

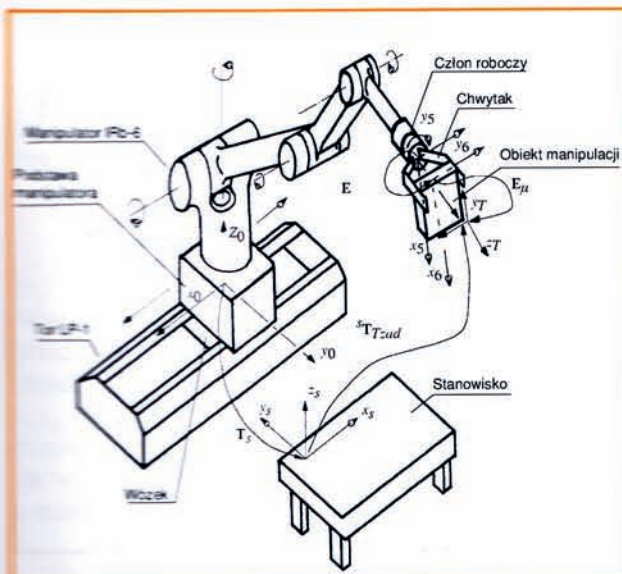
Przestrzeń robocza manipulatora IRb-6 na torze jezdny LP-1

dr inż. Tadeusz Szkodny
Instytut Automatyki
Politechniki Śląskiej

Przedstawiono analityczny opis przestrzeni roboczej robota IRb-6. Robot ten jest wyposażony w manipulator IRb-6 mogący się poruszać po torze jezdny LP-1 o długości 150 cm. Przestrzeń roboczą tego manipulatora opisano względem układu współrzędnych stanowiska. Ze względu na strukturę kinematyczną tego manipulatora zastosowano do opisu jego przestrzeni roboczej właściwej układ cylindryczny. Przestrzeń tę podzielono na jedenaście obszarów. Dla każdego z tych obszarów wyznaczono analityczny opis. Przestrzeń roboczą manipulatora IRb-6 na torze jezdny podzielono na piętnaście obszarów. Każdy z tych obszarów opisano analitycznie.

Przedstawiony tu opis przestrzeni roboczej robota IRb-6 umożliwia badanie możliwości uchwycenia przedmiotu manipulacji przez chwytak bez konieczności obliczania współrzędnych naturalnych manipulatora. Robot ten jest wyposażony w manipulator IRb-6 z pięcioma stopniami swobody, z podstawą zamocowaną do wózka poruszającego się po torze jezdny LP-1 jak na rys.1.

Układy sterowania tego robota są przygotowywane do współpracy z systemem wizyjnym obserwującym otoczenie. Po uzyskaniu przez system wizyjny współrzędnych kartezjańskich punktu docelowego pozycjonowania [1, 2, 3] generator trajektorii będzie obliczał wartości współrzędnych położenia i orientacji kolejnych punktów przejściowych [1, 2], stanowiących trajektorię zadaną obiektu manipulacji. Punkty te mają być osiągnięte w czasie ruchu przez układ współrzędnych $x_T y_T z_T$, skojarzony z obiektem manipulacji. Trajektorii obiektu manipulacji odpowiada trajektoria układu współrzędnych $x_5 y_5 z_5$, skojarzonego z członem roboczym lub krócej trajektoria członu roboczego. Do członu roboczego zamocowany jest chwytak, który w zdefiniowany sposób obejmuje obiekt manipulacji. Przyjmujemy, że położenie i orientację układu współrzędnych obiektu manipulacji względem układu współrzędnych $x_6 y_6 z_6$ skojarzonego z chwytakiem opisuje macierz jednorodna E_{μ} , a macierz jednorodna E opisuje położenie i orientację układu współrzędnych $x_6 y_6 z_6$ względem układu $x_5 y_5 z_5$ (rys. 1). Przy tym założeniu możemy obliczyć współrzędne kartezjańskie punktów przejściowych trajektorii zadanej członu roboczego.



Rys. 1. Manipulator robota IRb-6

Do opisu trajektorii zadanej obiektu manipulacji związany ze stanowiskiem układ współrzędnych $x_s y_s z_s$. Trajektorię zadaną obiektu manipulacji tzn. położenie i orientację układu $x_T y_T z_T$ opisuje względem układu $x_s y_s z_s$ macierz jednorodna ${}^s T_{Tzad}$ (rys. 1).

