

Krzysztof Jaworek, Jolanta Pauk*

O zastosowaniu metody płaszczyzny Gaussa w badaniach nad chodem człowieka

Politechnika Białostocka

W pracy przedstawiono nową metodę do oceny chodu człowieka. Bazuje ona na współczynnikach modelu chodu uzyskanych w procesie identyfikacji parametrycznej, metodą funkcji regresji. Współczynniki te umieszczono na płaszczyźnie Gaussa.

About applying of Gauss plane to human gait assessment

The aim of this paper is presentation a new method to assessment of human gait using model's coefficient obtained from regression function and Gauss plane.

WSTĘP

Aktualnym zagadnieniem dotyczącym lokomocji kończynowej człowieka jest unifikacja i obiektywizacja procesu uzyskiwania informacji o stanie jego aparatu ruchu. W trakcie postępowania usprawniającego stan aparatu ruchu człowieka zmienia się. Ocena tych zmian, które następują pod wpływem różnych czynników powinna stanowić podstawę „sterowania” procesem rehabilitacji.

Celem oceny lokomocji dwunożnej człowieka jest przede wszystkim przywrócenie utraconej sprawności ruchowej, prowadzenie profilaktyki zdrowotnej oraz podnoszenie sprawności fizycznej osoby badanej [3,4,5]. W biomechanice, oceny lokomocji dwunożnej człowieka dokonuje się na podstawie oceny jakościowej i ilościowej. Oceny jakościowej dokonuje lekarz, fizjoterapeuta lub trener. W wyniku obserwacji chodu patologicznego w zwolnionym tempie, chód może wydawać się zjawiskiem pozornie normalnym. Patologia jego ujawnia się, gdy badany zmienia tempo ruchu. W celu prawidłowo podjętej oceny bardzo ważne jest doświadczenie i zdolności percepcyjne oceniającego. Przed wykonaniem badań lekarz ocenia całość budowy ciała osoby badanej oraz odnotowuje odchylenia w statyce chorego. Śledzi chód poprzez oglądanie badanego

z przodu, z tyłu, z lewej i prawej strony. Tego typu ocena ma również wady, gdyż specjalista nie jest w stanie dojrzeć niewielkich patologii.

W ocenie ilościowej mierzy się parametry kinematyczne i dynamiczne ruchu człowieka. Liczbowy opis lokomocji kończynowej umożliwia zbudowanie systemów klasyfikacyjnych i topologicznych, które pozwalają określić rodzaj i stopień patologii, efektywność rehabilitacji, interwencji chirurgicznej oraz treningu sportowego. Coraz częściej poszukuje się norm dla oceny różnych parametrów chodu, które służą do oszacowania stanu zdrowia pacjenta. Przyjmuje się te wartości, które najczęściej występują w populacji ludzi zdrowych [2].

METODA OCENY CHODU CZŁOWIEKA ZA POMOCĄ PŁASZCZYZNY GAUSSA

Poniżej przedstawiono metodę identyfikacji parametrycznej z wykorzystaniem technik komputerowych, zastosowaną do opracowania modelu dynamiki lokomocji człowieka.

W celu przeprowadzenia identyfikacji modelu chodu człowieka metodą regresji przyjęto model procesu o postaci [1,6,7,8]:

$$y_n = \underline{u}_n \cdot \underline{a}, n = 1, 2, \dots, N_p, \quad (1)$$

* Praca finansowana z grantu G/WM/1/03.

gdzie y_n jest wartością wielkości wyjściowej, która jest modelowana, wektor $\underline{u}_n$ dla procesu dynamicznego jest określony zależnością:

$$\underline{u}_n = [Y_{n-1} \quad Y_{n-2} \quad K \quad Y_{n-k}]^T \quad (2)$$

wektor $\underline{a}$ ma postać:

