

Artur BABIARZ, Krzysztof JASKOT
Politechnika Śląska

ANALIZA RUCHU ROBOTA DWUNOŻNEGO

Streszczenie. W pracy zaprezentowano kinematykę dwunożnego robota kroczącego posiadającego 15 stopni swobody. Wszystkie połączenia ruchowe są typu obrotowego. Pomiar zakresów zmian poszczególnych kątów przeprowadzono za pomocą urządzenia 3DM-GX1 firmy Microstrain. W ramach pracy przedstawiono również symulator robota dwunożnego.

ANALYSIS OF BIPED ROBOT MOTION

Summary. This paper presents kinematics of biped robot which has 15 degrees of freedom. Each joint is rotational and it has from 1 to 3 degrees of freedom. The range of angles for each joint were computed using 3DM-GX1 (IMU - an inertial measurement unit). At the end of the paper we show computer program that can be used to simulate robot motion.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach roboty kroczące dwunożne stanowią bardzo ważne pole badań w robotyce. We wszystkich przypadkach konstrukcji tego typu maszyn można odnaleźć analogię do układu ruchowego ciała ludzkiego [2,9]. Jest to spowodowane ciągłą fascynacją organizmem ludzkim, a także szybkością jego adaptacji do zmieniających się warunków otoczenia. Konstruowane roboty kroczące posiadają od trzech do sześciu stopni swobody przypadających na jedną nogę [5,10]. Połączenia ruchowe są upraszczane do połączeń obrotowych występujących w robotach manipulacyjnych. Wynika to z faktu bardzo skomplikowanej budowy stawów występujących w kończynach dolnych. Przykładem może być staw kolanowy, który zazwyczaj jest reprezentowany jako połączenie obrotowe o jednym stopniu swobody. Można jednak stwierdzić, że na skutek odkształceń stawu powstaje dodatkowy stopień swobody w postaci obrotu [1]. Chęć bardzo dokładnego odwzorowania ruchów człowieka prowadzi do powstawania coraz to bardziej złożonych jednostek napędowych, tak pod względem przekazywania napędu, jak i masy własnej [2]. Punktem wyjściowym do rozwiązań konstrukcyjnych powinien być model kinematyki prostej robota dwunożnego oraz analiza ruchu poszczególnych połączeń ruchowych.

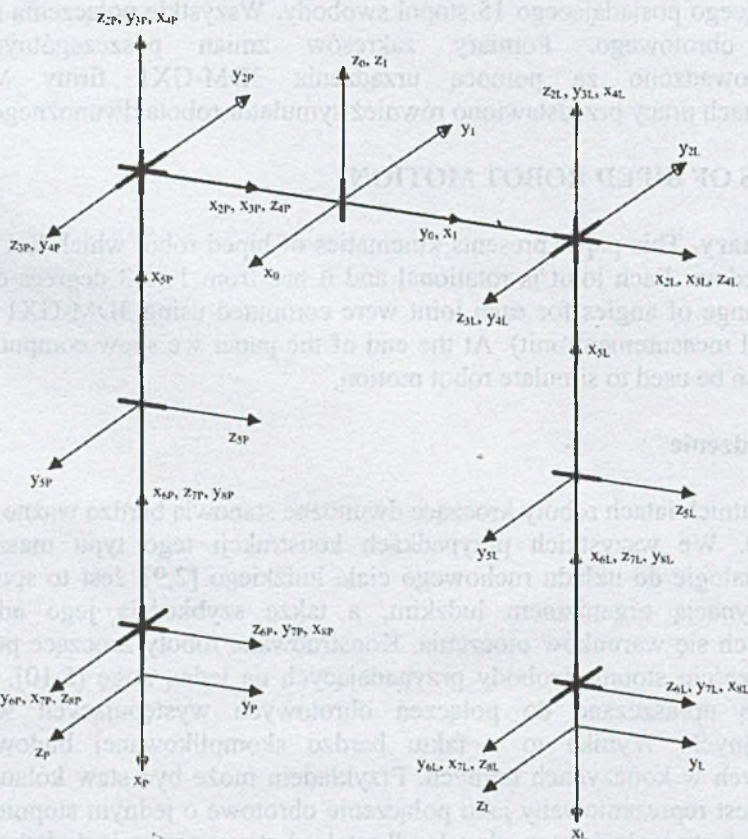
2. Kinematyka robota dwunożnego

Rozpatrywany w pracy robot posiada 15 stopni swobody:

- trzy stopnie w stawie biodrowym,
- jeden stopień w stawie kolanowym,
- trzy stopnie w stawie kostkowym,
- jeden stopień w stawie miednicowym.