Podstawowym warunkiem koniecznym kinematycznym realizacji trajektorii zadanej obiektu manipulacji jest przynależność wszystkich punktów trajektorii zadanej członu roboczego (odpowiadających punktom trajektorii zadanej obiektu manipulacji) do przestrzeni roboczej właściwej manipulatora [4]. Przestrzeń robocza właściwa wynika ze struktury kinematycznej manipulatora i jest to zbiór punktów, które może osiągnąć początek układu współrzędnych. Punkty te opisują współrzędne położenia x_0, y_0, z_0 względem układu $x_0 y_0 z_0$ skojarzonego z podstawą manipulatora.

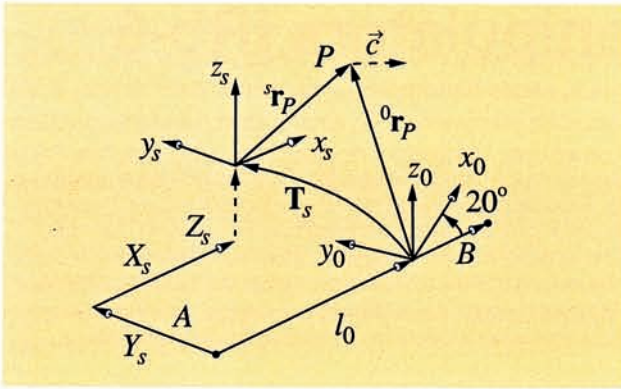
Żeby zbadać czy dany punkt przejściowy trajektorii zadanej należy do przestrzeni roboczej właściwej manipulatora musimy znać jego opis względem układu $x_0 y_0 z_0$, a nie względem układu stanowiska $x_s y_s z_s$. Dlatego dodatkowo jest niezbędny opis trajektorii zadanej obiektu manipulacji względem układu współrzędnych $x_0 y_0 z_0$ za pomocą położenia i orientacji układu $x_5 y_5 z_5$, wynikającego z macierzy ${}^s T_{Tzad}$.

Robot jest wyposażony w manipulator z ruchomą podstawą. Podstawa może poruszać się ruchem prostoliniowym wzdłuż prostej AB jak na rys. 2, równoległej do osi x_s układu $x_s y_s z_s$.

Macierz T_s opisuje układ współrzędnych $x_s y_s z_s$ względem układu $x_0 y_0 z_0$. l_0 jest dodatkową współzrędną naturalną tego manipulatora i może zmieniać się w granicach od 0 do 1500 mm. X_s, Y_s, Z_s są współzrędnymi początku układu współrzędnych $x_s y_s z_s$ zaznaczonymi na rys. 2. Punkt P na rys. 2 ilustruje położenie początku układu współrzędnych $x_5 y_5 z_5$. Przyjmujemy, że współzrędnne x_s, y_s, z_s opisują położenie ${}^s r_p$ początku układu $x_5 y_5 z_5$ względem układu $x_s y_s z_s$, a współzrędnne x_0, y_0, z_0 położenie ${}^0 r_p$ początku układu $x_5 y_5 z_5$ względem układu $x_0 y_0 z_0$. Z pracy [4] wynika

$${}^s r_p = [x_s, y_s, z_s]^T, \quad {}^0 r_p = [x_0, y_0, z_0]^T,$$

$${}^0 r_p = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{bmatrix} = T_s {}^s r_p = \begin{bmatrix} (X_s + x_s - l_0) \cos 20^\circ + (Y_s + y_s) \sin 20^\circ \\ -(X_s + x_s - l_0) \sin 20^\circ + (Y_s + y_s) \cos 20^\circ \\ Z_s + z_s \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Rys. 2. Układy współrzędnych x_s, y_s, z_s i x_0, y_0, z_0

W drugim punkcie przedstawimy przestrzeń roboczą manipulatora IRb-6 na torze jezdnym oraz sposób wyznaczania położenia wózka. W trzecim punkcie sformułujemy wnioski.

Przestrzeń robocza manipulatora ruchomego

Możliwe położenia początku układu współrzędnych x_s, y_s, z_s względem układu x_0, y_0, z_0 wynikające ze struktury kinematycznej manipulatora tworzą przestrzeń roboczą właściwą [4].

Na rysunku 3 przedstawiono przekrój przestrzeni roboczej właściwej w płaszczyźnie, gdzie współrzędna $r = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$. Analityczny opis tej przestrzeni przedstawia praca [4]. Tworzy go układ 11 nierówności typu $r_{min}(z_0) \leq r \leq r_{max}(z_0)$. W każdej z tych nierówności występują współrzędne punktów P1+P11 oraz promienie R1+R11.

