego układu współrzędnych.
2. Pomiary całych pól przemieszczeń i naprężeń w obiektach o naturalnych teksturach. Teza mówi o konieczności wykorzystania naturalnych tekstur w obiektach dziedzictwa kulturowego dla rozwiązania tego problemu.
3. Pomiary reflektancji za pomocą multimodalnego systemu przenośnego. Teza mówi o wykonywaniu w tanich systemach przenośnych pomiarów dla kilku długości fali świetlnej.

Należy stwierdzić, że rozpatrywane problemy naukowe są jasno, bardzo logicznie i trafnie sformułowane w rozprawie. Odpowiednie tezy zostały kolejno wykazane w rozdziałach 3-6.

Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

Załączony do rozprawy spis literatury zawiera znaczną liczbę 184 pozycji. Pozycje są cytowane logicznie i prawidłowo. Pewną wadą jest encyklopedyczny charakter rozdziału drugiego, który stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy. Wydaje się, że lepiej byłoby, gdyby autorka dokładniej przedyskutowała rozwiązania bezpośrednio powiązane z własnymi pracami. Tekst rozprawy odwołuje się także do pewnej liczby rozwiązań komercyjnych, jednak ten przegląd jest dosyć ubogi. Wydaje się, że analiza stanu wiedzy została dobrze wykonana od strony akademickiej, a raczej przeciętnie od strony rozwiązań wdrożonych w przemyśle.

Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Analizę uzyskanych rozwiązań przedstawię w odniesieniu do problemów sformułowanych przez doktorantkę w punkcie 1.2.

1. Tani przenośny system pomiarowy umożliwiający pomiary kształtu, pomiary przemieszczeń oraz pomiary refleksyjności.

Oryginalny system został bardzo krótko opisany w rozdziale 3. Uważam, że budowa takiego systemu jest osiągnięciem projektowym i konstrukcyjnym, które ma elementy osiągnięcia naukowego i dlatego może być podstawą przyznania stopnia doktora. Niestety, system jest opisany bardzo lakonicznie. Nie uzasadniono wyboru struktury systemu przedstawionej na rysunku 3.6. Nie znalazłem porównań z innymi rozwiązaniami, brakuje też jakichkolwiek odniesień do literatury, zarówno innych autorów i jak prac doktorantki. Jeżeli konstrukcja była pracą zespołową, to należało wyraźnie napisać, co jest oryginalnym wkładem doktorantki. Niestety, nie znalazłem takich informacji w tekście rozdziału 3. Na podstawie tekstu rozprawy przyjmuję, że system jest w istotnym stopniu dziełem doktorantki, chociaż stopień tego udziału nie jest znany dokładnie. Z uznaniem odnotowuję fakt, że system został zaprojektowany, zbudowany, przetestowany i wykazał swoją przydatność w praktycznych zadaniach pomiarowych. Szkoda, że w rozdziale 3 brakuje ogólnych wniosków dotyczących budowy podobnych systemów, które stanowiłyby oryginalny wkład w ogólną wiedzę o budowie takich systemów pomiarowych.

2. Pomiary odkształceń za pomocą systemów multimodalnych.

W ramach pracy nad tym zagadnieniem w rozprawie dokonano oryginalnej analizy zależności procesu korelacji obrazów od sposobu przetwarzania sygnałów otrzymywanych z macierzy Bayera na barwne składowe jednolicie próbkowane prostokątnie. Te badania stanowią jeden z wartościowych wkładów rozprawy w rozwiązywanie wyżej określonego problemu. Badania miały charakter eksperymentalny, a więc autorka powinna je przedstawić ze starannością pozwalającą na powtórzenie eksperymentów, co niestety nie zostało w pełni zrealizowane. Niestety, w niektórych przypadkach trudno się zorientować, jakie dokładnie metody przetwarzania (demozaikowania) porównywano (wykresy 4.12 i 4.14).

Innym ciekawym elementem tej części rozprawy jest analiza korelacji barwnych obrazów, która została w dość oczywisty sposób zaproponowana jako analiza przeprowadzana niezależnie dla każdej składowej barwnej (R, G, B) w sposób typowy dla obrazów monochromatycznych. Autorka zaproponowała sposób wyznaczania końcowego wyniku dla obrazów barwnych przez wybór jednego z wyników uzyskanych dla składowych barwnych. W omawianych badaniach dokładność metod była analizowana w odniesieniu do niemieckiej normy VDE 2634. Być może ciekawe byłoby też odniesienie się do międzynarodowej normy ISO 10360.