$$\underline{a} = [a_1 \quad a_2 \quad K \quad a_k]^T. \quad (3)$$

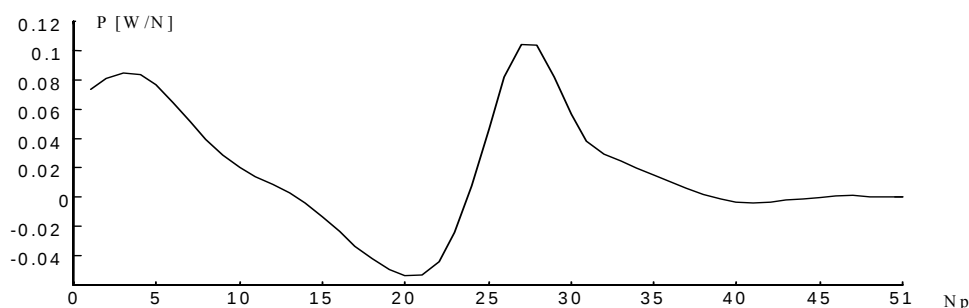
Wykorzystując metodę regresji parametry modelu określa równanie [2]:

$$\underline{a} = (\underline{U}^T \cdot \underline{U})^{-1} \cdot (\underline{U}^T \cdot \underline{Y}) \quad (4)$$

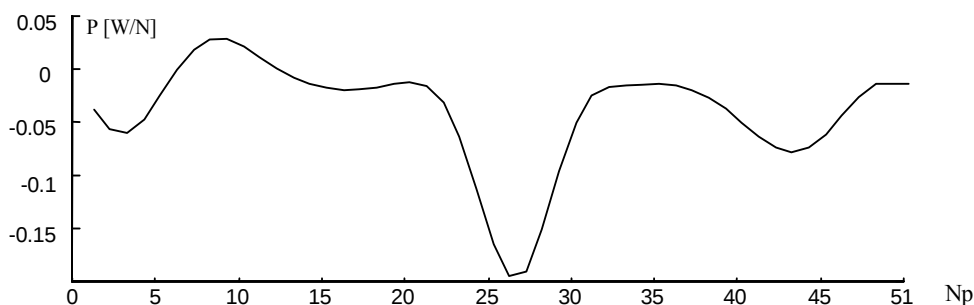
W identyfikowanym w niniejszej pracy modelu dynamiki y_n jest chwilową wartością mocy, rozwijaną przez główne zespoły mięśniowe, obsługujące trzy stawy kończyny dolnej, w n -tej chwili czasowej. Natomiast składowe wektora $\underline{u}_n$ są uzyskanymi na podstawie pomiarów chwilowych wartościami mocy w n poprzednich chwilach czasowych.

Równanie (1) nazywane jest w piśmiennictwie fachowym funkcją regresji, zaś wektor $\underline{a}$ jest wektorem współczynników funkcji regresji.

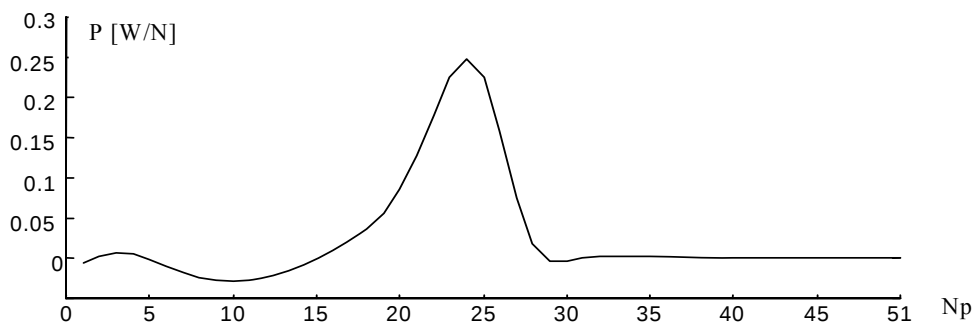
Przykładowe przebiegi mocy chwilowych (znormalizowanych do ciężaru osoby badanej) rozwijanych przez główne zespoły mięśniowe człowieka pokazano na rysunkach 1–3.