Przestrzeń robocza właściwa manipulatora poruszającego się po torze jezdnym jest poszerzoną przestrzenią roboczą właściwą manipulatora IRb-6. Jej przekrój płaszczyzną prostopadłą do osi z_0 przedstawia rys. 4. Powierzchnia tego przekroju jest ograniczona linią CDHJLC. Promienie $AH = BJ = r_{max}$ oraz $AG = BI = r_{min}$ zależą od z_0 jak w pracy [4]. Dla $z_0 \leq 519$ mm lub $z_0 \geq 1528$ mm pole powierzchni tego przekroju jest zerowe. Promień łuków AE i BK jest średnią arytmetyczną $r_s = (r_{max} + r_{min})/2$. Wiele punktów z tej przestrzeni może być osiągnięta przy nieskończonej wielu wartościach l_0 . Dlatego przyjmujemy, że l_0 powinno zapobiec ułożeniu danego punktu P na granicy przekroju przestrzeni roboczej jeśli to możliwe. Do opisu tej przestrzeni zastosujemy następujące funkcje:

$$f_1(y_s) = \frac{\sqrt{r_s^2 - r_{min}^2 \cos^2 20^\circ}}{r_{max} - r_{min} \cos^2 20^\circ} [r_{max} - (Y_s + y_s)],$$

$$f_2(y_s) = -\frac{r_{max} \sin 20^\circ - \sqrt{r_s^2 - r_{min}^2 \cos^2 20^\circ}}{r_{max} \cos 20^\circ - r_{min} \cos 20^\circ} \cdot (Y_s + y_s - r_{min} \cos 20^\circ) - \sqrt{r_s^2 - r_{min}^2 \cos^2 20^\circ}$$

Dla obszaru

$$r_{min} \cos 20^\circ < Y_s + y_s < r_{max} \quad \text{i} \quad 0 < X_s + x_s \leq 1500 \text{ mm} + f_1(y_s)$$

$$l_0 = X_s + x_s - f_1(y_s). \quad (2)$$

Dla obszaru

$$r_{min} \cos 20^\circ \leq Y_s + y_s \leq r_{max} \cos 20^\circ$$

$$\text{i} \quad f_1(y_s) \leq X_s + x_s \leq 1500 \text{ mm} + f_2(y_s)$$

$$l_0 = X_s + x_s - f_1(y_s) \quad \text{lub} \quad l_0 = X_s + x_s - f_2(y_s). \quad (3)$$

Dla obszaru

$$-r_s \leq Y_s + y_s < r_{min} \cos 20^\circ$$

$$\text{i} \quad \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2} \leq X_s + x_s \leq 1500 \text{ mm} - \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$l_0 = X_s + x_s \pm \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}. \quad (4)$$

Dla obszaru

$$r_{min} \cos 20^\circ \leq Y_s + y_s < r_{max} \cos 20^\circ \quad \text{i} \quad f_2(y_s) \leq X_s + x_s < f_1(y_s)$$

$$l_0 = X_s + x_s - f_2(y_s). \quad (5)$$

Dla obszaru

$$-r_s \leq Y_s + y_s \leq r_{min} \cos 20^\circ$$

$$\text{i} \quad -\sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2} \leq X_s + x_s < \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$l_0 = X_s + x_s + \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}. \quad (6)$$

Dla obszaru

$$r_{min} \cos 20^\circ \leq Y_s + y_s \leq r_{max} \cos 20^\circ$$

$$\text{i} \quad 1500 \text{ mm} + f_2(y_s) < X_s + x_s \leq 1500 \text{ mm} + f_1(y_s)$$

