ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1988
Seria: AUTOMATYKA z.96 Nr kol.972

Tadeusz Szkodny
Politechnika Śląska

KINEMATYCZNA DEKOMPOZYCJA RÓŻNICZKOWA RUCHU CZŁONU ROBOCZEGO ROBOTA IRb-6

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób obliczania małych przyrostów kątów obrotów w poszczególnych stopniach swobody manipulatora robota IRb-6, które wywołują zadany przyrost położenia i orientację członu roboczego. Jest to problem dekompozycji kinematycznej ruchu członu roboczego na obroty w poszczególnych stopniach swobody.

1. Wstęp

Jednym z zasadniczych problemów automatyzacji procesów przemysłowych z zastosowaniem robotów jest projektowanie trajektorii ruchu członów roboczych manipulatorów. Podstawowym zagadnieniem, bez którego niemożliwe byłoby projektowanie trajektorii członów roboczych, jest dekompozycja kinematyczna ruchu w postaci różniczkowej lub ciągłej. W tej pracy przedstawiono dekompozycję kinematyczną różniczkową dla robota IRb-6. Termin "projektowanie trajektorii" stosowany dalej w tej pracy należy rozumieć jako dekompozycję kinematyczną ruchu, która jest jednym z elementów projektowania trajektorii.

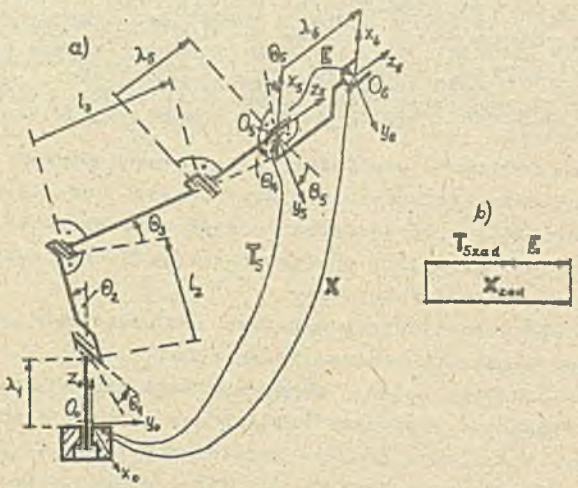
Robot IRb-6 ma możliwość współpracy z komputerem poprzez dodatkowe złącze, które umożliwia sterowanie bez konieczności uczenia robota. Komputer dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu może obliczyć takie przebiegi kątów obrotów w poszczególnych stopniach swobody, którym odpowiada żądana trajektoria ruchu członu roboczego.

W drugim punkcie przedstawiono macierze przekształceń jednorodnych [1, 2] opisujących kinematykę manipulatora robota IRb-6. W trzecim punkcie przedstawiono jakobian członu roboczego tego manipulatora i równanie pozwalające wyznaczyć przyrosty różniczkowe obrotów w poszczególnych stopniach swobody. W czwartym punkcie przytoczono przykład liczbowy ilustrujący sposób projektowania trajektorii kiści członu roboczego robota IRb-6.

W piątym punkcie sformułowano wnioski końcowe.