RYC. 1. Znormalizowany przebieg mocy chwilowej rozwijanej przez zespoły mięśniowe obsługujące staw biodrowy u osób zdrowych



RYC. 2. Znormalizowany przebieg mocy chwilowej rozwijanej przez zespoły mięśniowe obsługujące staw kolanowy u osób zdrowych



RYC. 3. Znormalizowany przebieg mocy chwilowej rozwijanej przez zespoły mięśniowe obsługujące staw skokowo-goleniowy u osób zdrowych

TABELA 1. Wyniki identyfikacji modelu dynamiki lokomocji człowieka dla osób zdrowych oraz osób z uszkodzonym więzadłem pobocznym piszczelowym

	Współczynniki modelu		
	a_1	a_2	a_3
Norma	$2,470 \pm 0,700$	$-1,161 \pm 0,361$	$0,667 \pm 0,126$
Uszkodzenie więzadła pobocznego piszczelowego	$2,382 \pm 0,422$	$-1,014 \pm 0,382$	$0,619 \pm 0,253$

W tabeli 1 pokazano wartości współczynników modelu chodu osób zdrowych oraz osób z uszkodzonym więzadłem pobocznym piszczelowym, uzyskane w procesie identyfikacji metodą funkcji regresji.

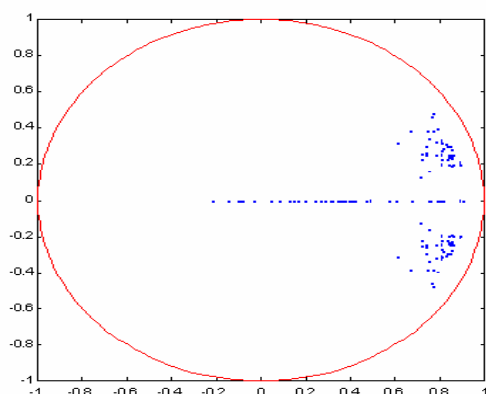
W wyniku identyfikacji modelu chodu człowieka, uzyskano równanie różnicowe III rzędu o postaci:

$$y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + a_3 y(n-3), \quad (5)$$

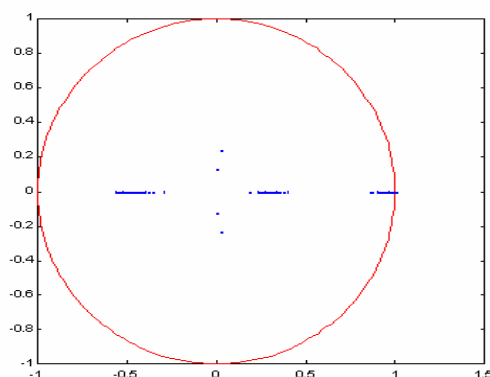
gdzie:

a_1, a_2, a_3 – współczynniki modelu matematycznego chodu człowieka.

Poddając przekształceniu Z równanie (5) otrzymuje się:



RYC. 4. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu biodrowego (osoby zdrowe)



$$Y(z) = a_1 z^{-1} Y(z) + a_2 z^{-2} Y(z) + a_3 z^{-3} Y(z), \quad (6)$$

gdzie:

$Y(z)$ – jest transformatą Z sygnału $y(n)$.

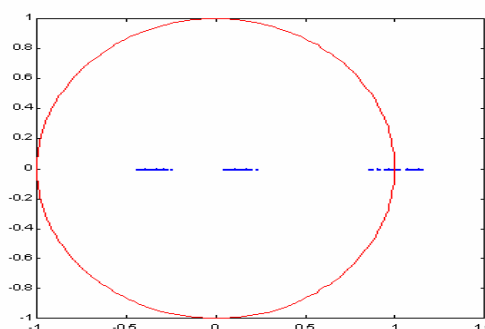
Dla $Y(z) \neq 0$ równanie przyjmuje postać:

$$z^3 - a_1 z^2 - a_2 z - a_3 = 0. \quad (7)$$

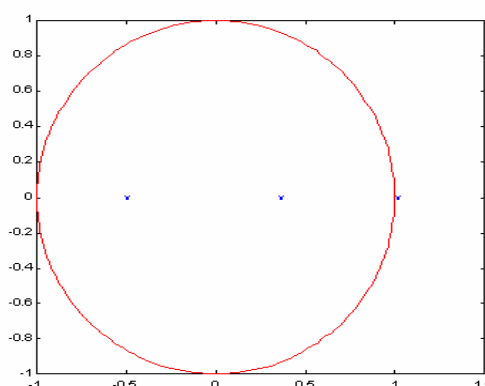
Dla znanych wartości współczynników a_1, a_2 , i a_3 , uzyskanych z identyfikacji modelu chodu człowieka, z równania (7) uzyskuje się pierwiastki, które wprowadza się na płaszczyznę Gaussa.