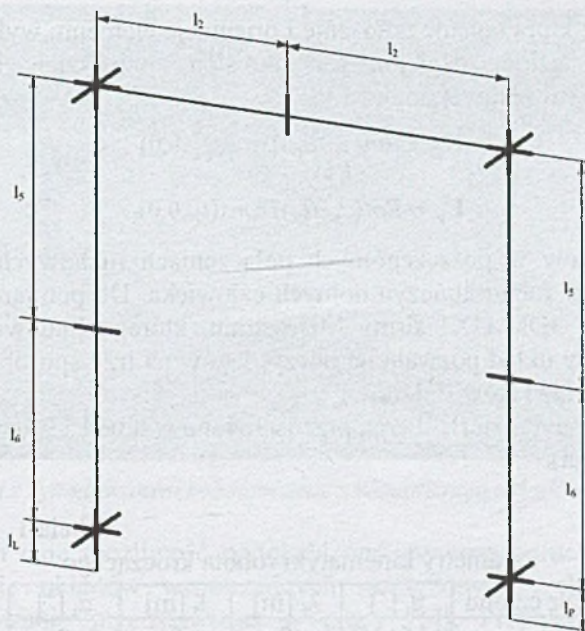
Wszystkie pary kinematyczne są parami obrotowymi.

Równania kinematyki prostej wyprowadzono na podstawie standardowej notacji Denavita-Hartenberga [7,8]. Schemat kinematyczny ze skojarzonymi układami współrzędnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat kinematyczny robota kroczącego

Wymiary robota dwunożnego są identyczne z wymiarami mężczyzny w średnim wieku o wzroście równym 170 cm [4]. Oznaczenia wymiarów przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wymiary robota dwunożnego

Dzięki takiemu skojarzeniu układów współrzędnych z poszczególnymi członami robota dwunożnego można wyznaczyć macierze A_i opisujące położenie i orientację członów. Przyjmuje się następujące oznaczenia: A_1 opisuje położenie i orientację pierwszego członu względem układu bazowego (członem bazowym, inaczej zerowym, jest nieruchoma miednica), A_{iL} , A_{iP} są odpowiednio przekształceniami pomiędzy (i-1)-szym a i-tym układem współrzędnych lewej i prawej nogi.

$$A_1 = Rot(z, \theta_1) \quad (1)$$

$$A_{2L} = Rot(z, \theta_{2L}) Trans(l_2, 0, 0) \quad (2)$$

$$A_{3L} = Rot(z, \theta_{3L}) Rot(x, \alpha_3) \quad (3)$$

$$A_{4L} = Rot(z, \theta_{4L}) Rot(x, \alpha_4) \quad (4)$$

$$A_{5L} = Rot(z, \theta_{5L}) Trans(l_5, 0, 0) \quad (5)$$

$$A_{6L} = Rot(z, \theta_{6L}) Trans(l_6, 0, 0) \quad (6)$$

$$A_{7L} = Rot(z, \theta_{7L}) Rot(x, \alpha_7) \quad (7)$$

$$A_{8L} = Rot(z, \theta_{8L}) Rot(x, \alpha_8) \quad (8)$$

Natomiast macierz, która opisuje położenie i orientację elementu wykonawczego (stóp robota) względem członu ósmego, jest określona przekształceniem (9) i (10), odpowiednio dla lewej i prawej nogi.

$$E_L = Rot(z, -\theta_L) Trans(l_L, 0, 0) \quad (9)$$

$$E_P = Rot(z, -\theta_P) Trans(l_P, 0, 0) \quad (10)$$

Zakresy zmian kątów w poszczególnych połączeniach ruchowych wyznaczono na podstawie pomiarów ruchu kończyn dolnych człowieka. Do pomiarów wykorzystano układ inklinometru 3DM-GX1 firmy Microstrain, którego budowa została opisana w [3]. Prezentowany układ pozwala na odczyt kątów na trzy sposoby: kwaternionów, macierzy obrotów oraz kątów Eulera.

Parametry Denavita-Hartenberga przedstawiono w tabeli 1, gdzie j=L,P (L - lewa noga, P - prawa noga).