3. Pomiary reflektancji za pomocą multimodalnego systemu przenośnego.

Za wartościową, chociaż wynikającą z powszechnie znanej wiedzy, należy uznać przedstawioną przez doktorantkę metodę pomiarów reflektancji w różnych pasmach długości fali świetlnej. W przedstawionych rozwiązaniach brakuje dyskusji powiązań przedstawionego rozwiązania z technikami znanymi z literatury. Z pewnością przedstawienie metody byłoby bardziej wartościowe, gdyby poszczególne etapy pomiarów przedyskutowano bardziej szczegółowo. Ta uwaga odnosi się w szczególności do pomiarów rozkładów widmowych omawianych w punkcie 4.1.

4. Wielomodowe pomiary obiektów dziedzictwa kulturowego. Ta część rozprawy (rozdział 6) jest szczególnie ciekawa, gdyż podsumowuje wyniki pracy autorki oraz wykorzystanie tytułowego taniego przenośnego systemu pomiarowego. Na konkretnych przykładach przedstawiono znaczenie rozwijanych w rozprawie pomiarów wielomodowych. To ogólne rozwiązanie jest najprawdopodobniej najważniejszym osiągnięciem pracy i jest tym bardziej wartościowe, że zostało przedstawione stosunkowo dokładnie i z uwzględnieniem praktycznych problemów związanych z pomiarami zabytków dziedzictwa kulturowego. Za szczególnie ciekawe i inspirujące uważam wyniki dotyczące analizy dzieł malarskich przedstawione w rozdziale 5.3.

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

Rozwijana w rozprawie koncepcja taniego przenośnego systemu pomiarowego i realizowanych przez ten system pomiarów wielomodowych jest bardzo ciekawa i wnosi oryginalne spojrzenie na stosunkowo precyzyjne pomiary obiektów zabytkowych. Pokazane przykłady

demonstrują użyteczność rozwijanego przez autorkę podejścia wykorzystującego różne tryby pomiarów zarówno za pomocą światła strukturalnego, jak i metody innych typów bazujących na rejestracji światła. Wspomniane przykłady demonstrują także dobre właściwości metrologiczne zaproponowanej metody multimodalnej, która stanowi krok do przodu w stosunku do poziomu techniki znanego z dostępnej literatury światowej.

Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynierjno-technicznych?

Rozprawa dotyczy ważnych problemów pomiarów obiektów zabytkowych. Proponuje użyteczne podejście multimodalne do takich pomiarów, co jest ważnym i częściowo oryginalnym osiągnięciem istotnym dla nauk technicznych.

Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników ?

Układ rozdziałów oraz poszczególnych treści wewnątrz rozdziałów jest prawidłowy, logiczny i bardzo czytelny. Praca jest napisana w sposób bardzo jasny oraz łatwy do czytania i zrozumienia, aczkolwiek w niektórych miejscach jest nadmiernie skrótowa. Pewną trudność w czytaniu rozprawy sprawia bardzo duża liczba skrótowców występujących w tekście, jednak dzięki obszernemu wykazowi skrótowców zamieszczonemu na początku rozprawy ta trudność jest w dużym stopniu złagodzona. Ponadto niektóre rysunki są zbyt małe, a często opisy na takich rysunkach są zupełnie nieczytelne ze względu na zastosowanie miniaturowych czcionek lub barwne tło (np. dolna część rys. 2.6, rys. 2.8, 2.9, 4.31, 4.33, 4.35, 5.8, 5.25). Ogólnie jednak należy stwierdzić, że praca jest przygotowana starannie pod względem redakcyjnym.

Szczegółowe uwagi dotyczące rozprawy:

1. Punkt 2. 1: Przedstawienie znanych z podstawowych podręczników równań kamery otworkowej jest zbędne, gdyż w treści rozprawy te równania nie są wykorzystane i brakuje odniesień do tych równań.
2. Wzory 2.13 – 2.18: Wzory zostały przytoczone za literaturą bez starannego objaśnienia ich sensu i nie ma do nich odniesień w dalszych częściach rozprawy.
3. Strony 38 i 125: Dlaczego wymienia się akurat kamery CCD, które obecnie nie są najczęstszą grupą kamer?

