

Ocena rozprawy doktorskiej

pt. „Portable Multimodal System for Measurements and Monitoring of Cultural Heritage Objects”

przedstawionej Radzie Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej przez panią **Athanasję Papanikolaou, M. Sc.**

Ocena doboru tematu, celu i tezy naukowej: jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrywane w pracy?

Przedstawiona do oceny, sformułowana w języku angielskim rozprawa doktorska poświęcona jest rozwiązaniu konkretnego zagadnienia z zakresu metrologii optycznej. Dotyczy ono opracowania zintegrowanego, dedykowanego urządzenia pomiarowego wykorzystującego metody nieinwazyjne dla określenia stanu i pewnych istotnych własności mechanicznych obiektu dziedzictwa kulturowego. Wybór obiektu badań jest o tyle istotny, że narzuca pewne ograniczenia i formuje oczekiwania w stosunku do wykorzystywanych technik pomiarowych. Przede wszystkim obecnie oczekuje się, że zastosowane metody badawcze będą nieinwazyjne w tym sensie, że nie ingerują w żaden mierzalny sposób w materię zabytkową, w szczególności nie wymagają pobrania próbek z obiektu, co jeszcze w 20. wieku było podejściem dominującym. Ponadto zdecydowanie preferowane są techniki dostarczające informacji o całym (ew. dużym fragmencie) obiekcie ponad metody polegające na pomiarze w punkcie, ewentualnie w wielu punktach. Wynika to z charakterystycznego dla większości dzieł sztuki znacznego zróżnicowania struktury obiektu, a wynikającego z podporządkowania jego budowy efektowi artystycznemu bądź estetycznemu. Pomiar punktowy z istoty rzeczy dostarcza informacji wybiórczej, która chociaż najczęściej szczegółowa, nie pozwala jednak na całościową ocenę struktury obiektu. Kolejną bardzo pożądaną cechą urządzenia badawczego jest jego portabilność, rozumiana jako możliwość wykonywania badań poza laboratorium, w miejscu przechowywania obiektu. Oczekiwanie to wynika zarówno z konieczności zachowania złożonych procedur bezpieczeństwa w przypadku transportu dzieła sztuki, jak też z wymogu utrzymania ścisłych warunków klimatycznych (temperatury i wilgotności) przechowywania wielu zabytków. Ponadto należy zwrócić uwagę na użyteczność stosowanych technik: z uwagi na to, że każda interakcja z obiektem zabytkowym może – potencjalnie – wiązać się z pewnym ryzykiem jego uszkodzenia (choćby w wyniku błędu ludzkiego) zastosowane procedury badawcze, zgodnie z zasadami etyki konserwatorskiej, muszą prowadzić do konkretnych wniosków dotyczących istotnych parametrów jego stanu zachowania, proveniencji, datowania, czy też służyć doborowi właściwych technik konserwacji/restauracji.

Rozprawa doktorska pani Athanasii Papanikolaou dobrze wpisuje się w ten kierunek rozwoju metod badawczych i przynosi wiele nowych i interesujących rezultatów. W szczególności zaproponowała i opracowała multimodalny instrument pomiarowy wykorzystujący trzy metody badawcze:

1. odwzorowanie kształtu obiektu z wykorzystaniem światła strukturalnego
2. odwzorowanie własności refleksyjnych powierzchni obiektu za pomocą obrazowania wielospektralnego
3. odwzorowanie odkształceń i naprężeń w obiekcie indukowanych zmianami w środowisku obiektu metodą cyfrowej korelacji obrazu

wraz z niezbędnymi modyfikacjami, dostosowanymi do nieinwazyjnego badania obiektów dziedzictwa kulturowego. Ponadto opracowała metodę uzgadniania wyników (w szczególności przestrzeni pomiarowej) pomiędzy metodami tak, aby wyniki można było odnosić do tych samych punktów obiektu. Jest to zagadnienie kluczowe dla właściwej interpretacji konserwatorskiej rezultatów. Metody badawcze zostały dobrane prawidłowo ponieważ wzajemnie się uzupełniają. Ponadto należy stwierdzić, że połączenie tych technik w jeden instrument pomiarowy jest rozwiązaniem nowatorskim, nieznanym mi z literatury przedmiotu, przynajmniej w zakresie badań obiektów dziedzictwa.

