

# Metody interpolacji liniowej oraz Lagrange'a do uzupełniania trajektorii ruchu 3D

Mateusz Pędziół\*, Maria Skublewska-Paszkowska

Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

**Streszczenie.** Podczas rejestracji ruchu z zastosowaniem pasywnego systemu akwizycji ruchu, w trajektorii danego markera może powstać luka, którą w procesie obróbki danych należy uzupełnić. Stosuje się w tym celu różne algorytmy interpolacji. Artykuł przedstawia trzy różne metody interpolacji: liniową, wielomianem Lagrange'a drugiego stopnia oraz piątego stopnia. W oryginalnych danych 3D zostały utworzone dziury, które następnie uzupełniono trzema metodami. Każda metoda została oceniona za pomocą miary odległości Euklidesa dla trzech wymiarów danych oryginalnych oraz po uzupełnieniu trajektorii. W artykule przedstawiono także program do uzupełniania trajektorii, zaimplementowany w języku C++. Przedstawiona analiza dotyczy uzupełniania trajektorii wybranych markerów z modelu Plug-in Gait podczas chodu osoby.

**Słowa kluczowe:** interpolacja liniowa; wielomian Lagrange'a; uzupełnianie trajektorii 3D

\*Autor do korespondencji.

Adres e-mail: mateusz91.pollub@gmail.com

## Methods of linear and Lagrange interpolation to fill in 3D motion trajectory

Mateusz Pędziół\*, Maria Skublewska-Paszkowska

Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

**Abstract.** During the motion registration using passive motion capture system in the marker's trajectory a gap may appear, which in the data post-processing should be filled in. Various interpolation algorithms are used for this purpose. This article presents three different interpolation methods: linear, polynomial of Lagrange of second degree and fifth degree. In the original 3D data the holes have been created, which are then filled in by mentioned methods. Each method was evaluated by measuring the Euklides distance for three dimensions of the original and interpolated data. The article presents the program to interpolate gaps in the trajectory, implemented in C++ language. The analysis concerns the interpolation of selected marker's trajectory which belongs to the Plug-in Gait model while performing walking.

**Keywords:** linear interpolation; Lagrange polynomial; filling in the 3D trajectory

\*Corresponding author.

E-mail address: mateusz91.pollub@gmail.com

### 1. Wstęp

Postęp techniczny w dużej mierze wpływa na świat rozrywki. Gry komputerowe oraz filmy, szczególnie te science fiction, są pełne efektów specjalnych oraz fikcyjnych postaci, których sposób poruszania się zadziwia ludzi na całym świecie. Taki ruch powstaje przy pomocy technologii Motion Capture. Jest to technologia, która polega na nagrywaniu ruchów człowieka i zapisywaniu ich do komputera w postaci różnych plików, np. C3D. Nagrywanie ruchu odbywa się w specjalnym studiu, a nagrywana osoba ma przyłączone markery, albo bezpośrednio na skórę, albo do kostiumu [1]. Kamery znajdujące się w studiu przechwytyują ruch markerów, a następnie zapisują go do pliku w postaci współrzędnych  $(x, y, z)$ . Często zdarza się, że podczas nagrywania ruchów (prostych, jak także skomplikowanych), któryś z markerów może zostać przysłonięty przez jakąś część ciała aktora i w zapisanym ruchu powstaje dziura, którą należy uzupełnić. Konieczne jest zatem uzupełnienie takiej przerwy, przy pomocy odpowiednich metod interpolacji [2].

