

Tadeusz SZKODNY, Mieczysław JAGODZIŃSKI, Piotr LEGIEĆ, Krzysztof PIETREK
Politechnika Śląska

KINEMATYKA CZŁONÓW MANIPULATORA ROBKO-01

Streszczenie. W pracy tej przedstawiono strukturę kinematyczną manipulatora ROBKO-01 i równania kinematyki członów tego manipulatora. Z poszczególnymi członami i chwytakiem skojarzono układy współrzędnych zgodnie z zapisem Hartenberga-Denavita. Opracowano równania kinematyki ruchu poszczególnych członów względem członów sąsiednich i ruchu chwytaka względem każdego z członów i podstawy manipulatora. W równaniach tych zastosowano macierze jednorodne. Opisano współrzędne naturalne członów i chwytaka oraz wyznaczono zakresy ich zmian. Wyznaczono także wartości parametrów Hartenberga-Denavita występujących w równaniach kinematyki tego manipulatora.

KINEMATICS OF ROBKO-01 MANIPULATORS LINKS

Summary. Kinematic structure of ROBKO-01 manipulator and kinematic equations of links of this manipulator are presented. Each link and gripper are connected with appropriate frame in compliance with Denavit-Hartenberg notation. Kinematics equations of motion of each link in relation to the next links and kinematics equations of motion of gripper in relation to each link and the base of manipulator are elaborated. Homogeneous matrices in these equations are compiled. Natural coordinates of links and gripper are defined and illustrated. Change ranges of natural coordinates of links and gripper are calculated. Numerical values of Denavit-Hartenberg parameters which occur in kinematic equation of this manipulator are also calculated.

1. Wstęp

Przedstawiony tu opis kinematyki manipulatora ROBKO-01 jest wynikiem prac zmierzających do komputerowego sterowania jego ruchem. Robot ten jest przeznaczony do celów edukacyjnych i stanowi wyposażenie laboratorium dydaktycznego w Zakładzie Robotyki i Automatykacji Procesów Dyskretnych Politechniki Śląskiej. Oprogramowanie dostarczone przez producenta nie pozwala na automatyczne pozycjonowanie manipulatora do punktów, których wcześniej nie osiągnął [6]. Prowadzone nad tym robotem prace skupiają się na zaprojektowaniu programu dla komputerów klasy PC, sterującego tym manipulatorem.

Program ten umożliwi automatyczne pozycjonowanie do zadanych punktów, których wcześniej manipulator nie osiągnął. Punkty te będą zadawane z klawiatury za pomocą współrzędnych kartezjańskich położenia i kątów Eulera opisujących orientację manipulatora [1,2,3,4]. Współrzędne te i kąty opisywać będą punkty zadane względem stanowiska manipulatora, stołu obrotowego i taśmy transportowej. Stół obrotowy i taśma transportera mogą być sterowane przez program sterujący pracą manipulatora. Zadanie proste kinematyki jest podstawą do rozwiązania zadania odwrotnego kinematyki w postaci ciągłej [1,2,3,4,5], które umożliwi obliczanie wartości zadanych współrzędnych naturalnych [1,4,5] odpowiadających zadanemu punktowi w przestrzeni kartezjańskiej.

W drugim punkcie przedstawiono zadanie proste kinematyki tego manipulatora.

W trzecim punkcie sformułowano wnioski.