Tabela 1

Parametry kinematyki robota kroczącego

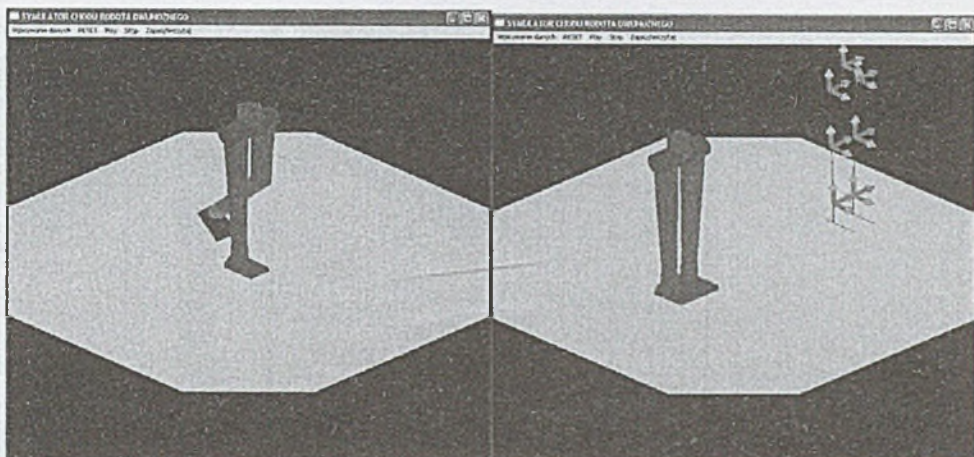
Nr członu	θ_i [°]	λ_i [m]	l_i [m]	α_i [°]
1	-15÷15	0	0	0
Noga lewa i prawa				
Nr członu	θ_{ij} [°]	λ_i [m]	l_i [m]	α_i [°]
2	-15÷15	0	0,16	0
3	-15÷15	0	0	90
4	-20÷60	0	0	90
5	0÷120	0	-0,44	0
6	-10÷30	0	-0,45	0
7	-10÷10	0	0	90
8	-10÷10	0	0	90

3. Aplikacja symulująca ruch robota dwunożnego

Symulator umożliwia wizualizację chodu robota posiadającego 15 stopni swobody. Został on zrealizowany za pomocą środowiska Microsoft Visual C++ 6.0 z wykorzystaniem biblioteki OpenGL do generacji trójwymiarowej grafiki (rysunek 3).

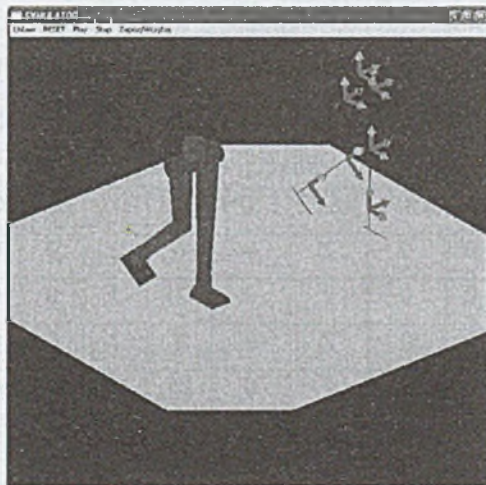
Aplikacja umożliwia:

- zmianę współrzędnych naturalnych o zadany kąt w stopniach,
- manipulację robotem za pomocą klawiatury,
- zapisywanie, wczytywanie, korygowanie zadanych kątów,
- animację z wykorzystaniem danych zapisanych do macierzy,
- resetowanie, czyli powrót do pozycji początkowej robota,
- zapisywanie i odczytywanie z pliku tekstowego danych wyjściowych.



Rys. 3. Scena z symulowanym robotem oraz z wizualizacją układów współrzędnych

Ponadto program daje możliwość podglądu wykonywanych ruchów z wizualizacją poruszających się układów współrzędnych skojarzonych z kolejnymi członami (podobne rozwiązanie przedstawiono w pracy [6]). Przykład tego typu ruchu przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Ruch robota z wizualizacją układów współrzędnych

Ruch robota może być generowany w programie (rys. 5) lub wczytywany z pliku, który zawiera odpowiednie wartości kątów obrotów.

Wpisywanie danych [X]

	Noga prawa	Noga lewa	Obrót sceny
Biodro 1	0	0	<input type="checkbox"/>
Biodro 2	-2	2	<input type="checkbox"/>
Biodro 3	0	0	<input type="checkbox"/>
Kolano	0	42	0
Kostka 1	0	0	Zapisz
Kostka 2	2	-2	Wczytaj
Kostka 3	0	0	Koryguj
Obrót w miednicy	0		RESET
	Zastosuj		
	RESET		
	Zamknij		

Szkielet z układami współrzędnych

Rys. 5. Modyfikacja wartości kątów obrotu

W celu zaprogramowania dowolnego ruchu należy podzielić ten ruch na pośrednie etapy, co zostało przedstawione w tabeli 2.