Celem artykułu jest analiza wybranych metod obróbki danych ruchu 3D do uzupełniania trajektorii ruchu, zapisanych w plikach C3D. Porównywane metody interpolacji to: liniowa i wielomianowa Lagrange'a przy użyciu trzech oraz sześciu węzłów. Uzupełnianie trajektorii zostało zautomatyzowane poprzez program napisany w języku C++. Uzyskane wyniki (wartości współrzędnych interpolowanych markerów) zostały porównane z oryginalnymi wartościami. Na podstawie miary odległości Euklidesa została oceniona skuteczność każdej metody. Badania zostały przeprowadzone na danych ruchu – chodu. Ruch został nagrany w Laboratorium Analizy Ruchu i Ergonomii Interfejsów na Politechnice Lubelskiej z użyciem pasywnego, optycznego systemu motion capture. Osoba badana miała umieszczone retro-refleksyjne markery, rozmieszczone według schematu odpowiadającego modelowi biomechanicznemu Plug-in Gait [3].



### 3.3. Interpolowanie dziur

Program, napisany w języku C++ wczytuje dane z pliku, które przedstawiają ruch aktora w przestrzeni trójwymiarowej, w postaci pliku tekstowego. Po znalezieniu dziur, czyli klatek nie zawierających współrzędnych, program pobiera numery klatek pustych oraz skrajnych zawierających współrzędne. Następnie program pobiera z tych skrajnych współrzędnych punktu kolejno współrzędne x, y, z i na ich podstawie, przy pomocy wybranej interpolacji, oblicza kolejne szukane współrzędne x, y, z.

### 3.4. Miara odległości Euklidesa

Różnice odległości między punktami macierzystymi a punktami po interpolacjach są obliczane ze wzoru na odległość między punktami w przestrzeni trójwymiarowej, według miary Euklidesa [5]. Odległość została przedstawiona na wzorze 4.

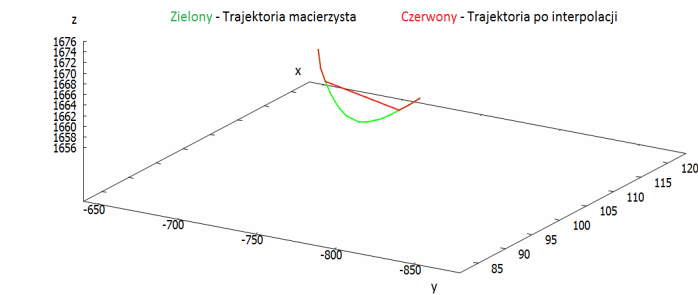
$$|AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (4)$$

gdzie: x, y, z – współrzędne punktów.

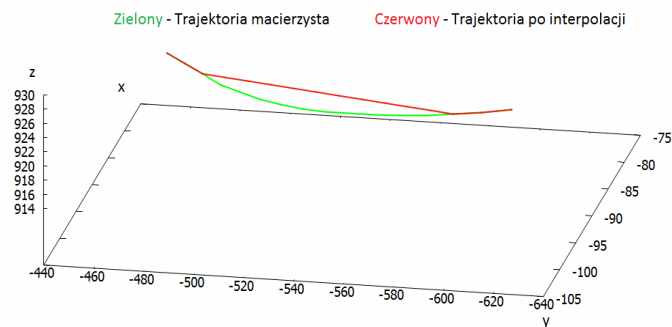
## 4. Wyniki

### 4.1. Interpolacja liniowa

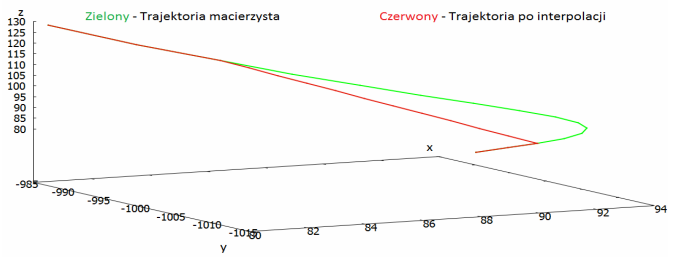
Wyniki interpolacji liniowej dla trzech markerów (LBHD, LRWA, LANK) są przedstawione na rysunkach 2,3,4. Na zielono przedstawiono wartość po interpolacji. Kolor czerwony ilustruje oryginalne dane.



