

Poznań, 29.07.2024

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

Metoda pomiaru ciała człowieka z wykorzystaniem chmury punktów na potrzeby przemysłu odzieżowego

mgr. inż. Łukasz Marcin Markiewicz

Podstawa recenzji

Pismo Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej numer WMt.521.06.2024 z dnia 2 lipca 2024 roku.

1. Wprowadzenie

Zaprezentowana do oceny rozprawa doktorska jest związana ogólnie rzecz biorąc z technikami skanowania 3D, a w szczególności z ich wykorzystaniem do wymiarowania człowieka. Skanowanie 3D jako metoda zbierania chmury punktów z obiektów w XXI wieku bardzo się rozwinęło. W wielu aplikacjach mentalnie odeszliśmy od konkretnych wymiarów na rzecz współrzędnych punktów, z których następnie na drodze analizy uzyskuje się oczekiwane dane i zależności. Człowiek jako obiekt mierzony jest zjawiskiem bardzo szczególnym i trudnym. Ma zazwyczaj kłopoty, aby chociaż przez chwilę by w bezruchu, pewne wymiary zmieniają się na skutek napięcia mięśni, a nawet wewnętrznego stanu ducha. Praca z takim obiektem jest zatem niewdzięczna, ale z drugiej strony może dać sporo satysfakcji, jeśli na horyzoncie pojawi się oczekiwany sukces. Doktorant z promotorem postanowili wykorzystać skanowanie

3D dla przemysłu odzieżowego, który patrzy na tą technikę z nadzieją (łatwość i szybkość zbierania danych) i obawą (wiarygodność na trudnym a wręcz niewdzięcznym obiekcie). Z własnych doświadczeń wiem, że nie tylko pomysły odzieżowe, ale nawet medyczne (jak chociażby obejmujące korekcję estetyki) na człowieku dają często efekty mocno niezgodne z przewidywaniami. Tym bardziej pozytywnie należy podejść zarówno do samej tematyki jak i sposobu zmierzenia się z problemem. Podjęte w pracy wyzwanie wpisuje się w aktualne trendy naukowe i aplikacyjne, czego dowodem jest ciekawy materiał badawczy zaprezentowany przez Doktora. Możliwość praktycznego wykorzystania tego materiału to kolejny pozytywny aspekt analizowanej rozprawy. Praca wpisuje się przy tym w całokształt działań od szeregu lat prowadzonych przez Wydział Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. W świetle przedstawionych zagadnień podjęcie tematu rozprawy należy uznać za trafne i w pełni uzasadnione, zarówno pod względem naukowym, jak i użytecznym.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca składa się z 8 rozdziałów numerowanych i zawiera 145 stron. Oprócz tych rozdziałów w pracy znajdują się jeszcze części nienumerowane, a mianowicie Streszczenie oraz Abstract, czyli streszczenie w języku angielskim, a także Wykaz pojęć i skrótów stosowanych w rozprawie. Kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny i spójny układ, kolejno przedstawiane treści rozwijają i uzupełniają myśli zawarte w częściach poprzedzających. Zawartość merytoryczna pracy jest wzbogacona kolorowymi rysunkami, co pomaga we właściwym zrozumieniu przemyśleń piszącego pracę. Rysunki wykonane zostały z należytą starannością i w większości są czytelne.

Właściwa treść zaczyna się od Wprowadzenia, które zawiera motywację, cel i założenia pracy oraz jej zarys. Celem głównym pracy jest opracowanie oraz weryfikacja metody automatycznego pomiaru ciała człowieka na potrzeby przemysłu odzieżowego. W celach naukowych wymieniono metodykę wyznaczania wymiarów na podstawie chmury punktów ciała człowieka, bezobsługowość procesu przetwarzania danych oraz obiektywizację metody. W celach aplikacyjnych podano zapewnienie zestawu wymiarów, weryfikację konkurencyjności rozwiązania, określenie stosowalności metody, aktualizację tabel rozmiarów i opracowanie narzędzi do pozyskiwania danych antropometrycznych.

Drugi rozdział obejmuje przegląd metod pomiaru i ciała człowieka, czyli analizę literatury oraz wynikowo stanu wiedzy na temat zagadnienia. Przedstawiono w nim normy związane z tematyką rozprawy oraz metody pozyskiwania kształtu. Opisano tu metody tradycyjne oraz

cyfrowe. W tych drugich zaprezentowano zarys procesu, rekonstrukcję ciała człowieka, przygotowanie danych, detekcję punktów antropometrycznych i wymiarowanie. W rozdziale omówiono metody skanowania 3D, modele parametryczne i nieparametryczne, filtrację szumu, uzupełnianie ubytków, orientację wzajemną chmur punktów i segmentację. Autor przedstawił pomiary bezpośrednie na danych 3D, na podstawie modeli parametrycznych i na podstawie cech obrazów 2D, jak również estymację wymiarów za pomocą uczenia maszynowego. Doktorant zaprezentował także nowoczesne systemy antropometryczne dostępne na rynku dzieląc je na systemy 3D, 4D oraz aplikacje mobilne, uzupełniając tą część bazami danych antropometrycznych i narzędziami do ich analizy. Rozdział kończy podsumowanie będące krytyczną analizą przedstawionych metod i rozwiązań.