Ocena analizy źródeł, stanu wiedzy i zastosowań w baniach dziedzictwa

Spis cytowanej literatury zawiera 184 pozycje w tym kilkanaście odsyłaczy do stron internetowych. Odsyłacze do artykułów prowadzą prawie wyłącznie do pozycji opublikowanych po roku 2000. Jak należało oczekiwać, zdecydowana większość odsyłaczy pojawia się w rozdziale drugim pracy, dokumentując szczegółowo prezentację stanu wiedzy w zakresie implementowanych technik. W tekście i spisie literatury szeroko reprezentowane są odniesienia do badań dziedzictwa, prezentowane na tle innych technik. Odnośniki do publikacji z tej dziedziny stanowią ok 53% wszystkich referencji. W mojej ocenie źródła w rozprawie dobrane są właściwie, z zachowaniem proporcji pomiędzy dokumentacją rozważań teoretyczno-projektowych ułatwiając czytanie tej części oraz dokumentacją zastosowań w badaniach nad dziedzictwem, pozwalając ulokować osiągnięcie autorki na tle innych rozwiązań.

Liczący 25 stron rozdział drugi pracy zawiera wprowadzenie do aplikowanych technik ze wskazaniem specyficznych ich cech niezbędnych dla zastosowania w badaniach obiektów zabytkowych. Dotyczy w szczególności techniki cyfrowej korelacji obrazu, która z uwagi na wymóg nieinwazyjności musi opierać się na analizie naturalnej tekstury obiektu. Autorka słusznie proponuje tutaj wykorzystanie koloru jako dodatkowego nośnika tekstury. Opis każdej z technik kończy się przeglądem literatury dotyczącej jej zastosowań w badaniach obiektów zabytkowych.

Ocena poprawności przyjętego rozwiązania

Rozwiązanie problemu badawczego sformułowanego w rozdziale pierwszym zawarte jest w rozdziałach trzecim zawierającym opis instrumentu (demonstratora) skonstruowanego przez autorkę rozprawy, oraz w rozdziale czwartym poświęconym prezentacji zastosowanej metodologii badawczej.

Skonstruowany instrument składa się z rzutnika multimedialnego, dwu kamer cyfrowych o dużej rozdzielczości oraz dwu oświetlaczy LED. Jest to minimalna konfiguracja niezbędna dla realizacji trzech wymienionych powyżej pomiarów, przy czym pewne elementy systemu wykorzystywane są w więcej niż jednej metodzie. Wszystkie składniki instrumentu są dostępne komercyjnie, a zadaniem autorki była ich poprawna integracja zapewniająca odpowiednią dokładność i powtarzalność wyników. Zostało to zrealizowane poprzez odpowiedni dobór parametrów eksploatacyjnych oraz odległości pomiędzy elementami tak, aby uzyskać kompromis pomiędzy portabilnością i długością bazy pomiarowej niezbędnej dla odpowiedniej dokładności wyników. Konstrukcja instrumentu wykorzystuje włókno

węglowe i pręty z inwaru dla niezbędnej sztywności. Brak kompetencji inżynierskich recenzenta nie pozwala na kategorię ocenę projektu, niemniej na podstawie wieloletniego doświadczenia w pracy eksperymentalnej uważam, że przyjęte rozwiązania są właściwe.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera rezultaty najistotniejsze dla oceny jej wartości merytorycznej. W szczególności dla odwzorowania kształtu obiektu wdrożono metodę projekcji kodów Graya (recenzent nie popiera formy „graycode” ponieważ nazwa pochodzi od wynalazcy Franka Graya z Bell Labs, co łatwo sprawdzić w Wikipedii) w dwu wersjach: z wykorzystaniem dwu pomiarów, każdy pojedynczą kamerą z późniejszą synteza danych (Hybrid Projection) oraz obu kamer równocześnie (Stereo Projection). Dla ostatecznie wybranej drugiej z metod przeprowadzono doświadczalną ocenę dokładności pomiaru.

