

Poznań, 05.11.2019

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski
Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3
60-965 Poznań
tel.: +48 61 6653570
e-mail: michal.wieczorowski@put.poznan.pl

**Ocena rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Radosława Gierwiało**

**System rzeczywistości wzbogaconej do wspomaganie procesu uczenia na potrzeby za-
biegu termoablacji wątroby**

Podstawa recenzji

Pismo Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej numer WMt.521.28.2019 z dnia 4 października 2019.

1. Wprowadzenie

Kiedy na początku XX wieku naukowcy przestali zajmować się wszystkim i zaczęli myśleć o specjalizacjach automatycznie pojawiło się zagadnienie współpracy naukowej. Z biegiem czasu specjalizacje zaczęły się zawężać, a coraz większa grup badaczy stała się mistrzami w swoim bardzo wąskim obszarze działań. Wychodząc jednak na zewnątrz zaczęli zauważać możliwość dokonania pewnych szerszych uogólnień i wykorzystania swoich osiągnięć w innych branżach, dla rozwoju nauki i techniki w ogólności. Od tego czasu dostrzeżliśmy jak ważna jest multidyscyplinarność, jak wiele mogą wspólnie zdziałać i nauczyć się od siebie przedstawiciele różnych dyscyplin. Jednocześnie łatwo zauważyć, jak niekorzystnie dla nauki wpływa wszelkiego rodzaju sztywne przypisanie naukowców, szufladkowanie ich prac i doboru oraz rozliczanie z tego co robią tylko i wyłącznie w dziedzinie, do której chcą – nie chcą muszą się zapisać.

Przedstawiona praca jest właśnie klasycznym przykładem dzieła multidyscyplinarnego. Łączy w sobie nauki medyczne i techniczne, czyli te dwa obszary, w których osiągnięcia pracują dla zdrowia nas wszystkich. Tutaj też często wspólne prace dają bardzo spektakularne efekty. Wykorzystanie rzeczywistości rozszerzonej i wirtualnej ma w naukach medycznych szerokie pole do popisu. Sami lekarze dużo bardziej skupiają się na swoich umiejętnościach i obowiązkach, oczekując od inżynierów przygotowania narzędzi sprawnych i łatwych w obsłudze. Również w to zagadnienie recenzowana praca doktorska wpisuje się znakomicie i – o czym jestem głęboko przekonany – jej efekt stanie się bardzo cennym wkładem w edukację medyczną i rozwój umiejętności personelu medycznego. Recenzent pragnie tu zaznaczyć, że nie jest specjalistą w naukach medycznych i nie to było przedmiotem oceny. Praca jest napisana z inżynierskiego punktu widzenia, gdzie zabieg związany z wątrobą jest bardzo ciekawym przypadkiem aplikacyjnym, ale z pewnością wykorzystanie systemu zaproponowanego przez Doktora na tym się nie skończy.

Przedstawiony temat oraz metoda rozwiązania są jak najbardziej aktualne w świetle prowadzonych badań i stanu wiedzy na świecie. Dotyczą zagadnień istotnych, zarówno z punktu widzenia nauki jak i życia codziennego. Wpisują się ponadto w całość prac prowadzonych przez zespół badawczy Instytutu Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej specjalizujący się w omawianych zagadnieniach od wielu lat.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 9 rozdziałów zasadniczych i zawiera 122 strony. Oprócz rozdziałów numerowanych w pracy znajdują się jeszcze części nienumerowane, a mianowicie Streszczenie i Abstract, czyli streszczenie w języku angielskim i Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny i spójny układ, choć sam podział nie jest typowy, co przedstawiam w rozdziale trzecim recenzji. Zawartość merytoryczna pracy jest bogato ilustrowana, co samo w sobie stanowi dużą wartość i niewątpliwie pomaga we właściwym zrozumieniu przemysłów piszącego pracę. W świetle przedstawionych zagadnień oraz po uwzględnieniu doświadczeń projektowych Autora podjęcie tematu rozprawy należy uznać za trafne i w pełni uzasadnione, zarówno pod względem naukowym, jak i utylitarnym.