Rozdział trzeci zatytułowany Materiały, zawiera opis zastosowanych urządzeń pomiarowych. Zastosowano skaner światła strukturalnego opracowany w wyniku projektu Formfit. Wyniki uzyskane za jego pomocą porównano w dalszej części pracy z rozwiązaniem komercyjnym.

Kolejny, czwarty rozdział poświęcono metodzie pomiaru ciała z wykorzystaniem chmury punktów. Rozpoczyna go wstępne przetwarzanie chmury punktów, w którym zaprezentowano przygotowanie danych, segmentację i obliczenie krzywizny Gaussa dla każdego punktu w chmurze. Następnie Doktorant przedstawił detekcję punktów antropometrycznych i wymiarowanie - pomiary obwodowe, łukowe i liniowe wraz z algorytmami wyznaczania.

Walidacji algorytmów oprogramowania poświęcono rozdział piąty. Tutaj omówiono zagadnienia związane z pozyskaniem danych testowych oraz analizą dokładności pomiarów. Doktorant zajął się oceną spójności oraz zgodności absolutnej między pomiarami, a także oceną powtarzalności wymiarowania. Dokonał weryfikacji porównywalności pomiarów manualnych i automatycznych. Rozdział kończy opis rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów manualnych i automatycznych.

W szóstym rozdziale zaprezentowano praktyczne zastosowanie opracowanej metody dotyczące przemysłu odzieżowego. Ważną częścią tego obszaru pracy są opracowane aplikacje - skanowanie 3D, algorytmy wymiarowania i eksport danych. Przedstawiając to ostatnie zagadnienie Autor poruszył temat eksportu do pliku XML, PLY oraz ekranów 2D Screenshots. Krótko zaprezentował także pomiary w ramach projektu Formfit.

Rozdział siódmy to podsumowanie pracy. Autor podzielił go na komentarz odnośnie do realizacji celów badawczych, wnioski wynikające z badań oraz perspektywy dalszych działań

i rozwoju opracowanej metody. Przy realizacji celów podano związane z tym publikacje, których współautorem jest Doktorant. Wnioski natomiast obejmują korzyści z zastosowania metody i jej ograniczenia.

Ostatnim numerowanym rozdziałem pracy jest Bibliografia, która obejmuje 355 pozycji, w tym współautorskie Doktoranta. Należy podkreślić, że tak liczny spis publikacji jest bardzo rzadki w rozprawach doktorskich z inżynierii mechanicznej, a zatem wkład pracy Autora już tylko w tą część dzieła jest szczególnie godny podkreślenia.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawioną rozprawę oceniam pod kątem jej zawartości merytorycznej i umiejętności edytorskich. Zaczynając od tego pierwszego zagadnienia należy niewątpliwie docenić interesujące dokonania oraz znaczący wkład pracy wykonanej przez Autora. Bardzo interesująca są praktyczna aplikacja przeprowadzone z wykorzystaniem systemu pomiarowego. Można tutaj dostrzec bardzo dojrzałe podejście do analizy danych pomiarowych. W rozprawie zawarto zatem ciekawy materiał teoretyczny, wyniki badań i dobrze umotywowane wnioski. Cel pracy przyjęty przez Autora został w pełni zrealizowany.

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 Recenzentem. Wśród takich uwag są następujące:

- 1) Na stronie 9 Autor jako MAD podaje polski odpowiednik - maksymalny dopuszczalny błąd pomiaru. To jest raczej MPEE.
- 2) Strona 12. Fizjonomia odnosi się raczej do twarzy a nie do sylwetki. Jeśli Autor mimo wszystko chce użyć tego słowa w innym znaczeniu, to dobrze byłoby to napisać. Podobnie warto wyjaśnić czym są metryki ciała.
- 3) Na stronie 12 pojawiły się pomiary antropometryczne. W samym słowie antropometria już są zawarte pomiary.
- 4) Rozdział 2. Warto podkreślić bardzo dobry przegląd norm. Jedyna uwaga, że używamy raczej słowa normy, a nie standardy.
- 5) Strona 21. Goniometr to jednak przyrząd do pomiaru kątów, zakres w stawach to po prostu przykładowa aplikacja.
- 6) Rysunek 2.2e, opis. Czy tu nie lepiej byłoby napisać mapa odchyłek?
- 7) W odniesieniu do terminu „dokładność”, dobrze mieć świadomość, że jest ona jedynie pojęciem jakościowym, a nie ilościowym (słownik VIM). A zatem - tabela 2.1 i dalej - nie

można podać dokładności przypisać konkretnej wartości liczbowej. To może być błąd systemu pomiarowego lub metody pomiaru, w innych miejscach rozprawy dokładność niesłusznie utożsamiana jest z niepewnością pomiaru lub odchyłką. Podobnie przedstawia się sprawa z terminem: precyzja (strona 71 i dalej).