Istotnym rezultatem w zakresie wdrożenia techniki cyfrowej korelacji obrazu jest przystosowanie jej do badań nieinwazyjnych, a więc niewymagających nakładania na obiekt tekstury, poprzez wykorzystanie informacji o kolorze. Wobec zastosowania kamer ze standardowymi pojedynczymi matrycami o odrębnych pikselach czułych na poszczególne składowe barwne, niezbędne było opracowanie metody zwanej tutaj demosaikowaniem (demosaicking) pozwalającej na poprawne korelowanie obrazów, w rzeczywistości nieco przesuniętych, bo zbieranych przez różne piksele matrycy. Metoda została wdrożona i przetestowana pod kątem jej dokładności. Jest to ważny wkład autorki w rozwój tej techniki.

W przypadku metody reflektometrii wielospektralnej autorka zastosowała technikę selekcji spektralnej poprzez zmianę widma oświetlacza – w tym przypadku sekwencyjnego wykorzystania LED projektora, używanego też w pomiarze metodą światła strukturalnego. Wymagało to spektralnego skalibrowania zarówno LED projektora, jak i kamer. W wyniku pomiaru uzyskuje się, dla każdego piksela obrazu obiektu, dane dla pięciu długości fali a widmo zrekonstruuje się numerycznie. Rozwiązanie to uważam za poprawne, jeżeli wziąć pod uwagę kompromis pomiędzy kosztem i rozmiarami systemu a jakością wyniku będącym, zgodnie koncepcją doktorantki, jedynie jednym z elementów końcowego rezultatu.

Końcowa część rozdziału czwartego poświęcona jest metodologii integracji uzyskanych wyników (obrazowań) tak aby można było przypisać rezultaty uzyskane poszczególnymi metodami do określonego punktu obiektu i uzyskać efekt synergii.

Testem skuteczności przyjętych rozwiązań jest ich zastosowanie w praktyce badań nad dziedzictwem, zarówno w odniesieniu do specjalnie opracowanych obiektów testowych, jak też zabytków kultury materialnej. Należy podkreślić z uznaniem, że testy te były prowadzone we współpracy z Akademią Sztuk Pięknych w Warszawie, co zapewniło ich ewaluację od strony wiedzy o obiekcie. Rezultaty te zawarte są rozdziałach szóstym (badania z niezależnym wykorzystaniem poszczególnych metod) i siódmym (badania z łącznym ich zastosowaniem). W ocenie recenzenta rezultaty te potwierdziły wysoką jakość opracowanego instrumentu (demonstratora) jak i metodologii badawczych.

Ocena oryginalności rozprawy, jej pozycji w stosunku do stanu wiedzy

Rezultaty uzyskane w rozprawie znalazły się w trzech publikacjach w recenzowanych czasopismach, z których w dwu kluczowych doktorantka jest pierwszym autorem: „Sensors” (IF₅ = 4.1) i Heritage Science” (IF₅ = 2.7) należą do czołowych czasopism publikujących prace z zakresu fizyko-chemicznych metod badań obiektów zabytkowych. Ponadto rezultaty znalazły się w rozdziale w raporcie z projektu CHANGE i w sześciu doniesieniach konferencyjnych.

Jako najciekawsze nowe osiągnięcia autorki w dziedzinie metrologii optycznej zawarte w rozprawie pragnę wskazać:

- opracowanie i skonstruowanie demonstratora instrumentu łączącego na jednej platformie 3 techniki badawcze wraz z metodą integracji wyników poprzez sprowadzenie ich do wspólnego układu odniesienia, związanego z obiektem,
- modyfikację metody cyfrowej korelacji obrazu w kierunku nie wymagającym nałożenia tekstury kontrastu poprzez opracowanie metody uwzględniającej naturalne cechy kontrastu i koloru obiektu w oparciu dane z kamer korzystających z typowych, a więc wyposażonych w mozaikową detekcję koloru, matryc obrazowych RGB,
- opracowanie efektywnego kosztowo systemu do pomiarów multispektralnych z wykorzystaniem projektora LED (wspólnego dla techniki cyfrowej korelacji obrazu) oraz kamer (aparatów cyfrowych) z matrycami RGB.