2. Kinematyka członu roboczego manipulatora

Robot IRb-6 jest wyposażony w manipulator o pięciu stopniach swobody. Schemat kinematyczny wraz z kątami obrotu w poszczególnych stopniach swobody przedstawia rys. 1. Układ współrzędnych bazowych $x_o\ y_o\ z_o$ jest skojarzony z podstawą manipulatora. Układ współrzędnych $x_5\ y_5\ z_5$ jest skojarzony z kiścią członu roboczego [2, 3], którym jest tu chwytak. Układ $x_6\ y_6\ z_6$ jest skojarzony z chwytakiem. Położenie i orientację chwytaka wzdłuż trajektorii, względem układu bazowego, opisuje macierz przekształceń jednorodnych [1, 2, 3] $\mathbb{X}$. Położenie i orientację kiści chwytaka, czyli układu $x_5\ y_5\ z_5$, względem układu bazowego, opisuje macierz $\mathbb{T}_5$ [2]. Macierz $\mathbb{E}$ opisuje orientację i położenie układu $x_6\ y_6\ z_6$ względem układu $x_5\ y_5\ z_5$. Macierz ta nie zależy od żadnego z kątów $\theta_1 \div \theta_5$. Elementy jej zależą tylko i wyłącznie od stałych parametrów konstrukcyjnych członu roboczego i dlatego dla uniwersalności opisu będziemy korzystać dalej z macierzy opisującej kiść członu roboczego, czyli z $\mathbb{T}_5$. Macierz ta jest zależna od wszystkich kątów $\theta_1 \div \theta_5$. Między tymi trzema macierzami istnieje następujący związek, zilustrowany grafem na rys. 1b:



Rys. 1. a/ Schemat kinematyczny manipulatora robota IRb-6, b/ graf przekształceń

Fig. 1. a/ Kinematic diagram of robotic manipulator IRb-6
b/ graph of mapping

$$\mathbb{T}_5 \mathbb{E} = \mathbb{X} \Rightarrow \mathbb{T}_5 = \mathbb{X}\mathbb{E}^{-1} \qquad /1/$$

Macierz $\mathbb{E}$ ma następującą postać [2] :

$$\mathbb{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad /2/$$

Macierz $\mathbb{T}_5$ ma postać [2]:

$$\mathbb{T}_5 = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} (\vec{a}) & (\vec{b}) & (\vec{c}) & (\vec{d}) \end{array} \\ \begin{bmatrix} S_1 S_{234} C_5 + C_1 S_5 & -S_1 S_{234} S_5 + C_1 C_5 & -S_1 C_{234} & l_2 S_1 S_2 - l_3 S_1 C_{23} - {}_5 S_1 C_{234} \\ -C_1 S_{234} C_5 + S_1 S_5 & C_1 S_{234} S_5 + S_1 C_5 & C_1 C_{234} & -l_2 C_1 S_2 + l_3 C_1 C_{23} + {}_5 C_1 C_{234} \\ C_{234} C_5 & -C_{234} S_5 & S_{234} & {}_1 + l_2 C_2 + l_3 S_{23} + {}_5 S_{234} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ (x) \\ (y) \\ (z) \\ \\ \end{array} \qquad /3/$$

gdzie $S_i, C_i = \sin\theta_i, \cos\theta_i$, $S_{ij}, C_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j), \cos(\theta_i + \theta_j)$.

Kolejne kolumny macierzy $\mathbb{T}_5$, opisują wektory jednostkowe $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ i wektor $\vec{d}$ zaznaczone nad macierzą w nawiasach . Wektory $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$ są wektorami jednostkowymi równoległymi odpowiednio do osi: x_5, y_5, z_5. $\vec{d}$ jest wektorem poprowadzonym od punktu O_0 do punktu O_5 i opisuje położenie układu $x_5\ y_5\ z_5$. Elementy kolumn w pierwszym, drugim i trzecim wierszu macierzy $\mathbb{T}_5$ są odpowiednimi składowymi x-wymi, y-wymi, z-wymi w układzie bazowym, wektorów $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$, $\vec{d}$ – zaznaczono je w nawiasach z prawej strony macierzy .

Elementy macierzy $\mathbb{T}_5$ zawsze spełniają równanie więzów kinematycznych [2]

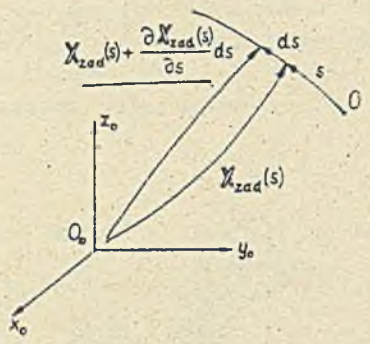
$$o_x d_y - o_y d_x = 0 \qquad /4/$$

Macierz $\mathbb{T}_5$ opisuje kinematykę kiści chwytaka. Z macierzy tej będzie-

my korzystać przy projektowaniu żądanych trajektorii chwytaka w następnym punkcie.