Rys. 2. Wykres interpolacji liniowej dla markera LBHD



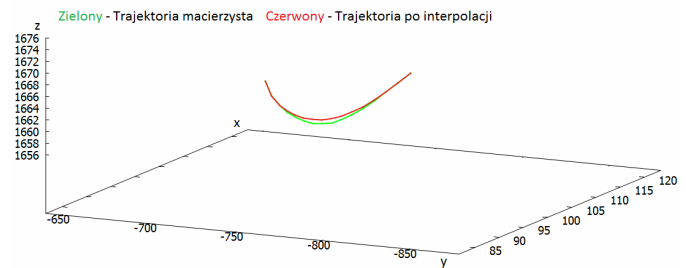
Rys. 3. Wykres interpolacji liniowej dla markera LWRA



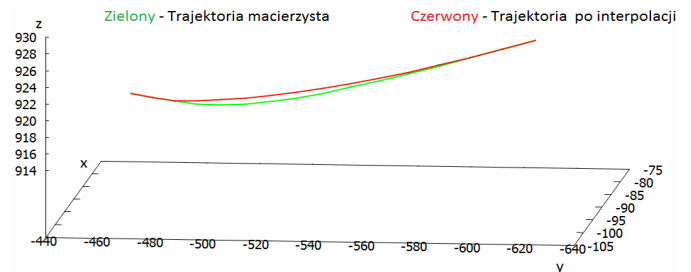
Rys. 4. Wykres interpolacji liniowej dla markera LANK

### 4.2. Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia

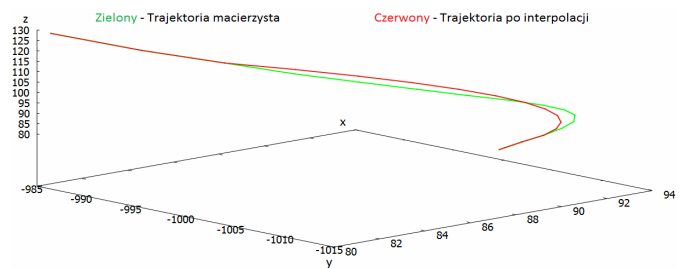
Wyniki interpolacji Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia dla trzech markerów (LBHD, LRWA, LANK) są przedstawione na rysunkach 5,6 oraz 7.



Rys. 5. Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia – LBHD



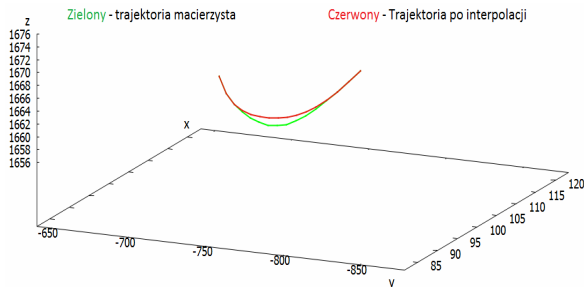
Rys. 6. Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia – LWRA



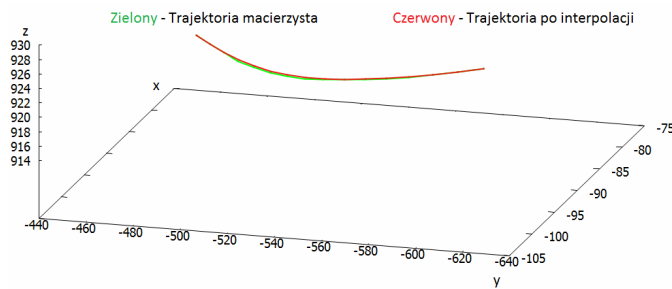
Rys. 7. Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia – LANK