Rozdział pierwszy to wprowadzenie związanej do tematyki rozprawy doktorskiej. Jak na tego typu opracowanie rozdział ten jest bardzo rozbudowany i zawiera treści, które można było zawrzeć w osobnym rozdziale. Ta część pracy została podzielona na cztery części składowe. W pierwszej omówiono motywację do podjęcia tematu związaną z rozwojem i stanem

obecnym rzeczywistości rozszerzonej. Druga dotyczy nowotworowych chorób wątroby i stanowi medyczne wprowadzenie do omawianych zagadnień, bardzo ważne dla inżynierów zapoznających się z treścią rozprawy. Przedstawiono tu dane na temat wizualizacji informacji medycznych podczas zabiegów chirurgicznych oraz realizacji zabiegu termoablacji wątroby. Trzeci podrozdział zawiera cele i tezę rozprawy przedstawione częściowo w kontekście prac prowadzonych w ramach projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Część czwarta to krótkie omówienie struktury rozprawy, czyli zawartości poszczególnych rozdziałów.

Drugi rozdział obejmuje wstęp teoretyczny związany z różnymi zagadnieniami wykorzystywanymi w pracy. Został podzielony na dwie części. W pierwszej Autor opisuje podstawy naturalnego widzenia człowieka, prezentując zdolność rozdzielczą oka, zakres pola widzenia, ruch oka i stereoskopię, proces wergencji i akomodacji oka, paralaksę ruchu i skutki zaburzenia widzenia obuocznego. Część tą kończy krótkie podsumowanie, w którym wyszczególniono kluczowe parametry jakie powinien spełniać system, by wspomagać pracę i zwiększać komfort chirurga i jednocześnie nie zaburzać jego naturalnego widzenia. Druga część rozdziału drugiego związana jest z podstawami kalibracji systemów wizyjnych. Doktorant omówił w niej modele analityczne detektora, charakterystykę metod kalibracyjnych, przebieg procesu kalibracji kamery, wyznaczanie transformacji pomiędzy kamerami i kalibrację geometryczną projektorów. Również ta część kończy się podsumowaniem, w którym Doktorant podał czym powinien się charakteryzować proces kalibracji.

Trzeci rozdział zawiera omówienie systemów rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej wspomagających diagnostykę medyczną i leczenie pacjentów. Zaprezentowano zatem funkcjonujące na rynku systemy wykorzystujące rzeczywistość wirtualną i rozszerzoną, ze szczególnym uwzględnieniem systemów na urządzenia mobilne. W podsumowaniu tego rozdziału dokonano porównania przedstawionych systemów i wskazania Autora dla systemu będącego wypadkową wszystkich oczekiwań.

Czwarty rozdział poświęcono koncepcji rozwiązania wspierającego proces uczenia chirurgów. Przedstawiono w nim deskryptor konturu i bazę danych konturów, a także omówiono moduły występujące w projektowanym systemie, w tym moduł śledzenia fantomu, moduł śledzenia głowy, moduł projekcji i moduł interakcji ze strukturami. Dokonano również wyboru metodyki kalibracji systemu oraz krótkiego podsumowania treści zawartych w tej części rozprawy.

Kolejny, piąty rozdział prezentuje dane na temat praktycznej realizacji omawianego systemu wspomagającego, nazwanego MARVIS. Zaprezentowano stanowisko badawcze będące

podstawą gotowego systemu włącznie z implementacją programową, a także omówiono fantom wątroby. Opisuując ścieżkę przetwarzania danych przedstawiono szereg związanych z tym zagadnień, a mianowicie wyznaczanie aktualnego konturu i deskryptora fantomu, wyznaczania współrzędnych 3D w ramach modułu śledzącego fantom, modułu projekcji i modułu śledzenia głowy oraz transformacje pomiędzy lokalnymi układami modułów systemu.

Rozdział szósty związany jest z walidacją opracowanego systemu. Autor rozpoczął go od analizy cech dokładnościowych poszczególnych elementów, w tym dokładności kątowej śledzenia fantomu, głowy operatora i kalibracji. Dalsza część to badania na grupie użytkowników testowych wraz ze statystyczną weryfikacją postawionych hipotez. Rozdział kończą uwagi na temat wydajności i podsumowanie, w którym przedstawiono opinie użytkowników i wnioski praktyczne.

Rozdział siódmy jest podsumowaniem całej rozprawy. Doktorant ustosunkował się w nim do osiągnięcia postawionych celów naukowych i użytecznych, a także odnośnie do udowodnienia postawionej tezy. Wytoczył także kierunki dalszych prac badawczych.

Ósmy rozdział to bibliografia, która zawiera 116 pozycji, wśród których zamieszczono również jedną współautorską publikację Doktoranta. Pozycje zamieszczono w kolejności występowania w tekście.