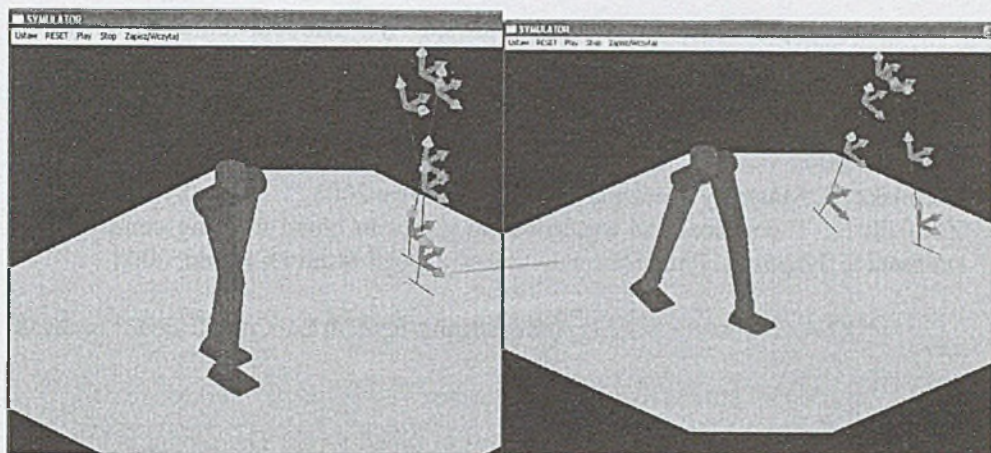
Tabela 2

Przykład realizacji złożonego ruchu

i	M	BP1	BP2	BP3	KP	KSP1	KSP2	KSP3	BL1	BL2	BL3	KL	KSL1	KSL2	KSL3
0	0	0	-2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	-2	0
1	0	25	-2	0	0	0	2	0	-25	2	0	0	0	-2	0
2	0	0	-2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	-2	0
3	0	-25	-2	0	0	0	2	0	25	2	0	0	0	-2	0
4	0	0	-2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	-2	0

Litera *B* z kolejną cyfrą oznacza kolejne obroty w stawie biodrowym, *K* oznacza obrót w stawie kolanowym, *KS*, z kolejną cyfrą, obroty w stawie kostkowym, a dodatkowe litery *P* i *L* określają odpowiednio prawą oraz lewą nogę.

Wykorzystanie powyższego sposobu planowania kolejnych sekwencji ruchu robota dwunożnego przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Przykładowy ruch robota

4. Podsumowanie

Opracowanie równań kinematyki oraz analiza ruchu człowieka pozwoliły na stworzenie aplikacji umożliwiającej obserwację chodu robota dwunożnego. Stworzony symulator umożliwia zaprogramowanie dowolnego chodu przypominającego poruszającego się człowieka, również z wadami kończyn dolnych. Piętnaście stopni swobody w zupełności wystarczy, aby z dość dobrą dokładnością odwzorować chód. Nie znaczy to jednak, że analiza ruchów człowieka należy do prostych zagadnień. Złożoność procesu, jakim jest poruszanie się, zmusza do pomijania pewnych etapów zastępując je pośrednimi wartościami. W powyższej aplikacji symulowano ruchy, gdy stopa całkowicie przylega do podłoża. Naturalne będzie opracowanie wariantu ruchu, gdy noga jest podparta na palcach.

BIBLIOGRAFIA

1. Bober T., Zawadzki J.: Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław 2006.
2. Bekey G.: Autonomous Robots. From Biological Inspiration to Implementation and Control. MIT Press, 2005.
3. Churchill D.: Quantification of Human Knee Kinematics Using the 3DM-GX1 Sensor. Microstrain Inc., 2004.
4. Gedliczka A., Pochopień P., Szklarska A., Welon Z.: Atlas miar człowieka : dane do projektowania i oceny ergonomicznej. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2001.
5. Gomez N., Wu J., Shi M., Tosunoglu S.: Sprains: Design and Prototype Development of an 8-Degree-of-Freedom Walking Biped Robot. Florida Conference on Recent Advances in Robotics and Robot Showcase FCRAR 2006, Miami, Florida 2006, p. 25-26.
6. Hung Q., Yokoi K., Kajita S., Kaneko K., Arai H., Koyachi N., Tanie K.: Planning walking patterns for a biped robot, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 17, no 3, 2001, p. 280-289.

7. Kozłowski K., Dutkiewicz P., Wróblewski W.: Modelowanie i sterowanie robotów. PWN, Warszawa 2003.
8. Szkodny T.: Modelowanie i symulacja ruchu manipulatorów robotów przemysłowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka z. 140, Gliwice 2004.
9. Zielińska T.: Maszyny kroczące. PWN, Warszawa 2003.
10. Zonfrilli F.: Theoretical and experimental issues in biped walking control based on passive dynamics. PhD Thesis, Università Degli Studi Di Roma, 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edward Jezierski

Abstract

The paper describes a forward kinematics of biped robot. The model is based on kinematics of human body. We present model of two legged robot using standard Denavit-Hartenberg method. The biped robot has 15 degrees of freedom. The forward kinematics is described by 1+8 formulae. The kinematic scheme of robot is presented on figure 1. A table 1 describes the kinematics parameters. Furthermore this paper shows application that can be used to program motion of biped robot.