Ocena poprawności redakcyjnej rozprawy

Praca zredagowana jest w dobrym języku angielskim, na moim poziomie kompetencji nie stwierdziłem istotnych usterek językowych. Ogólnie praca czyta się dobrze. Pewne wątpliwości budzi redakcja rozdziału 4.1.1 (Structured Light) który w mojej ocenie jest trudny do zrozumienia. W szczególności różnica pomiędzy „Hybrid projection method” i „Graycode projection method” nie jest dostatecznie wyraźnie wyartykułowana ponieważ, jak zrozumiałem, pierwsza metoda również korzysta z projekcji kodów Graya oraz obie finalnie wykorzystują obie kamery.

Struktura rozdziałów pracy jest poprawna, wyraźnie oddzielając stan wiedzy, projekt demonstratora, metodologie opracowania wyników i opis zastosowań.

Graficzna strona rozprawy w postaci książeczki jest elegancka, jednak muszę wytknąć dosyć drobny druk tekstu oraz w wielu przypadkach nieczytelne lub prawie nieczytelne opisy na rysunkach (np. 2.8, 2.9, 4.2, 4.254.32, skale na 5.6, 5.19, 5.21 itd.). Szczęśliwie dysponowałem wersją PDF, która umożliwiła mi zapoznanie się z rysunkami w stosownym powiększeniu.

W ocenie recenzenta autorka nadużywa skrótów literowych które, chociaż rzetelnie wyjaśnione na str. 137. rozprawy, w większości nie są w obiegu potocznym, co wymaga nieustannego, dosyć irytującego, odwoływania się spisu na str. 137.

Kilka nieistotnych dla całościowej oceny rozprawy uwag szczegółowych do redakcji pracy zamieszczam poniżej.

Ocena przydatności rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych

Praca stanowi istotny wkład do metrologii optycznej, w szczególności do techniki cyfrowej korelacji obrazu w zastosowaniu do obiektów dla których nakładanie tekstury kontrastu nie jest z różnych względów możliwe. Wykracza to oczywiście poza zastosowania w badaniach dziedzictwa. Zaproponowana metoda rekonstrukcji danych hiperspektralnych wydaje mi się mniej perspektywiczna w badaniach obiektów zabytkowych z uwagi na jej ograniczoną dokładność. Niemniej pozwala na ocenę jej przydatności i nie można wykluczyć, że w pewnych specyficznych zastosowaniach może być użyteczna.

Uwagi szczegółowe do redakcji rozprawy

Oto kilka uwag szczegółowych do redakcji rozprawy, marginalnych dla jej końcowej oceny:

str. 22-23. Autorka nie wyjaśnia, czym jest czwarty element wektora P_w i jaką rolę pełni w obliczeniach. Czwarta kolumna macierzy jest wszędzie złożona z samych zer i jak się wydaje, dla przejrzystości wykładu można by to pominąć.

str. 31, Fig. 2.4. Z podpisu wynika, że prezentowany jest kod Graya dla $2^{10} = 1024$ pikseli. Rysunek przedstawia kod dla 256 pikseli.

str. 58, Fig. 4.4. Brakuje skali natężenia. Ponadto warto by było wskazać jakiemu obiektowi odpowiada ten rysunek.

str. 75. wzory (4.3) i (4.4) – brak objaśnienia znaczenia indeksu i

str. 76, wzór (4.6) wymaga pełniejszego opisu. W szczególności czym jest $+$ w wyrażeniu C^+ ? Z cytowanej literatury jest to pseudo-inwersja. Jak ma się do dalszego ciągu?

str. 77, Fig. 4.23. krzywe w legendzie rysunku oznaczone jako BGR: powinno być RGB.

str. 103, Fig. 5.20 i str. 104, Fig. 5.21, str. 120, Fig. 6.5: skala kolorów dla w , u , v powinna mieć jednostki długości.

Podsumowanie

Stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska przedłożona przez panią Athanasię Papanikolaou, M. Sc. spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2014.1852 j.t) stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



/Piotr Targowski/