Ostatni, dziewiąty rozdział to załączniki czyli 7 tabel z wynikami badań, które w syntetycznej formie znalazły się w różnych miejscach rozprawy.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawioną rozprawę oceniam w dwóch aspektach: merytorycznym i edytorskim. Zaczynając od tego pierwszego należy docenić interesujące dokonania oraz znaczący wkład pracy wykonanej przez Autora. Bardzo wartościowe jest interdyscyplinarne podejście do zagadnienia, budowa stanowiska i badania wspólnie z grupą potencjalnych użytkowników. Można tutaj dostrzec bardzo dojrzałe podejście do opracowywanego systemu również w kontekście jego potencjalnej komercjalizacji, co dodaje do pracy badawczej składową użyteczną. Należy także podkreślić bardzo dobre przygotowanie matematyczne Doktoranta. W rozprawie zawarto wyniki badań, ciekawy materiał teoretyczny i dobrze umotywowane wnioski. Cele pracy przyjęte przez Autora zostały w pełni zrealizowane. Zapoznając się z treścią manuskryptu nasunęły mi się pewne uwagi w stosunku do treści, które mogą być dla Doktoranta punktem wyjścia do ciągłego doskonalenia warsztatu naukowego i edytorskiego, a także punktem wyjścia do dyskusji z Autorem i jego poglądami. Wśród takich uwag są następujące:

- Struktura pracy jest ogólnie poprawna, ale zasugerowałbym drobne modyfikacje. Po pierwsze rozdział drugi zawiera dwa podrozdziały dotyczące zupełnie innych zagadnień: widzenia człowieka od strony medycznej i kalibracji systemów wizyjnych. Z uwagi właśnie na różnorodność treści lepiej byłoby zrobić z tego dwa oddzielne rozdziały. Do rozdziału medycznego można dołączyć podrozdział 1.2, który trochę nie pasuje do wprowadzenia.
- Zawarty we wprowadzeniu podrozdział 1.3 dotyczący celów i tezy rozprawy jest na tyle istotny i ważny, że również warto zrobić z niego oddzielny rozdział
- Bardzo dobrym pomysłem jest podrozdział 1.4, czyli struktura pracy. Coś takiego czasami pisze się we wprowadzeniu jako zwarty tekst, tutaj również sposób przedstawienia zasługuje na pochwałę.
- Szkoda, że na początku pracy nie znalazł się Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów. Taki wykaz ułatwiłby czytelnikowi zapoznawanie się z treścią rozprawy.
- Zamieszczanie rysunków wspiera treści zawarte przez piszącego. Stąd w tekście niezbędne są powołania na rysunki, ponieważ to ma zmusić czytelnika do podążania za zamierzeniami Autora. Tymczasem w pracy brak powołania na wiele rysunków, np. 4, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 50, 57 i 66. Doktorant w treści nie powołuje się również na zamieszczone wzory, pomimo tego, że są one dość umiejętnie wplecione w treść, warto jednak zamieścić w niej nawias z konkretnym numerem wzoru.
- W pracy Autor posługuje się czasem terminami i określeniami, które zna i rozumie w pewien określony sposób, natomiast nie są to terminy stricte i jasno zdefiniowane i ich odbiór przez innych może być mylący. Dotyczy to np. określeń dane metryczne, przestrzeń metryczna. Jeśli mówimy o wymiarach w przestrzeni, to każda przestrzeń jest metryczna. Dobrze byłoby poświęcić jedno zdanie precyzujące te terminy, tak jak podano to na stronie 25 o systemie wizyjnym.
- Strona 25 i 26 – określenie tego co zyskujemy dzięki kalibracji jest niepełne. Warto wyjść z definicji terminu kalibracja, która zawiera znacznie szersze treści.
- Opisując modele detektora Autor raz posługuje się określeniem model pinholowy, a raz model kamery pinholowej. To należy ujednoczyć lub opisać precyzyjniej.
- Na stronie 27 Doktorant podaje, że macierz określająca transformację zawiera pięć współczynników, po czym od myślników wymienia cztery. Jeśli policzyć te współczynniki (oznaczenia przy wymienianiu od myślników) to wychodzi sześć. To ile ich powinno być?