4. Tabela 3.1: Wyrażenie „displacement app. 0.1 pixel size” jest użyte niepoprawnie. Autorce chodziło prawdopodobnie o „0.1 sampling period”.
5. Tabela 3.2: Żargonowy choć popularny termin „camera ... resolution 12 MP” nie powinien być używany w rozprawie doktorskiej dla określenia rozmiaru obrazu odczytywanego z kamery.
6. Rysunek 4.1: Dlaczego obraz kalibracyjny składający się z czarnych kropek rozmieszczonych w siatce prostokątnej nazywa się „symmetric circular grid” ?
7. Strona 55: Dlaczego akurat 16 ramek potrzeba do kalibracji i pomiarów? Tego nie wyjaśniono. W jaki sposób zmieniłoby się działanie i parametry systemu, gdyby liczba ramek została zmieniona?
8. Strona 57: Dlaczego akurat 42 wzory są potrzebne? Nie znalazłem wyjaśnienia. W jaki sposób zmieniłoby się działanie i parametry systemu, gdyby liczba wzorów została zmieniona?
9. Rysunek 4.5: Na rysunku nie widać dwóch sfer opisanych w tekście powyżej.
10. Tablica 4.1: Czy sens ma podawanie wartości błędów pomiarowych z dokładnością do sześciu cyfr?
11. Strona 61: „A good calibration can be achieved with minimum 15 pairs of images but it is generally advised to capture around 30”. Skąd wzięły się te liczby podane bez uzasadnienia oraz bez odnośnika do literatury?
12. Strona 61: Czy na pewno potrzebne są w tym miejscu szczegóły dotyczące nazw plików? Zwłaszcza, że bardziej istotne szczegóły eksperymentu zostały pominięte.
13. Strona 63: „as a function of the incident illumination wavelength” – Oświetlenie prawdopodobnie nie jest światłem monochromatycznym, więc sformułowanie powinno być inne.
14. Równanie 4.1: Nieobjaśniony symbol. Ponadto nie określono zbioru, w którym wylicza się minimum.
15. Strona 64: Nieobjaśniony skrótowiec VIC 3D-7.
16. Strona 68: Dlaczego rozpatrywano przesunięcie akurat o 5mm?
17. Strona 77: Wyrażenie niejasne: „gain and gamma corrections were disabled”.
18. Strona 86: Skrótowiec „M3C2” należałoby wyjaśnić dokładnie na tej stronie.
19. Strona 105: Brakuje nie tylko bliższych informacji o zbiorach testowych i kamerach, ale także odpowiednich odnośników do literatury.

20. Rys. 5.27: Nie znalazłem wyjaśnienia, jak zdefiniowano „normalized Euclidean difference map”.
21. W rozdziale 6 brakuje jakichkolwiek odniesień do literatury. Doktorantka powinna swoje pomiary przedstawić na tle znanych rozwiązań i/lub przedstawić porównanie uzyskiwanych wyników.
22. Pewna liczba literówek i braków znaków interpunkcyjnych, np. tytuł 2.3.2, str. 62 wiersz 11, str. 63 wiersz 1, podpis rys. 4.9, str. 125.

Powyższe uwagi mają bardzo szczegółowy charakter i nie wpływają istotnie na ogólnie wysoką ocenę pracy.

Przechodząc do końcowej oceny rozprawy należy podkreślić znaczny dorobek publikacyjny autorki. Związane z rozprawą wyniki uzyskane przez autorkę zostały opublikowane w 10 artykułach w czasopismach oraz materiałach konferencji naukowych. Przede wszystkim należy zauważyć dwie publikacje w czasopismach *Sensors* oraz *Heritage Science*, a także w materiałach trzech międzynarodowych konferencji organizowanych przez SPIE (international society for optics and photonics) w seriach *Syposium on Electronic Imaging* oraz *Optics for Arts, Architecture, and Archeology*. Doktorantka jest ponadto współautorką rozdziału w książce podsumowującej wyniki projektu CHANGE pt. *Parchment and 3d digital image correlation for spatio-temporal monitoring*. Należy podkreślić, że doktorantka jest pierwszą współautorką w pięciu z sześciu wymienionych prac, a ogółem jest pierwszym autorem w 6 pracach wymienionych jako powiązań z treścią rozprawy. Te stwierdzenia wskazują na istotny i oryginalny jej wkład w tych publikacjach. Wymienione recenzowane publikacje weryfikują wyniki przedstawione w rozprawie. Biorąc pod uwagę również konstrukcyjny, eksperymentalny i aplikacyjny charakter prac badawczych, jest to zupełnie wystarczający dorobek.

W konkluzji recenzji stwierdzam, że rozprawa pani Athanasii Papanikolaou, M.Sc. przedstawia oryginalne i kompleksowe rozwiązania ważnych problemów naukowych. Przedstawiona rozprawa stanowi opis istotnych osiągnięć naukowych mieszczących się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych i w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Biorąc pod uwagę kompleksowość badań i przedstawionych analiz problemów naukowych stwierdzam, że przedstawiona rozprawa z pewnym nadmiarem spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednie przepisy. W związku z tym proszę o dopuszczenie jej autorki do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Juliu Dawidzi