3. Projektowanie trajektorii w postaci różniczkowej

Chcemy zaprojektować realizację trajektorii, którą opisuje w układzie bazowym robota macierz przekształceń jednorodnych $X_{zad}(s)$, przez chwytak robota jak na rys. 1. s jest długością drogi wzdłuż tej trajektorii liczoną od punktu początkowego 0 na rys. 2.



Rys. 2. Ilustracja zadanej trajektorii chwytaka
Fig. 2. Illustration of given trajectories of a task

Zadanej trajektorii chwytaka odpowiada zadana trajektoria jego kiści $T_{5zad}(s)$

$$T_{5zad}(s) = X_{zad}(s)\, E^{-1} \qquad /5/$$

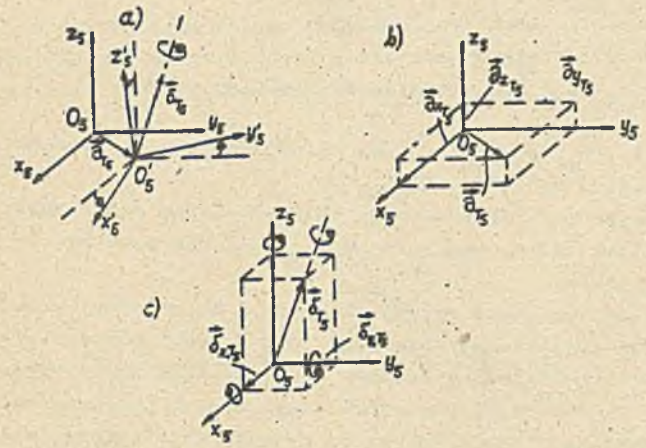
Z relacji tej wynika relacja wiążąca różniczki tych macierzy

$$d\, T_{5zad}(s) = d\, X_{zad}(s) = \frac{\partial X_{zad}(s)}{\partial s}\, E^{-1}\, ds \qquad /6/$$

Różniczkę $d\, T_5(s)$ można przedstawić w postaci następującego iloczynu [2] :

$$d\,T_{5zad}(s) = T_{5zad}(s)\ \Delta(s)_{T_5} \qquad /7/$$

$\Delta(s)_{T_5}$ jest jednorodną macierzą przekształceń różniczkowych względem układu $T_5(s)$ [2]. Macierz ta opisuje różniczkowe zmiany położenia i orientacji układu $x_5\ y_5\ z_5$, przy zmianie drogi wzdłuż trajektorii od s do s + ds względem tego układu. Te różniczkowe zmiany położenia opisuje wektor różniczkowych przemieszczeń $\vec{\partial}_{T_5}$ i wektor różniczkowego obrotu $\vec{\delta}_{T_5}$. Wektory te ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Ilustracja różniczkowych zmian położenia i orientacji układu $x_5\ y_5\ z_5$

Fig. 3. Illustration of infinitisimal changes of placement and orientation of the system $x_5 y_5 z_5$

$\Delta(s)_{T_5}$ ma następującą postać [2] :

$$\Delta(s)_{T_5} = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_{z,T_5} & \delta_{y,T_5} & \partial x_{T_5} \\ \delta_{z,T_5} & 0 & -\delta_{x,T_5} & \partial y_{T_5} \\ -\delta_{y,T_5} & \delta_{x,T_5} & 0 & \partial z_{T_5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad /8/$$