2. Zadanie proste kinematyki

Podczas rozwiązywania zadań z zakresu robotyki najczęściej interesującym zagadnieniem jest wzajemne położenie wielu różnych ciał fizycznych w przestrzeni. Także rozwiązanie niniejszego zadania polega na znalezieniu opisu wzajemnego położenia członów manipulatora i ich położenia względem jego podstawy w dowolnej chwili czasu. W celu sformułowania wzorów matematycznych opisujących tego rodzaju zależności najwygodniej jest z każdym rozpatrywanym ciałem skojarzyć prostokątny układ współrzędnych związany z nim „na sztywno”. Dzięki temu wzajemne położenie i orientację rozpatrywanych ciał można przedstawić jako wzajemne położenie i orientację związanych z nimi układów współrzędnych. A ponadto związki każdego dwóch obiektów można rozpatrywać niezależnie od innych ciał znajdujących się w tej samej przestrzeni, opisując jedynie związki między skojarzonymi z nimi układami współrzędnych względem układu współrzędnych związanego z jednym z tych ciał. Jest to udogodnienie szczególnie cenne w przypadku manipulatorów przemysłowych, gdyż stanowią one tzw. łańcuchy kinematyczne, czyli zbiór sztywnych członów połączonych ze sobą w sposób ruchomy. Takie ruchome połączenia między członami nazywamy parami kinematycznymi. W zależności od sposobu połączenia między sąsiednimi członami i rodzaju ruchu, jaki wykonują one względem siebie, rozróżniamy dwa rodzaje par kinematycznych :

- obrotowe, czyli takie, w których jeden z połączonych członów obraca się względem drugiego o pewien kąt wokół pewnej prostej - osi obrotu, tzw. osi pary kinematycznej. Kąt ten nazywamy współrzędną naturalną pary obrotowej;

- przesuwne, czyli takie, w których jeden z połączonych członów przesuwa się względem drugiego wzdłuż prostej – osi pary kinematycznej, o pewien odcinek. Odcinek ten nazywamy współrzędną naturalną pary przesuwej. Wyżej opisane podejście do zagadnienia powoduje konieczność wprowadzenia dużej liczby różnych układów współrzędnych oraz opisanie związków między nimi.

W celu ułatwienia i sformalizowania zapisu stosuje się zasady doboru układów współrzędnych do poszczególnych elementów manipulatora i innych elementów przestrzeni roboczej, oraz opisu związków pomiędzy nimi. Zasady te w literaturze znane są pod nazwą notacji Hartenberga i Denavita.

Według tego zapisu każde przekształcenie jednego układu współrzędnych w drugi zapisuje się jako macierz. Jeżeli mamy do czynienia z przekształceniem złożonym, to można je opisać za pomocą iloczynu macierzy przekształceń podstawowych. Zazwyczaj manipulator opisuje się względem układu współrzędnych związanego z jego podstawą $X_0Y_0Z_0$, tzw. układu bazowego. Podstawę traktujemy jednocześnie jak zerowy człon manipulatora.

Każdy następny (k -ty) element łańcucha kinematycznego manipulatora względem elementu ($k-1$ -go) opisuje macierz A_k , będąca wynikiem następujących przekształceń :

- rotacji o kąt θ względem osi Z ,
- translacji o odcinek λ wzdłuż osi Z ,
- translacji o odcinek l wzdłuż osi X ,
- rotacji o kąt α względem osi X ,

$$A_k = \text{Rot}(Z, \theta_k) \text{Trans}(0, 0, \lambda_k) \text{Trans}(l_k, 0, 0) \text{Rot}(X, \alpha_k).$$

Parametry l_k i α_k występujące w powyższym wzorze są stałe dla danego manipulatora i są zależne wyłącznie od jego konstrukcji. Jedyne jeden z parametrów θ_k lub λ_k będący współrzędną naturalną k -tej pary kinematycznej może się zmieniać w czasie w określonych granicach.

Położenie członu roboczego manipulatora względem ostatniego (N -tego) elementu manipulatora opisuje macierz E .

Położenie N -tego członu manipulatora względem członu k -tego opisuje macierz kT_N .

Położenie N -tego członu względem układu bazowego opisuje macierz T manipulatora.