- Podrozdział 2.2.1 dotyczy modeli detektora i zawiera tylko jeden podrozdział wyższego rzędu – 2.2.1.1. Model pinholowy. Czy zatem nie byłoby lepiej dołożyć tutaj podrozdział 2.2.2 jako 2.2.1.2?
- Powołując się na kilka pozycji literaturowych należy uszeregować je w kolejności rosnącej. To nie zawsze w pracy jest przestrzegane (np. strona 31).
- Strona 35 – co to jest uciąglona mapa fazowa?
- Powołując się na kilka rysunków należy uszeregować je w kolejności rosnącej. To nie zawsze w pracy jest przestrzegane (np. strona 42).
- Podpis pod rysunkiem 19 trudno odnieść do zawartości rysunku, na którym tego działania nie widać.
- Strona 51 – bardzo podoba mi się pomysł porównania systemów w tabeli (tabela 1). Szkoda jednak, że nie dołożono jednego wiersza, w którym można byłoby zamieścić planowane cechy projektowanego systemu.
- Strona 53 – dodałbym przy układzie urządzenia do trójwymiarowego pomiaru geometrii powierzchni, że dotyczy to skali makro.
- Strona 53 – nie do końca zgadzam się z tym, że wymagania spełnia tylko oświetlenie strukturalne. Proszę zwrócić uwagę, że tezę tę Autor buduje w oparciu o literaturę z roku 2010, a więc zawierającą dane sprzed około 10 lat.
- Strona 55 i 56 – Autor podaje, że system zawiera 4 moduły główne, a potem w kolejnych sekcjach przedstawia 6 zasadniczych elementów. Należy albo dodać dwa moduły albo pisać dlaczego w ich skład nie wchodzi deskryptor konturu i baza danych konturów.
- Opisując moduły warto zacząć od jednego, dwóch zdań czym one są i do czego służą. Wyraźnym przykładem jest deskryptor konturów (przyznam się, że w naszej uczelni nie używamy słowa deskryptor), czy progowanie obrazu. Również baza danych konturów i jej zawartość nie zostały precyzyjnie przedstawione. Znow tutaj krótki opis i wyjaśnienie jak jest to rozumiane wyjaśniłoby ewentualne wątpliwości.
- Strona 60 i 61 – warto dodać, że wykorzystanie tylko jednej kamery jest możliwe przy relatywnie statycznym obiekcie. W tym przypadku – i tylko w tym – zalety systemu dwukamerowego przestają być istotne. Zresztą dośledzenia głowy zastosowano właśnie system dwukamerowy. Krótki komentarz byłby wskazany.
- Strona 61 – co to jest kalibracja metryczna? Każda kalibracja w metrologii jest metryczna, zawiera wartości liczbowe miar odległości lub kątów.

- Strona 61 – przyjęto na świecie stosować nazwisko Minkowski a nie Mińkowski w odniesieniu do wybitnego matematyka. Stąd lepiej posłużyć się określeniem: odległość Minkowskiego.
- Strona 65 – jak należy rozumieć, że decyzja o rozwiązaniu sprzętowo-programowym została podjęta wspólnie? Przez kogo?
- Strona 66 – zdecydowano na kalibrację wg. Zhanga, ale opisana ona była w podrozdziale 2.2.3.3, a nie w 2.2.5.
- Strona 67 – co to znaczy, że oś jest możliwie równoległa do osi optycznej? Jakie są parametry metrologiczne i założenia?
- Strona 69 – na rysunku 39 lepiej użyć strzałek oznaczających konkretne elementy niż rozbudowanego opisu.
- Strona 71 – co to jest wypośrodkowany kompromis?
- Strona 95 – warto napisać jednym zdaniem, jak Autor rozumie średni poziom dokładności na poparcie wzoru 40.
- Strona 96 – jaki praktyczny sens ma statystyczna analiza wieku trzech chirurgów, podana jako średnia i odchylenie standardowe? Czy nie lepiej jednak przy trzech osobach po prostu podać ich wiek?
- Bardzo ciekawym rozdziałem jest podrozdział 6.2. Pomysł i realizacja zasługujące na pochwałę, wyniki na pewno pokazują, w którą stronę powinny pójść dalsze prace.
- Strona 98 – w odniesieniu do elementów policzalnych stosujemy określenie „liczba” a nie „ilość”.
- Spodobał mi się również podrozdział 7.4 i kierunki dalszych prac. To bardzo cenne, że Doktorant ma tak dobrze sprecyzowane dalsze zamierzenia.
- W odniesieniu do terminu „dokładność”, dobrze mieć świadomość, że jest ona jedynie pojęciem jakościowym, a nie ilościowym (słownik VIM). Przy pracy o tak silnym pierwiastku metrologicznym byłoby również wskazane bliższe zaprzyjaźnienie się z terminem „niepewność”.
- Pozycje bibliograficzne powinny zawierać pełne dane identyfikacyjne. Brakuje tego przy wielu pozycjach, np. 1, 2, 15, 57, 72, 77 i 86. Ponadto strony internetowe powinny mieć podaną datę dostępu.
- Strona 117 – brak opisu tabeli 1 w załączniku.
- Zwraca uwagę tylko jedna współautorska pozycja Doktoranta w bibliografii. Dlaczego pozycji tych nie jest więcej?