Znając $d\,T_{5zad}(s)$ i $T_{5zad}(s)$ wyznaczamy $\Delta(s)_{T_5}$

$$\Delta(s)_{T_5} = T^{-1}_{5zad}(s)\ d\,T_{5zad}(s) \qquad /9/$$

Porównując elementy tej macierzy z jej postacią /8/, otrzymamy składowe różniczkowe $\partial x_{T_5} \div \partial z_{T_5}$ oraz $\delta_{x,T_5} \div \delta_{z,T_5}$. Składowa δ_{x,T_5} zależy od pozostałych składowych w następujący sposób [2]:

$$\delta_{x,T_5} = \frac{a_z\,\partial y_{T_5} - b_z\,\partial x_{T_5} + (a_y d_x - a_x d_y)\,\delta_{y,T_5}}{b_y d_x - b_x d_y}$$

dla $b_y\,d_x - b_x\,d_y \neq 0$

lub

$$\delta_{x,T_5} = \pm\left(d\theta_2 + d\theta_3 + d\theta_4\right) \text{ dla } \theta_5 = \pm 90^\circ \qquad /10/$$

$a_x, a_y, b_x, b_y, c_x, c_y, d_x, d_y$ są składowymi wektorów odpowiadających kolejnym kolumnom macierzy $\underset{\sim}{T}_{5zad}(s)$.

Jeśli relacji tej nie spełniają składowe zmian różniczkowych kiści chwytaka, to tak zadany przyrost $d\,\underset{\sim}{X}_{zad}(s)$ nie może być zrealizowany przez robot IRb-6.

Teraz wiemy już, jakie przemieszczenie i obrót różniczkowy kiści chwytaka spowoduje projektowany przyrost $d\,\underset{\sim}{X}_{zad}(s)$ chwytaka przy przemieszczaniu wzdłuż trajektorii o odcinek ds. Pozostaje odpowiedzieć na pytanie: jakie zmiany kątów $d\theta_1 \div d\theta_5$ odpowiadają znanym już przyrostom różniczkowym kiści chwytaka ? Odpowiedź na to pytanie daje relacja wiążąca te przyrosty. Macierz wiążąca wektor kolumnowy przyrostów różniczkowych kiści chwytaka z wektorem kolumnowym przyrostów różniczkowych kątowych w poszczególnych stopniach swobody jest jakobianem [1, 2].

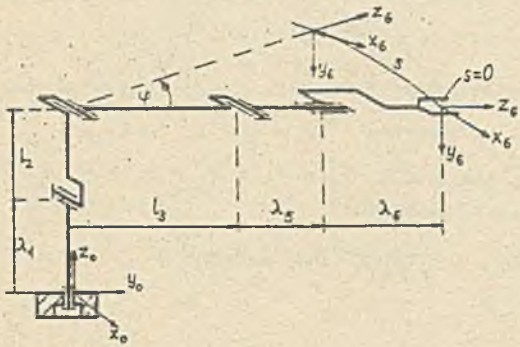
$$\begin{bmatrix} \partial x_{T_5} \\ \partial y_{T_5} \\ \partial z_{T_5} \\ \delta_{y,T_5} \\ \delta_{z,T_5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (l_2S_2 - l_3C_{23} - \lambda_5C_{234})S_5 & (l_2S_{34} + l_3C_4 + \lambda_5)C_5 & (l_3C_4 + \lambda_5)C_5 & \lambda_5C_5 & 0 \\ (l_2S_2 - l_3C_{23} - \lambda_5C_{234})C_5 & -(l_2S_{34} + l_3C_4 + \lambda_5)S_5 & -(l_3C_4 + \lambda_5)S_5 & -\lambda_5S_5 & 0 \\ 0 & -l_2C_{34} + l_3S_4 & l_3S_4 & 0 & 0 \\ -C_{234}S_5 & C_5 & C_5 & C_5 & 0 \\ S_{234} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta_1 \\ d\theta_2 \\ d\theta_3 \\ d\theta_4 \\ d\theta_5 \end{bmatrix} \qquad /11/$$

Rozwiązanie tego układu równań jest odpowiedzią na nasze pytanie, a tym samym umożliwia projektowanie zadanego przyrostu $d\,X_{zad}(s)$ chwytaka.