Reprezentację współczynników modelu chodu człowieka, uzyskanych metodą funkcji regresji, przedstawiono na płaszczyźnie Gaussa.

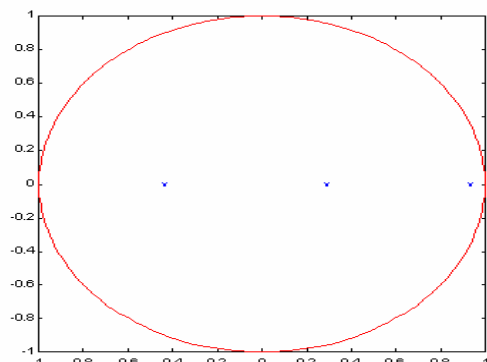
RYC. 5. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu kolanowego (osoby zdrowe)



RYC. 6. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu skokowo-goleniowego (osoby zdrowe)



RYC. 7. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu biodrowego (osoby z uszkodzonym więzadłem pobocznym piszczelowym)



RYC. 8. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu kolanowego (osoby z uszkodzonym więzadłem pobocznym piszczelowym)

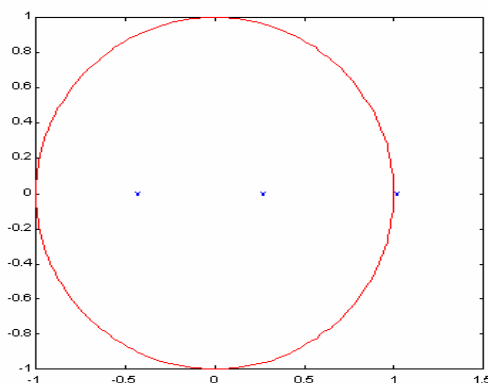
PODSUMOWANIE

Skorelowano opinię konsylium lekarzy z położeniem pierwiastków równania (7) na płaszczyźnie Gaussa. Zauważono, że w wyniku procesu rehabilitacji lub interwencji chirurgicznej zmienia się położenie pierwiastków równania (7) na płaszczyźnie Gaussa.

Stwierdzono, że właściwa diagnoza sposobu leczenia narządów ruchu pacjenta wydana przez konsylium lekarzy – pokrywa się ze zjawiskiem cofania się pierwiastków równania (7) w kierunku początku układu współrzędnych odniesienia, tj. punktu (0,0) na płaszczyźnie Gaussa.

PIŚMIENNICTWO

1. Jaworek K., Pauk J.: *Identyfikacja modelu ruchu na przykładzie lokomocji dwunożnej człowieka*, Zeszyty Naukowe PB nr 9, Białystok 2002.



RYC. 9. Rozkład współczynników modelu chodu człowieka na płaszczyźnie Gaussa dla stawu skokowo-goleniowego (osoby z uszkodzonym więzadłem pobocznym piszczelowym)

2. Wit A.: *Biomechaniczna ocena układu ruchu sportowca*, Instytut Sportu, Warszawa 1992.
3. De Lisa J.A.(ed.): *Gait Analysis in the Science of Rehabilitation*, Monograph 002,1998.
4. Ghista D.N., Roaf R.: *Orthopaedic mechanics procedures and devices*, Academic Press, London 1981.
5. Whittle M.W.: *Clinical gait analysis*, A review, Human Movement Science 15, 1996, 369.
6. Pauk J.: *Parametric identification of lower limbs during walking of a man*, Conference Proceedings IV World Congress of Biomechanics, Canada 2002, CD-ROM.
7. Pauk J.: *Identification of human gait model*, Conference Proceedings Biomechanics of man, Cejkovice 2002, 127.
8. Pauk J, Jaworek K.: *Parametric identification of lower limbs during walking of a man*, Design & Nature, WET Press, Southampton 2000, 361.