

Prof. dr hab. inż. Jerzy Andrzej Sładek  
Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej (M10)  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Marty Natalii Nowak

**„Metoda analizy danych pomiarowych reprezentujących geometrię ciała człowieka w ruchu do zastosowań w animacji trójwymiarowej**

*Podstawa opracowania:*

*Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 08.09.2021*

*zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej*

*Prof.dr hab.inż.Gerarda Cybulskiego z dnia 17.09.2021 znak: WMt.521.8.2021*

## **1. Charakterystyka ogólna**

Współczesna metrologia współrzędnościowa umożliwia pomiar i obrazowanie wszelkich obiektów geometrycznych. Pomiar i obrazowanie realizowane jest poprzez wyznaczenie współrzędnych oraz chmury punktów w zakresie od nano do makro wymiarów. Sformułowana tak przeze mnie przed kilkudziesięciu laty definicja jednego z kluczowych działów metrologii rozumiana wtedy warunkach 3 wymiarów obecnie rozszerza się o następny wymiar - czas. Rozwijające się intensywnie technologie cyfrowego obrazowania pozwalają na pomiar coraz częściej w ruchu obiektów przestrzennych czy też ich dynamicznej zmiany kształtu i wymiarów. Duża tu zasługa zespołów naukowych skupionych wokół Prof. Małgorzaty Kujawińskiej i Prof. Roberta Sitnika z Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej. Obrazowanie i pomiar dynamiczny jako zadanie współczesnej metrologii współrzędnościowej intensywnie się rozwija sięgając do obszarów nie tylko badań konstrukcji mechanicznych ale medycyny, biologii a szczególnie mediów.

**Praca doktorska mgr inż. Marty Natalii Nowak poświęcona metodzie generowania animacji komputerowej wirtualnej postaci na podstawie analizy pomiaru sekwencji skanów przestrzennych postaci w ruchu wpisuje się właśnie w obszar współczesnej metrologii współrzędnościowej mieszcząc się w dyscyplinie - inżynieria mechaniczna.**

## 2. Układ i obszar merytoryczny monografii:

Recenzowana praca liczy 82 stron i składa się z 7 rozdziałów w tym spisu treści, spisu pojęć i skanów używanych w pracy, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz bibliografii w której zamieszczono 121 pozycji.

**Rozdział 1 - Wprowadzenie** zawiera motywację a także cel rozprawy - w którym Autorka zwraca uwagę na zapotrzebowanie na nowe coraz lepsze metody obrazowania i pomiaru człowieka w ruchu i ich zastosowanie w technologiach medycznych, systemach monitoringu ale przede wszystkim mediów takich jak film, animacje i gry komputerowe. Celem pracy – jak to opisuje Autorka jest opracowanie metody analizy skanów 4D o dużej rozdzielczości przestrzennej i czasowej reprezentującej ciało człowieka w ruchu dla celów animacji postaci trójwymiarowej, pozwalającej na przeniesienie ruchu szkieletu animacyjnego oraz zmian kształtu ciała. Autorka definiuje też wymagania jakie powinna spełniać proponowana przez Nią metoda, które ujęła następująco:

- wykorzystywać dane z wybranego systemu dynamicznego pomiaru ciała człowieka,
- umożliwiać transfer ruchu szkieletu animacyjnego na podstawie sekwencji skanów,
- umożliwiać transfer deformacji głównych segmentów ciała tj. przedramion, ramion, tułowia, ud i łydek,
- utrzymywać spójny model szkieletu postaci w całej sekwencji,
- utrzymywać spójny model siatki trójkątów reprezentującej powierzchnię w całej sekwencji,
- odwzorowywać geometrię z dokładnością większą niż pięciokrotność średniej odległości między punktami wejściowego pomiaru przestrzennego.

**Rozdział 2. Omówienie istniejących rozwiązań** – to przegląd i rozwiązań zarówno sprzętu pomiarowego jak i metod analizy danych pomiarowych. Opisano tu systemy zbierania danych pomiarowych z ich charakterystyką (kamery cyfrowe, kamery RGBD z sensorami głębi bazujących na metodzie ToF, triangulacji, światła strukturalnego czy też stereowizji z dwóch kamer RGB). Znajdujemy w tym rozdziale omówienie metod animacji komputerowej postaci, a także algorytmów analizy ruchu człowieka.