Natomiast położenie członu roboczego manipulatora względem układu bazowego opisuje macierz X . Tak więc zachodzi związek : $X = T E$. Znaleźć macierz X jako funkcji współrzędnych naturalnych i innych parametrów poszczególnych par kinematycznych

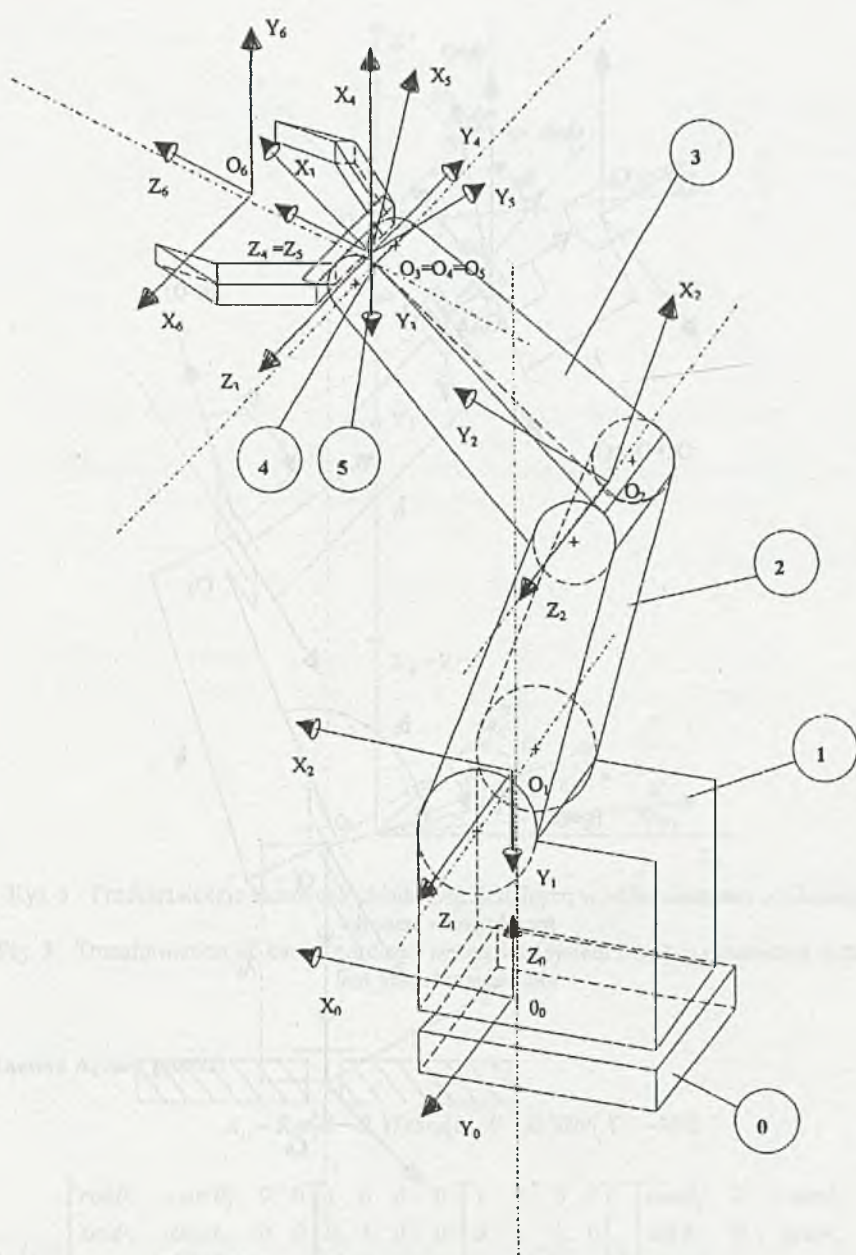
manipulatora w dowolnej chwili czasu, oraz podanie wartości liczbowych tych parametrów stanowi rozwiązanie tzw. zadania prostego kinematyki, czyli daje odpowiedź na pytanie: jakie jest położenie członu roboczego dla konkretnych wartości współrzędnych naturalnych par kinematycznych.