Oceniając stronę edytorską należy podkreślić, że praca napisana została bardzo poprawnym językiem polskim. Autor preferuje dość lakoniczny styl wypowiedzi, co wadą naturalnie nie jest, ale – jak już wspomniałem – warto wczuć się w czytelnika, który o samym projekcie wie dużo mniej od Autora. Wśród uwag edytorskich warto zwrócić uwagę na następujące:

- Opisy tabeli powinny się znaleźć przed tabelą a nie po niej. To nie jest przestrzegane ani w pracy ani w załącznikach
- W pracy występuje wiele tzw. tekstów wiszących, czyli tekstów znajdujących się np. pomiędzy tytułem rozdziału głównego a tytułem podrozdziału. Zasady edytorskie stanowią, że przy numeracji cyfrowej wielorzędowej np. po tytule rozdziału 1 powinien od razu następować tytuł podrozdziału 1.1. a tuż np. po tytule podrozdziału 1.6. powinien być tytuł podrozdziału 1.6.1. itd. Między nimi nie powinno być żadnych tekstów (zwanych wiszącymi). Teksty te to z reguły ogólne wprowadzenia do rozdziałów, omówienia czy streszczenia. Jeżeli tekst wiszący jest cennym i niezbędnym wprowadzeniem do tematu – powinien mieć numer i tytuł, natomiast jeśli zawiera ogólniki lub omówienie dalszej części rozdziału – powinien zostać usunięty przez autora.
- Należy rozważyć wyodrębnienie w rozdziale tylko jednego podrozdziału, jak to ma miejsce np. w 5.1, w którym występuje podrozdział 5.1.1. oraz 6.2 i 6.2.1. Albo tekst wiszący przed nim mógłby być pierwszym podrozdziałem, albo całość powinna być przedstawiona bez podrozdziałów.

Uwagi stylistyczne i literowe:

Strona 26. Jest *obliczanie lokalizacji* powinno być *obliczania lokalizacji*

Strona 27. Jest *opisujących przesunięcie* powinno być *opisujące przesunięcie*

Strona 27. Jest *Jest on niezerowy* powinno być *Jest ona niezerowa*

Strona 34. Jest *położenie punktu* powinno być *położenie punktu*

Strona 39. Jest *wykorzystujące założenia* powinno być *wykorzystujące założenia*

Strona 39. Jest *P_α oraz* powinno być *P_α oraz*

Strona 61. Jest *$O(n^2)$* powinno być *$P_\alpha O(n^2)$*

Strona 64. Jest *Modułu Projektji. . Niebieski* powinno być *Modułu Projektji. Niebieski*

Strona 75. Jest *elementów oprogramowaniu* powinno być *elementów w oprogramowaniu*

Strona 80. Jest *zielonego znacznik o średnicy* powinno być *zielonego znacznika o średnicy*

Strona 98. Jest *spadł z 50%* powinno być *zielonego spadła z 50%*

Strona 110. Jest *A. . Percival* powinno być *zielonego A. Percival*

Naturalnie przedstawione powyżej uwagi w żadnym stopniu nie umniejszają wartości opiniowanej pracy, a część z nich, albo ma charakter zagadnień i tematów do dyskusji albo podkreśla jej pozytywne aspekty.

4. Wnioski

W rozprawie Autor poruszył temat bardzo szeroki, wykazując się wiedzą i determinacją by poprawnie zmieścić go w ramach pracy doktorskiej. Ponadto praca napisana jest w sposób jasny i przejrzysty. Wynika to z czytelnego podziału poszczególnych rozdziałów na podrozdziały, bogatego materiału rysunkowego oraz dość komunikatywnego choć lakonicznego stylu pisania Autora. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że tematyka pracy została wybrana w sposób trafny, a zakres przedstawionego manuskryptu spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Formalny układ pracy jest prawidłowy. Dysertacja odnosi się do aktualnej wiedzy, a w wielu elementach wnosi treści nowe. Cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora. Powyższe fakty świadczą o Jego kompetencjach w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne. Praca jest dziełem interdyscyplinarnym co dodatkowo podkreśla trudność, z jaką musiał się zmierzyć Doktorant.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Radosława Gierwiąło pt. *System rzeczywistości wzbogaconej do wspomagania procesu uczenia na potrzeby zabiegu termoablacji wątroby*, spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i może być dopuszczona do publicznej obrony. Wnoszę również o jej wyróżnienie.

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski



Politechnika Poznańska