**Rozdział 3. Metoda transferu ruchu animowanej postaci na podstawie skanów 4D** - przedstawia ogólną koncepcję zaproponowanej metody, która składa się z trzech etapów: śledzenia pozy skanowanej osoby w sekwencji skanów 3D, wyznaczania map kształtu dla poszczególnych segmentów skanu oraz deformacji siatki bazowej na podstawie map kształtu. Szczegółowo



omówiono metodę śledzenia ruchu szkieletu na podstawie skanów 4D i metodę odwzorowania geometrii skanowanej osoby na siatkę wirtualnej postaci oraz zmian tej geometrii.

**Rozdział 4. Ewaluacja i dyskusja** - zawiera ewaluację opracowanej metody dla dwu wariantów – z uśrednianiem i oraz aproksymacją za pomocą radialnych funkcji bazowych (RBF) zrealizowaną dla dostępnych zbiorów skanów 4D by porównać je z jedną z obecnie wiodących metod (D-FAUST). Zaprezentowano wyniki i ocenę porównań by następnie zdefiniować obszary ograniczeń i rozwoju metody.

**Rozdział 5. Podsumowanie** - stanowi podsumowanie rozprawy, w którym stwierdzono że opracowana metoda (dla obu jej wariantów) pozwala na uzyskanie dwukrotnie mniejszego błędu rekonstrukcji niż przyjęta do porównań metoda D-FAUST. W rozdziale tym Autorka wyznacza też kierunki dalszych usprawnień metody.

**Rozdział 6. Dodatek A** – zawiera zbiór wyników porównań opracowanej metody (jej dwu wariantów) z metodą D-FAUST

**Rozdział 7. Bibliografia** - zawiera 121 pozycji literatury jaka wykorzystano w odpracowaniu monografii.

Układ pracy, język oraz sposób prezentacji treści merytorycznych w niej zawartych jest jasny i zrozumiały. Ponadto stronę graficzną i edytorską należy ocenić wysoko.

### 3. Ocena przyjętej przez Autorkę koncepcji naukowej oraz sposobu jej realizacji

Obrazowanie postaci i jej ruchu na podstawie szeregu danych pozyskiwanych dzięki sensorom wizyjnym powiązane z coraz większą możliwością obliczeniową współczesnych komputerów pozwala na uzyskania fotorealizmu generowanego obrazu, a jakość animacji postaci ludzkiej jest jednym z czynników, który warunkuje realizm zdań pomiarowych ale i gry czy filmu animowanego. Rozwój wielokierunkowych skanerów 3D stworzył tu bowiem nowe możliwości dla systemów pomiaru ruchu i ciała człowieka. Wraz ze wzrostem osiąganego częstotliwości obrazowania możliwe stało się uzyskanie pomiarów 4D (3D + czas) o dużej rozdzielczości przestrzennej i czasowej.

Praca Pani mgr inż. Marty Nowak skupia się na rozwiązaniu tego problemu poprzez opracowaniu nowej oryginalnej metody przetwarzania skanów 4D pozwalającej na dokładne odwzorowanie kształtu obiektu skanowanego z zachowaniem możliwości zmiany topologii siatki wejściowej lub topologii szkieletu animacyjnego.

Analizując jednak opracowaną przez Autorkę metodę i jej możliwe wykorzystanie praktyczne, recenzentowi narzuciły się pewne wątpliwości które wymagają wyjaśnienia:

- czy metoda pozwala na śledzenie ruchu szkieletu, przykładowo polegającego na obrocie wyprostowanej ręki wokół własnej osi? Wydaje się to zagadnieniem trudnym do rozwiązania, szczególnie dla systemów wykorzystujących dane powierzchniowe.



- czy nie lepszą metodą odwzorowania map geometrii segmentów byłoby zastosowanie metod aproksymacji z zastosowaniem funkcji analitycznych? Powierzchnia człowieka w obszarze segmentu jest wolno-zmienna i może dałoby to lepsze wyniki niż tworzenie dyskretnych map odległości?
- jakie są największe bariery nie pozwalające na zastosowanie opracowanych algorytmów w praktycznym zastosowaniu?