Znalezienie odpowiedzi na tak postawione pytanie dla manipulatora ROBKO-01 jest treścią niniejszego rozdziału. ROBKO-01 jest robotem o strukturze OOOOO, co oznacza, że jest to manipulator o pięciu stopniach swobody i wszystkie jego pary kinematyczne są parami obrotowymi. Tak więc we wszystkich pięciu przypadkach współrzędną naturalną pary jest θ_k , a wszystkie pozostałe parametry Hartenberga - Denavita są wielkościami stałymi.

Manipulator ROBKO-01 wraz z układami współrzędnych, przypisanymi do poszczególnych członów, oraz osiami par kinematycznych przedstawia rysunek 1.

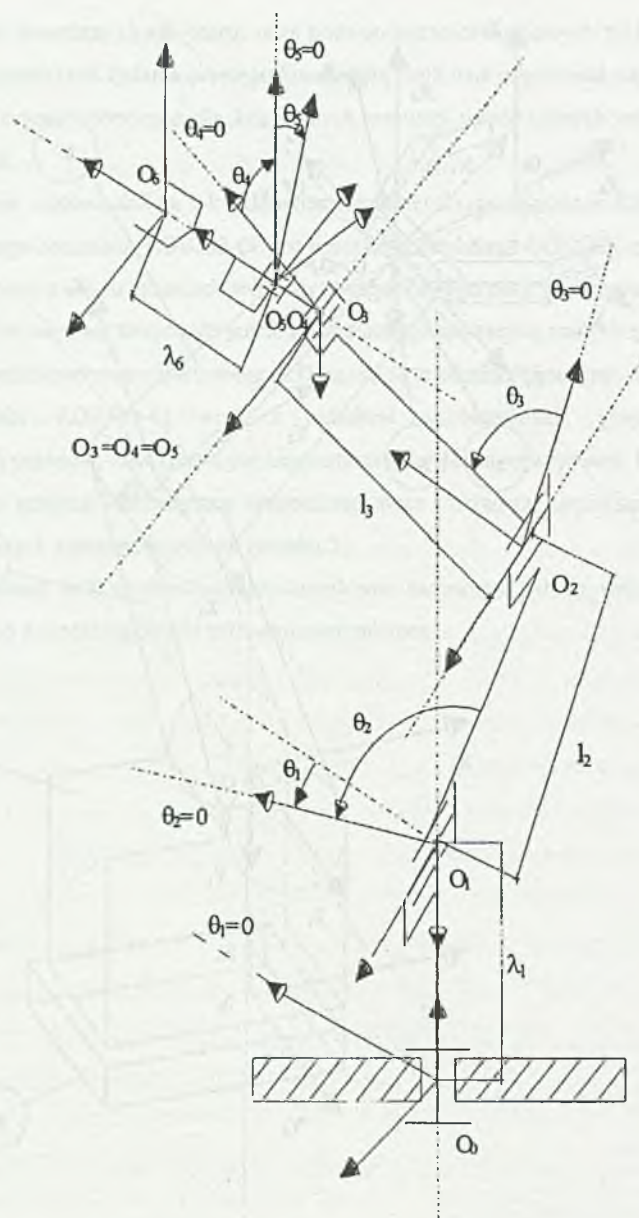
Natomiast schemat kinematyczny manipulatora wraz z układami współrzędnych i osiami par kinematycznych został pokazany na rysunku 2.

Na rysunkach 3-8 zilustrowano przekształcenia bazowego układu współrzędnych w układy związane z poszczególnymi członami manipulatora.