- 8) Rysunek 2.8. Proponowałbym zmienić tekst na polski.
- 9) Należy podkreślić, że analiza literatury jest bardzo dobrze przygotowana. Wynika to nie tylko z dużej liczby przeanalizowanych pozycji, ale także z bardzo dobrze przedstawionego krytycznego podejścia do zawartej w nich treści.
- 10) Należy także zaznaczyć, że bardzo dobrze przygotowano podsumowanie do analizy literatury. Bardzo dawno nie widziałem tak dobrze przygotowanej tej części rozprawy doktorskiej i tak profesjonalnie wyciągniętych wniosków.
- 11) Strona 63. Norma to ISO 10360 część 8, a nie ISO 103608.
- 12) Tabela 5.1. Dane są tak zróżnicowane, że zastanawiam się czy prezentacja statystyczna ma tu sens. Czy na pewno podlegają rozkładowi normalnemu?
- 13) Czy Autor zastanawiał się nad wpływem napięcia mięśni przez badanego na wyniki pomiarów? Z doświadczenia jednej z prac, które miałem przyjemność prowadzić wynika, że może on być znaczący.
- 14) Pomiar manualny był, jak rozumiem referencją. Czy wynika to tylko z tradycji? Pomiar referencyjny powinien być - umownie przyjmując - o klasę (rzęd wielkości) lepszy od porównywanego.
- 15) Strona 91. Wraca temat rozkładu. Jeśli nie zbadano normalności to stosowanie odchylenia standardowego może dać nie do końca wiarygodne wyniki.
- 16) Rozdział 7. Chylę czoła przed Doktorantem za odwagę napisania, że założoną wartość błędu osiągnął jedynie połowicznie. Umiejętność szczerzej oceny własnych dokonań, również w tej krytycznej części świadczy o dojrzałości naukowej Autora.

Oceniając stronę edytorską należy podkreślić, że praca napisana została poprawnym językiem polskim, a do tego sprawdzona pod względem ewentualnych błędów literowych. Autor ma swobodę pisania, dzięki czemu zapoznanie się z treścią manuskryptu jest interesujące. Wśród uwag edytorskich warto zwrócić uwagę na następujące:

- 1) W pracy występują tzw. teksty wiszące, czyli teksty znajdujące się np. pomiędzy tytułem rozdziału głównego, a tytułem podrozdziału. Zasady edytorskie stanowią, że przy numeracji cyfrowej wielorzędowej np. po tytule rozdziału (na przykład rozdziału 2) powinien

od razu następować tytuł podrozdziału (w tym przypadku 2.1), a tuż np. po tytule podrozdziału powinien być tytuł podrozdziału kolejnego rzędu 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 przez Autora usunięty lub przeniesiony do podrozdziału.

- 2) Niektóre rysunki są za małe i przez to stają się nieczytelne. Mam tu na myśli np. 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12. Rysunki te są bardzo istotne dla analizy treści pracy. Wydaje mi się, że można było zrobić je nawet na całą stronę, co tylko nieznacznie zwiększyłoby objętość całej pracy. Być może usprawiedliwieniem dla Doktoranta jest tu fakt, że jak sądzę przygotowywał pracę na formacie A4, a finalny format wydruku jest mniejszy, stąd rysunki zostały zmniejszone na etapie wydawnictwa.
- 3) Strona 92. Normy ISO 20685 nie ma w wykazie literatury.

Naturalnie przedstawione powyżej uwagi zarówno merytoryczne jak i edytorskie w żadnym stopniu nie umniejszają wartości opiniowanej pracy, a część z nich ma charakter zagadnień i tematów do dyskusji lub jest wyrazem uznania dla dokonań Doktoranta.

4. Wnioski

W rozprawie Autor poruszył temat bardzo interesujący i szeroki, wykazując się wiedzą i determinacją by poprawnie zmieścić go w ramach pracy doktorskiej, napisanej w sposób jasny i przejrzysty. Wynika to z czytelnego podziału poszczególnych rozdziałów na podrozdziały i dojrzałego stylu pisania. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że tematyka pracy została wybrana w sposób trafny, a zakres przedstawionej pracy spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Formalny układ pracy jest prawidłowy. Dysertacja odnosi się do aktualnej wiedzy, a w wielu elementach wnosi treści nowe. Praca zawiera część teoretyczną i badawczą. Autor dokonał bardzo dobrego i dojrzałego przeglądu literatury. Przygotował stanowisko badawcze, przy którym skupił się na części związanej z algorytmami przetwarzania danych i ich analizą. Praca ma dużą wartość aplikacyjną, pomimo tego, że pewnych założeń nie udało się do końca zrealizować - podkreślam tu raz jeszcze fakt, że człowiek jest bardzo trudną materią badawczą. Należy jednak zwrócić uwagę, że eksperymenty nieudane czy częściowo nieudane wnoszą czasami do nauki więcej niż te, które zakończyły się w całości zgodnie z przewidywaniami. Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Łukasza Marcina Markiewicza pt. *Metoda pomiaru ciała człowieka z wykorzystaniem chmury punktów na potrzeby przemysłu odzieżowego*, spełnia wymagania stosownej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Może zatem być dopuszczona do publicznej obrony. Moim zdaniem zasługuje również na wyróżnienie.

prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski



Politechnika Poznańska