### 4.3. Interpolacja Lagrange'a wielomianem piątego stopnia

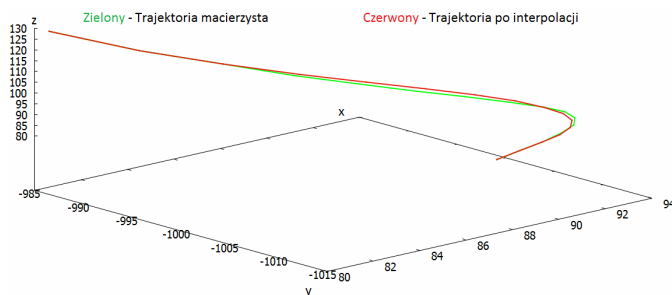
Wyniki interpolacji Lagrange'a wielomianem piątego stopnia dla trzech markerów (LBHD, LRWA, LANK) są przedstawione na rysunkach 8,9 oraz 10.



Rys. 8. Interpolacja Lagrange'a wielomianem piątego stopnia - LBHD



Rys. 9. Interpolacji Lagrange'a wielomianem piątego stopnia - LRWA



Rys. 10. Interpolacji Lagrange'a wielomianem piątego stopnia - LANK

### 4.4. Błąd odległości

Średni błąd odległości markerów macierzystych, a markerów po wyliczonych interpolacjach, przy użyciu wybranych metod jest przedstawiony w tabeli 1.

Tabela 1. Średni błąd metod interpolacji, dla poszczególnych markerów

Marker	Interpolacja Liniowa	Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia	Interpolacja Lagrange'a wielomianem piątego stopnia
LBHD	3,18	0,53	0,71
LWRA	3,27	0,56	0,35
LANK	6,45	1,15	0,36

## 5. Wnioski

Za pomocą przedstawionych rysunków oraz wyników ukazanych w poszczególnych tabelach można wyciągnąć następujące konkluzje: 1) Interpolacja liniowa jest najmniej efektywna i nie sprawdza się dla trajektorii, której torem nie jest linia prosta; 2) Interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia sprawdza się najlepiej dla trajektorii o ruchu zbliżonym do parabolicznego, ponieważ interpolacja jest obliczana dla trzech znanych punktów. Przykładem takim jest marker LBHD, którego ruch cyklicznie zbliżony jest do paraboli, w wyniku czego interpolacja w tym przypadku okazała się najdokładniejsza; 3) Interpolacja Lagrange'a wielomianu piątego stopnia okazała się najskuteczniejsza w ruchu dla wszystkich markerów, poza LBHD.

Nie można pominąć faktu, że im więcej punktów jest użytych do interpolacji, tym większy jest stopień wielomianu interpolacyjnego, dzięki czemu obliczenia są dokładniejsze. Należy wtedy pamiętać, że czas obliczeń jest dłuższy. Dlatego powinno się odpowiednio dobierać interpolację do potrzeb. Na przykład, w przypadku ruchu po linii prostej, nie należy od razu wybierać interpolacji wielomianowej, lecz wskazane jest skorzystanie z interpolacji liniowej, w efekcie czego wyniki zostaną obliczone, w krótszym czasie, nie zajmując cennej pamięci komputera. Natomiast w przypadku trajektorii, w której ruch cyklicznie lub w całości przypomina parabolę, odpowiednim wyborem jest interpolacja Lagrange'a wielomianem drugiego stopnia, który da wyniki identyczne, a może nawet lepsze niż wielomian o wyższym stopniu.

## Literatura

- [1] R. Parent, Animacja Komputerowa – Algorytmy i Techniki, Warszawa 2012, s. 210, 213-214.
- [2] Z. Fortuna, B. Macukow, J. Wąsowski: Metody numeryczne. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1993. ISBN 83-204-1551-9.
- [3] Plug-in Gait Model, [www.irc-web.co.jp/vicon/\\_web/news/\\_bn/PIGManualver1.pdf](http://www.irc-web.co.jp/vicon/_web/news/_bn/PIGManualver1.pdf)
- [4] MOKKA Motion Kinematic and Kinetic Analyzer, <http://biomechanical-toolkit.github.io/mokka/>
- [5] W. Rudin: Podstawy analizy matematycznej. Warszawa: 2005, s. 18-19