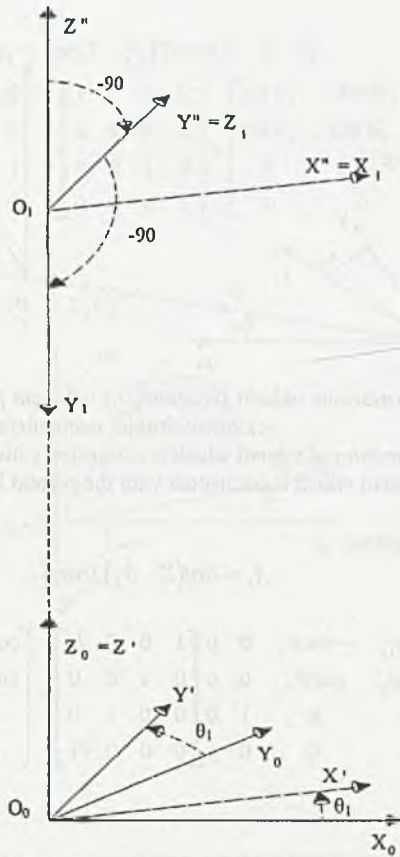


Rys. 1. Manipulator ROBKO-01 wraz z układami współrzędnych przypisanymi do poszczególnych członów

Fig. 1. ROBKO-01 manipulator and coordinate systems which correspond with each links



Rys. 2. Schemat kinematyczny manipulatora ROBKO-01
 Fig. 2. Kinematic scheme of ROBKO-01 manipulator



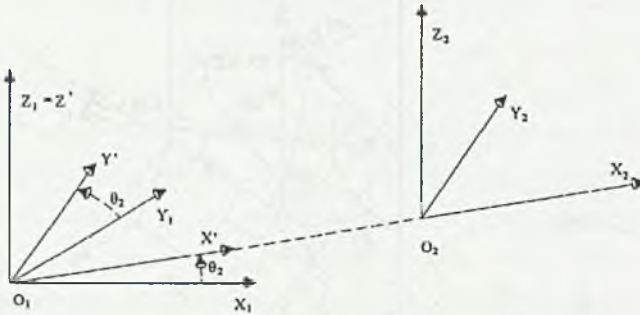
Rys. 3. Przekształcenie bazowego układu współrzędnych w układ związany z pierwszym członem manipulatora

Fig. 3. Transformation of basic coordinate system into system which is connected with the first link of manipulator

Macierz A_1 ma postać:

$$A_1 = Rot(Z, \theta_1) Trans(0, 0, \lambda_1) Rot(X, -90^\circ)$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & -\sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



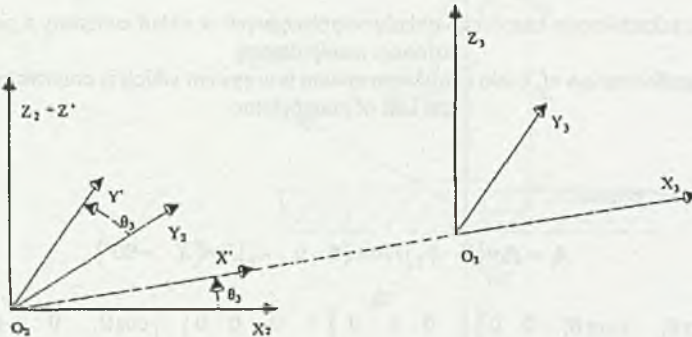
Rys. 4. Przekształcenie układu związanego z członem pierwszym w układ związany z członem drugim manipulatora

Fig. 4. Transformation of system which is connected with the first link of manipulator into system which is connected with the second link of manipulator

Macierz A_2 ma postać:

$$A_2 = Rot(Z, \theta_2) Trans(l_2, 0, 0)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 l_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



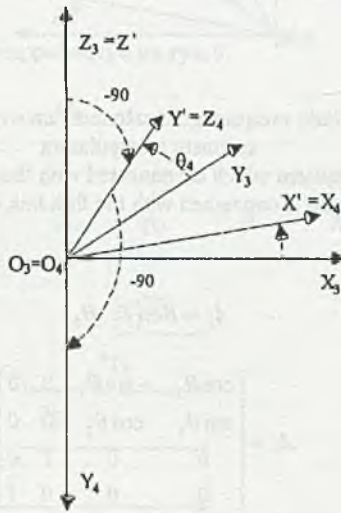
Rys. 5. Przekształcenie układu związanego z członem drugim w układ związany z członem trzecim manipulatora