Jeśli znamy opis zadanej trajektorii $X_{zad}(s)$, możemy dokonać jej dyskretyzacji w punktach odległych od siebie o ds i w powyższy sposób wyznaczyć dla każdego punktu dyskretyzacji przyrosty $d\theta_1 - d\theta_5$ zapewniając żądany przyrost $d\,X_{zad}(s)$ między sąsiednimi punktami.

4. Przykład liczbowy

Załóżmy, że trajektorią zadaną chwytaka jest ruch po okręgu od położenia, w którym długość drogi s równa jest zeru. Trajektorię układu $x_6\ y_6\ z_6$ związanego z chwytakiem przedstawia rys. 4



Rys. 4. Ilustracja X_{zad}
Fig. 4. Illustration of X_{zad}

$$X_{zad} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi & -(R+\lambda_6)\sin\varphi \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi & (R+\lambda_6)\cos\varphi \\ 0 & -1 & 0 & \lambda_1 + l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = l_3 + \lambda_5, \qquad \varphi = s/L_o \text{ rd}$$

$$L_o = l_3 + \lambda_5 + \lambda_6 \qquad 0 \le s \le L_o$$

Wyznaczmy przyrosty różniczkowe $d\theta_1 \div d\theta_5$ konieczne do przeniesienia chwytaka wzdłuż trajektorii $\mathbb{X}_{zad}(s)$ od punktu, w którym $s = 0$ do punktu, w którym $s = ds = 0.001$ m.

$$\mathbb{X}_{zad}(0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & R+\lambda_6 \\ 0 & -1 & 0 & \lambda_1+l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Z relacji 5 wynika

$$\mathbb{T}_{5zad}(0) = \mathbb{X}_{zad}(0)\,\mathbb{E}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & R+\lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_1+l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & R \\ 0 & -1 & 0 & \lambda_1+l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Z rys. 4 wynika, że dla $s = 0$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0$ i $\theta_5 = 90^\circ$. Równanie więzów /4/ jest spełnione

$$c_x d_y - c_y d_x \equiv 0 \cdot R - 1 \cdot 0 = 0$$

Z relacji /6/ wynika

$$d\,\mathbb{T}_{5zad}(0) = \frac{\partial \mathbb{X}_{zad}}{\partial s}\,\mathbb{E}^{-1}\,ds =$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_o}\sin\psi & 0 & -\frac{1}{L_o}\cos\psi & -\frac{R+\lambda_6}{L_o}\cos\psi \\ \frac{1}{L_o}\cos\psi & 0 & -\frac{1}{L_o}\sin\psi & -\frac{R+\lambda_6}{L_o}\sin\psi \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{s=0} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\lambda_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ds$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{ds}{L_o} & -\frac{R}{L_o}\,ds \\ \frac{ds}{L_o} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Z relacji /9/ wynika

$$\Delta_{T_5}(0) = \mathbb{T}^{-1}_{5zad}(0) \quad d\,\mathbb{T}_{5zad}(0) =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & \lambda_1+l_2 \\ 0 & 1 & 0 & -R \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{ds}{L_o} & -\frac{R}{L_o}\,ds \\ \frac{ds}{L_o} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{ds}{L_o} & -\frac{R}{L_o}\,ds \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{ds}{L_o} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Z porównania tej postaci z postacią /8/ otrzymujemy:

$$\delta_{x,T_5} = \delta_{z,T_5} = 0\,, \quad \delta_{y,T_5} = -\,ds/L_o, \quad \partial x_{T_5} = -(R/L_o)\,ds, \quad \partial y_{T_5} = \partial z_{T_5} = 0$$

Możemy teraz napisać układ równań /11/, z którego wyznaczymy $d\theta_1 - d\theta_5$.