Mimo wyrażonych przez recenzenta wątpliwości wymagających wyjaśnienia praca doktorska Marty Natalii Nowak zasługuje na pozytywną ocenę ponieważ:

- doktorantka sformułowała oryginalny problem badawczy polegający na opracowaniu metody analizy sekwencji skanów 3D człowieka, która umożliwi wygenerowanie animacji szkieletowej wraz z odwzorowaniem deformacji geometrii w czasie ruchu.
- Opracowała algorytm składający się z trzech etapów: śledzenia szkieletu, mapowania kształtu oraz morfowania bazowej siatki trójkątów.
- Zweryfikowała dwa warianty opracowanej metody porównując ją z uznaną metodą D-FAUST
- Uzyskana jakość odwzorowania w obu wariantach metody zapewnia prawie dwukrotnie mniejszy błąd rekonstrukcji niż referencyjna metoda D-FAUST
- Metoda spełniła założenia dotyczącą minimalnej jakości odwzorowania mniejszej niż pięciokrotność średniej odległości między punktami danych wejściowych (AMD) spełniając postawione założenia.
- Metoda pozwala na zastosowanie siatki bazowej o dowolnej topologii i gęstości.

Powyższe dokonania dowodzą, że Doktorantka posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych oraz że rozwiązała postawiony w pracy doktorskiej problem badawczy i sformułowała też kierunki dalszych badań nad rozwojem zaproponowanej metody. Autorka uznała bowiem że konieczne jest przeanalizowanie obszarów przejściowych pomiędzy kolejnymi segmentami, gdzie pojawiają się artefakty spowodowane utratą danych do obliczenia wartości mapy kształtu (do mapy kształtu partycypują punkty z danego segmentu i nieduży obszar otaczający) oraz kumulacją wierzchołków po przekształceniu parametrycznym mapy kształtu. Drugim polem do rozwoju metody jest usprawnienie algorytmu śledzenia szkieletu, aby zminimalizować ryzyko opadania szkieletu w dłuższych i bardziej dynamicznych sekwencjach pomiarowych. Zdaniem recenzenta większą wartość osiągniętych wyników można by uzyskać poprzez weryfikacje badawcza w warunkach rzeczywistych a nie tylko poprzez porównanie wyników uzyskanych dla innej metody (w tym wypadku D-FAUST) na podstawie tego samego zbioru danych. Zadanie to powinno być zatem przedmiotem dalszych prac nad doskonaleniem proponowanej metody przez Autorkę.



#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Recenzowana praca ma znaczącą wartość poznawczą i praktyczną w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna. Wnosi ważne treści do problematyki generowania animacji komputerowej wirtualnej postaci na podstawie analizy sekwencji skanów 3D ciała człowieka w ruchu. Na podstawie recenzowanej rozprawy mogę stwierdzić, że mgr inż. Marta Natalia Nowak zaprezentowała się jako dojrzały pracownik naukowy i jest w pełni przygotowana do pracy naukowo-badawczej. Doktorantka wykazała się dużą wiedzą z zakresu metrologii współrzędnościowej 4D, a w szczególności badania postaci człowieka w ruchu i opracowania algorytmów obliczeniowych pozwalających na fotorealistyczne jej obrazowanie dla potrzeb animacji. Metodę Autorki zweryfikowano badawczo poprzez porównanie jej efektów z metodą D-FAUST opracowaną przez bardzo doświadczony zespół naukowców z Max Planck Institute for Intelligent Systems, z Tübingen Niemcy, kierowanego przez Michaela J. Black'a uzyskując znacznie lepsze rezultaty. Na podkreślenie zasługuje też że wyniki pracy zostały opublikowane w artykule zamieszczonym w recenzowanym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym: *Nowak, M.; Sitnik, R. High-detail animation of human body shape and pose from high-resolution 4d scans using iterative closest point and shape maps. Appl. Sci. 2020, 10, doi:10.3390/app10217535*

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Natalii Nowak pt.: **"Metoda analizy danych pomiarowych reprezentujących geometrię ciała człowieka ruchu do zastosowań w animacji trójwymiarowej"** stwierdzam, że:

- tematyka rozprawy kwalifikuje ją do dyscypliny naukowej Inżynieria mechaniczna,
- **praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 179 ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669), w związku z art. 11 ust. 1, art. 14 ust. 1 pkt 1, ust. 2 pkt 1 oraz art. 20 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 z późn. zm.) i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

Kraków 7.11.2021