Fig. 5. Transformation of system which is connected with the second link of manipulator into system which is connected with the third link of manipulator

Macierz A_3 ma postać:

$$A_3 = Rot(Z, \theta_3) Trans(l_3, 0, 0)$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & \cos \theta_3 l_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & \sin \theta_3 l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



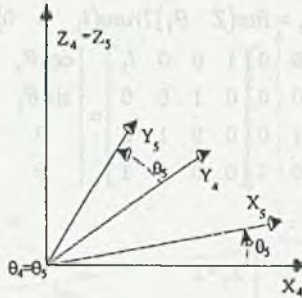
Rys. 6. Przekształcenie układu związanego z członem trzecim w układ związany z członem czwartym manipulatora

Fig. 6. Transformation of system which is connected with the third link of manipulator into system which is connected with the fourth link of manipulator

Macierz A_4 ma postać:

$$A_4 = Rot(Z, \theta_4) Rot(X, -90^\circ)$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & 0 & -\sin \theta_4 & 0 \\ \sin \theta_4 & 0 & \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



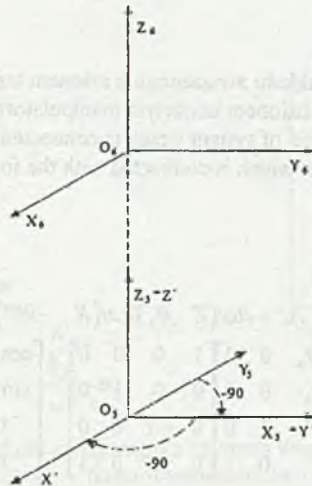
Rys. 7. Przekształcenie układu związanego z członem czwartym w układ związany z piątym członem manipulatora

Fig. 7. Transformation of system which is connected with the fourth link of manipulator into system which is connected with the fifth link of manipulator

Macierz A_5 ma postać:

$$A_5 = Rot(Z \ \theta_5)$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



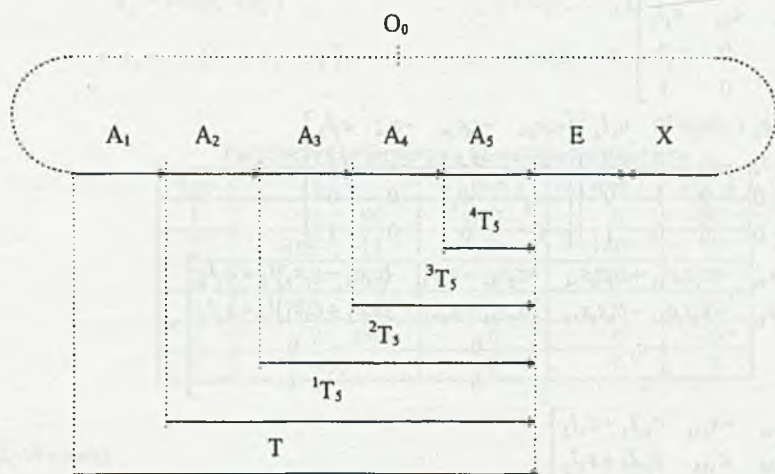
Rys. 8. Przekształcenie układu współrzędnych związanego z piątym członem manipulatora w układ związany z chwytakiem

Fig. 8. Transformation of system which is connected with the fifth link of manipulator into system which is connected with the gripper

Macierz E ma postać:

$$E = Rot(Z \ -90^\circ) Trans(0 \ 0 \ \lambda_6) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Graf przekształceń manipulatora pokazano na rys. 9.