Dla $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0^\circ$ i $\theta_5 = 90^\circ$ otrzymamy

$$\begin{bmatrix} \partial x_{T_5} \\ \partial y_{T_5} \\ \partial z_{T_5} \\ \delta y_{T_5} \\ \delta z_{T_5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(l_3+\lambda_5) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(l_3+\lambda_5) & -(l_3+\lambda_5) & -\lambda_5 & 0 \\ 0 & -l_2 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta_1 \\ d\theta_2 \\ d\theta_3 \\ d\theta_4 \\ d\theta_5 \end{bmatrix}$$

Wyznacznik jakobianu dla takich kątów równy jest zeru. Dlatego rozwiązania będą niejednoznaczne:

$$d\theta_1 = ds/L_o\,, \quad d\theta_2 = 0$$

$$d\theta_3 = -\,\lambda_5\, d\theta_4/(l_3+\lambda_5)\,, \quad d\theta_5 = 0.$$

Niejednoznaczność tę usuwamy dzięki równaniu /10/, które dla $\theta_5 = 90^\circ$ ma postać:

$$\delta_{x,T_5} = 0 = d\theta_2 + d\theta_3 + d\theta_4 = d\theta_3 + d\theta_4$$

Zatem, szukanymi przyrostami kątów są:

$$d\theta_1 = ds/L_o, \qquad d\theta_2 = d\theta_3 = d\theta_4 = d\theta_5 = 0.$$

5. Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawiony sposób wyznaczania przyrostów różniczkowych $d\theta_1 - d\theta_5$ pozwala na zmniejszenie liczby operacji matematycznych przy realizacji łuku trajektorii, w stosunku do dekompozycji ciągłej ruchu [2], czyli powoduje przyśpieszenie obliczeń.

Jednak dekompozycja różniczkowa obarczona jest większymi błędami niż dekompozycja ciągła ruchu. Ogólnie można stwierdzić, że dokładność dekompozycji różniczkowej jest tym większa, im mniejsze są łuki trajektorii. Dla określonego operatora przyporządkowującego składowym różniczkowym $\delta x_{T_5} - \delta z_{T_5}$ i $\delta_{x,T_5} - \delta_{z,T_5}$ wartość liczbową Δ, będącą miarą dokładności kinematycznej realizacji zadanej trajektorii w punkcie, można oszacować maksymalną wartość $\Delta = \Delta_{max}$ dla całego obszaru zmian $\theta_1 - \theta_5$, przy stałym ds. Znając zadaną kinematyczną dokładność realizacji łuku trajektorii, którą jest np. Δ_c, możemy oszacować maksymalne długości łuków. Długość tę wyznacza wyrażenie $(\Delta_c/\Delta_{max})ds$. Dekompozycję różniczkową można stosować także dla dłuższych łuków trajektorii. W takich przypadkach należy dokonać podziału wstępnego na odcinki nie większe niż $(\Delta_c/\Delta_{max})ds$. W punktach podziału wstępnego należy wyznaczyć kąty obrotu w poszczególnych stopniach swobody przy wykorzystaniu dekompozycji ciągłej ruchu.

Przy dużym stosunku $\Delta_c/\Delta_{max} = n >> 1$ długość łuków trajektorii, które mogą podlegać dyskretyzacji bez podziału wstępnego, jest n razy większa od odcinka ds. W przypadku gdy $n < 1$, można zmniejszyć ds i szukać odpowiadającego mu nowego Δ_{max}. Jeśli nadal $n < 1$, należy stosować dekompozację ciągłą.

Innym kryterium wyboru rodzaju dekompozycji może być mniejsza liczba operacji matematycznych. Kryteria wyboru rodzaju dekompozycji mogą być bardziej złożone.