Rys.9. Graf przekształceń manipulatora ROBKO-01
Fig. 9. Transformation scheme of ROBKO-01 manipulator

Wyznaczenie T i X manipulatora

$${}^4T_3 = A_5 = \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3T_3 = A_4 {}^4T_3 = \begin{bmatrix} c_4 & 0 & -s_4 & 0 \\ s_4 & 0 & c_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_4 c_5 & -c_4 s_5 & -s_4 & 0 \\ s_4 c_5 & -s_4 s_5 & c_4 & 0 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 {}^2T_5 = A_3 {}^3T_5 &= \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & c_3 l_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & s_3 l_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_4 c_5 & -c_4 s_5 & -s_4 & 0 \\ s_4 c_5 & -s_4 s_5 & c_4 & 0 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_5 c_4 c_3 - s_5 s_4 c_3 & -c_5 c_4 s_3 + s_5 s_4 s_3 & -c_5 s_4 - s_5 c_4 & c_3 l_3 \\ s_5 c_4 c_3 + c_5 s_4 c_3 & -s_5 c_4 s_3 - c_5 s_4 s_3 & -s_5 s_4 + c_5 c_4 & s_3 l_3 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_5 c_{34} & -s_5 c_{34} & -s_{34} & c_3 l_3 \\ c_5 s_{34} & -s_5 s_{34} & c_{34} & s_3 l_3 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 {}^1T_5 = A_2 {}^2T_5 &= \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & c_2 l_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & s_2 l_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_5 c_{34} & -s_5 c_{34} & -s_{34} & c_3 l_3 \\ c_5 s_{34} & -s_5 s_{34} & c_{34} & s_3 l_3 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_2 c_5 c_{34} - s_2 c_5 s_{34} & -c_2 s_5 c_{34} + s_2 s_5 s_{34} & -c_2 s_{34} - s_2 c_{34} & (c_2 c_3 - s_2 s_3) l_3 + c_2 l_2 \\ s_2 c_5 c_{34} + c_2 c_5 s_{34} & -s_2 s_5 c_{34} - c_2 s_5 s_{34} & -s_2 s_{34} + c_2 c_{34} & (s_2 c_3 + c_2 s_3) l_3 + s_2 l_2 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_5 c_{234} & -s_5 c_{234} & -s_{234} & c_{23} l_3 + c_2 l_2 \\ c_5 s_{234} & -s_5 s_{234} & c_{234} & s_{23} l_3 + s_2 l_2 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 T = A_1 {}^1T_5 &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_5 c_{234} & -s_5 c_{234} & -s_{234} & c_{23} l_3 + c_2 l_2 \\ c_5 s_{234} & -s_5 s_{234} & c_{234} & s_{23} l_3 + s_2 l_2 \\ -s_5 & -c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} c_1 c_5 c_{234} + s_1 s_5 & -c_1 s_5 c_{234} + s_1 c_5 & -c_1 s_{234} & c_1 (c_{23} l_3 + c_2 l_2) \\ s_1 c_5 c_{234} - c_1 s_5 & -s_1 s_5 c_{234} - c_1 c_5 & -s_1 s_{234} & s_1 (c_{23} l_3 + c_2 l_2) \\ -c_5 s_{234} & s_5 s_{234} & -c_{234} & -s_{23} l_3 - s_2 l_2 + \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 X = TE &= \begin{bmatrix} c_1 c_5 c_{234} + s_1 s_5 & -c_1 s_5 c_{234} + s_1 c_5 & -c_1 s_{234} & c_1 (c_{23} l_3 + c_2 l_2) \\ s_1 c_5 c_{234} - c_1 s_5 & -s_1 s_5 c_{234} - c_1 c_5 & -s_1 s_{234} & s_1 (c_{23} l_3 + c_2 l_2) \\ -c_5 s_{234} & s_5 s_{234} & -c_{234} & -s_{23} l_3 - s_2 l_2 + \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =
 \end{aligned}$$

$$= \begin{bmatrix} c_1 s_5 c_{234} - s_1 c_5 & c_1 c_5 c_{234} + s_1 s_5 & -c_1 s_{234} & -c_1 s_{234} \lambda_6 + c_1 c_{23} l_3 + c_1 c_2 l_2 \\ s_1 s_5 c_{234} + c_1 c_5 & s_1 c_5 c_{234} - c_1 s_5 & -s_1 s_{234} & -s_1 s_{234} \lambda_6 + s_1 c_{23} l_3 + s_1 c_2 l_2 \\ -s_5 s_{234} & -c_5 s_{234} & -c_{234} & -c_{234} \lambda_6 + s_{23} l_3 - s_2 + \lambda_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