Kinematyczna dekompozycja ruchu członu roboczego robota wymaga uwzględnienia osobliwości kinematycznych [2]. Robot IRb-6 ma zbiór osobliwości na trajektoriach, dla których

$$C_1 a_x + S_1 a_y = 0 \quad i \quad C_1 b_x + S_1 b_y = -1 \text{ [2]}, \quad \text{gdzie}$$

C_1 i S_1 = cos θ_1 i sin θ_1 ;

$$\theta_1 = \operatorname{arc\,tg} \frac{-d_x}{d_y} \quad \text{dla} \quad d_x \leq 0 \quad i \quad d_y \geq 0 \; ;$$

$$\theta_1 = \text{arc tg} \frac{-d_x}{d_y} + 180^\circ \quad \text{dla} \quad d_y < 0 \;;$$

$$\theta_1 = \text{arc tg} \frac{-d_x}{d_y} + 360^\circ \quad \text{dla} \quad d_x > 0 \text{ i } d_y \geq 0.$$

Dla takich trajektorii rozwiązanie dla θ_5, wynikające z dekompozycji ciągłej, jest niejednoznaczne i daje dwie wartości $\theta_5 = \pm 180^\circ$ [2].

Wyznacznik jakobianu zeruje się tylko dla trajektorii, na których $C_1 b_x + S_1 b_y = 0$, czyli dla $\theta_5 = \pm 90^\circ$ [2]. Jednoznaczne rozwiązanie dla $d\theta_1 + d\theta_5$ w takim przypadku znajdujemy dzięki równaniu więzów kinematycznych [2]. Przykład liczbowy przytoczony tu ilustruje taką trajektorię.

Przedstawiony tu sposób wyznaczania kątów obrotów w poszczególnych stopniach swobody robota IRb-6, pozwala na projektowanie zadanych trajektorii po ich dyskretyzacji. Jest to jeden z podstawowych problemów przy projektowaniu warstwy wyznaczania trajektorii ruchu w robotach drugiej generacji [4].

IRb-6 jest robotem pierwszej generacji, w którym występuje warstwa programowania [4] umożliwiająca uczenie robota.

Z powyższego wynika, że przedstawiona metoda może być jedną z podstaw do zaprojektowania algorytmów sterujących w warstwie wyznaczania trajektorii dla robota ITb-6.

LITERATURA

[1] Paul R.P.: Robot Manipulators: Mathematic, Programming and Control, MIT Press, Cambridge Massachusetts, London, England 1983.

[2] Szkodny T.: Układy manipulacyjne, Wydawnictwo Naukowe Polit. Śl. Gliwice /skrypt w druku/.

[3] Olędzki A.: Podstawy teorii maszyn i mechanizmów. PWN, Warszawa 1987.

[4] Niederliński A.: Roboty przemysłowe. Wyd. Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1981.

[5] Knapczyk J.A., Stępniewski: Analiza kinematyczna i dynamiczna manipulatora z pięcioma parami obrotowymi metodą macierzową dla zadanej trajektorii ruchu. ZN Polit. Śl. s. Mechanika nr 85, Gliwice 1987.

[6] Knapczyk J.A., Kisiel J.: Wektorowa metoda wyznaczania ruchu członów manipulatora z sześcioma parami obrotowymi /zadanie odwrotne/. ZN Polit. Śl. s. Mechanika nr 86, Gliwice 1987.

Recenzent: Prof.dr h.inż.A.Woźniak

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30.

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОБОТА ИРб - 6

Р е з ю м е

В работе представлен способ расчёта малых перемещений углов поворота по отдельным степеням свободы манипулятора робота ИРб-6, которые вызывают заданное приращение положения и ориентацию рабочего органа. Проблема эта называется кинематическим разложением движения рабочего органа на повороты по отдельным степеням свободы.

KINEMATIC DIFFERENTIAL DECOMPOSITION FOR THE MOVEMENT OF WORKING ELEMENT IN THE IRb-6 MANIPULATOR

S u m m a r y

A way of calculation of the infinitesimal rotary angles for given degrees of freedom of robotic manipulator is presented. These angles imply given variation of placement and orientation of the working element. It is a problem of kinematic decomposition of the working element movement onto rotations in given degrees of freedom.