W celu zwiększenia czytelności zapisu w przedstawionych powyżej macierzach przyjęto następujące oznaczenia :

$$s_i = \sin \theta_i$$

$$c_i = \cos \theta_i$$

$$s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$$

$$c_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$$

$$s_{ijk} = \sin(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$$

$$c_{ijk} = \cos(\theta_i + \theta_j + \theta_k)$$

Tabela 1

Parametry Hartenberga - Denavita manipulatora

Lp.	$q [^\circ]$	$l [mm]$	$l [mm]$	$a [^\circ]$
1	-90 , 90	200	0	-90
2	-165 , 15	0	180	0
3	0 , 145	0	180	0
4	-180 , 0	0	0	-90
5	0 , 360	0	0	0
6	-90	70	0	0

3. Wnioski

Przedstawione tu zadanie proste kinematyki pozwala wyznaczyć analityczny opis przestrzeni roboczej manipulatora ROBKO-01. Opis taki pozwoli na komputerowe badanie przynależności zadanych punktów pozycjonowania do przestrzeni roboczej tego manipulatora.

Przedstawione tu równania są także podstawą do wyznaczenia analitycznych rozwiązań zadania odwrotnego kinematyki, które umożliwią obliczanie wartości zadanych współrzędnych naturalnych odpowiadających zadanemu punktowi pozycjonowania. Formuły stanowiące rozwiązanie zadania odwrotnego kinematyki są niezbędne do komputerowego wyznaczania współrzędnych naturalnych odpowiadających zadanemu punktowi pozycjonowania, który ma osiągnąć manipulator, a którego wcześniej nie osiągnął. Przedstawiony opis jest niezbędny do badań dynamiki ruchu tego manipulatora [7].

LITERATURA

1. Craig J.J.: Wprowadzenie do robotyki. WNT, Warszawa 1993.
2. Yoskikowa T.: Foundations of Robotics, MIT Press 1990.

3. Morecki A, Knapczyk J.: Podstawy robotyki. WNT, Warszawa 1993.
4. Szkodny T.: Modele matematyczne ruchu manipulatorów robotów przemysłowych na potrzeby sterowania. ZN Pol. Śl. s. Automatyka nr 112. Gliwice 1993.
5. Szkodny T.: Forward and inverse kinematics of IRb-6 manipulator. Mech. Mach, Theory vol. 30, No7, pp 1039-1056, Pergamon Press 1995.
6. Kowalowski H.: Laboratorium robotów przemysłowych, Skrypt Pol.Śl. nr 1507, Gliwice 1989.
7. Szkodny T.: Dynamics of industrial robot manipulators. Mech. Mach. Theory vol 30, No 7, pp 1057-1072, 1995.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Świder, prof. Pol. Śl.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

In this paper in simple way how to use ROBKO-01 robot for teaching students is shown. Therefore problem of forward kinematics for ROBKO-01 is solved.

Very precisely the following problems using schemes are presented:

- ROBKO-01 manipulator with coordinate frames relative to particular links,
- kinematic scheme of ROBKO-01 manipulator,
- transformation the base frame into frames which are connected with particular links of manipulator,
- scheme of manipulator transformation,
- formulae for calculation of T and X matrix of manipulator.

Kinematics equations of motion of each link in relation to the next links and kinematics equations of motion of gripper in relation to each link and the base of manipulator are elaborated. Homogeneous matrices in these equations are compiled. Natural coordinates of links and gripper are defined and illustrated. Change ranges of natural coordinates of links and gripper are calculated. Numerical values of Denavit-Hartenberg parameters which occur in kinematic equation of this manipulator are also calculated.