$$l_0 = X_s + x_s - f_1(y_s). \quad (7)$$

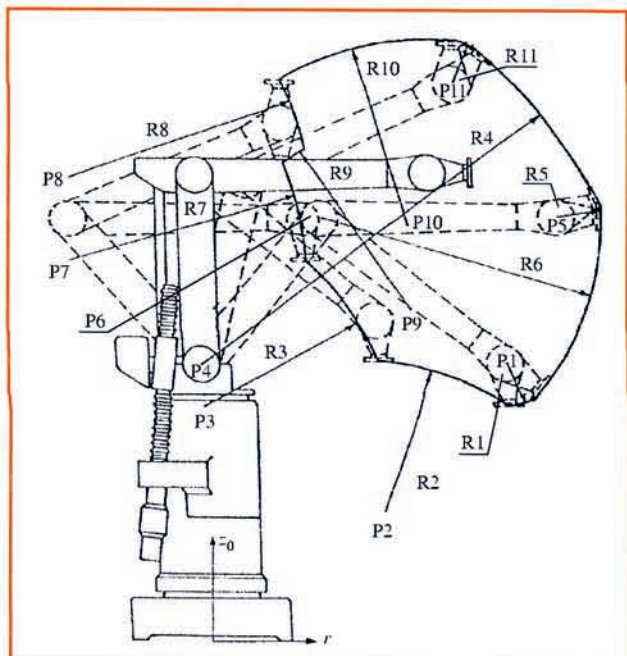
Dla obszaru

$$-r_s \leq Y_s + y_s \leq r_{min} \cos 20^\circ$$

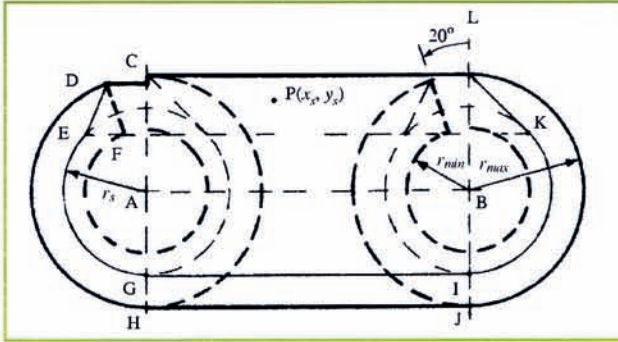
$$\text{i} \quad 1500 \text{ mm} - \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2} < X_s + x_s$$

$$X_s + x_s \leq 1500 \text{ mm} + \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$l_0 = X_s + x_s - \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}. \quad (8)$$



Rys. 3. Przekrój przestrzeni roboczej właściwej manipulatora IRb-6 w płaszczyźnie rz_0



Rys. 4. Przekrój przestrzeni roboczej manipulatora IRb-6 na torze jezdnym LP-1

Dla obszaru

$$r_{min} < Y_s + y_s < r_{max} \cos 20^\circ$$

$$\text{i } -\sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2} < X_s + x_s < f_2(y_s)$$

$$\text{lub } -r_s \leq Y_s + y_s \leq r_{min} \cos 20^\circ$$

$$\text{i } -\sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2} < X_s + x_s < -\sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$\text{lub } -r_{max} < Y_s + y_s < -r_s \quad \text{i } -\sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2} < X_s + x_s < 0$$

$$l_0 = 0. \quad (9)$$

Dla obszaru

$$-r_{max} < Y_s + y_s < -r_s \quad \text{i } 0 \leq X_s + x_s < 1500 \text{ mm}$$

$$l_0 = X_s + x_s. \quad (10)$$

Dla obszaru

$$r_{min} \cos 20^\circ < Y_s + y_s < r_{max}$$

$$1500 \text{ mm} + f_1(y_s) < X_s + x_s$$

$$X_s + x_s < 1500 \text{ mm} + \sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$\text{lub } -r_s \leq Y_s + y_s \leq r_{min} \cos 20^\circ$$

$$\text{i } 1500 \text{ mm} + \sqrt{r_s^2 - (Y_s + y_s)^2} < X_s + x_s$$

$$X_s + x_s < 1500 \text{ mm} + \sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$\text{lub } -r_{max} < Y_s + y_s < -r_s$$

$$\text{i } 1500 \text{ mm} < X_s + x_s < 1500 \text{ mm} + \sqrt{r_{max}^2 - (Y_s + y_s)^2}$$

$$l_0 = 1500 \text{ mm}. \quad (11)$$

Przestrzeń robocza manipulatora jest fragmentem podprzestrzeni manipulatora [1, 6, 7]. Podprzestrzeń manipulatora IRb-6 jest opisana równaniem kluczowym w postaci

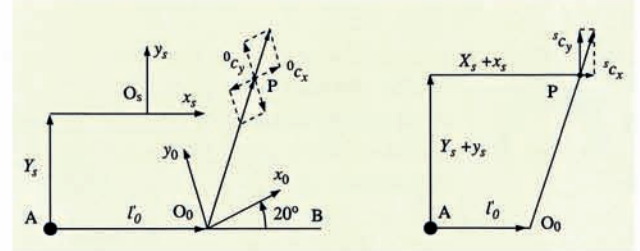
$${}^0c_x \cdot y_0 - {}^0c_y \cdot x_0 = 0. \quad (12)$$

${}^0c_x, {}^0c_y$ są rzutami wektora \vec{c} osi z_5 na osie x_0 i y_0 rys. 5. Równanie (12) opisuje płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny x_0y_0 , przechodzącą przez: początek O_0 układu $x_0y_0z_0$, punkt P i rzut wektora \vec{c} na płaszczyznę x_0y_0 . Rzuty ${}^s c_x, {}^s c_y$ (rys. 5) są elementami (1, 3) i (2, 3) macierzy ${}^s T_{5\text{ad}}$, obliczonej z trajektorii zadanej ${}^s T_{2\text{ad}}$ jak w pracy [4]. Z rysunku 5 wynika formuła dla l_0 o następującej postaci:

$$l_0 = X_s + x_s - (Y_s + y_s) \frac{{}^s c_x}{{}^s c_y} \quad \text{przy } {}^s c_y \neq 0 \quad (13)$$

Dodatkowa współrzędna l_0 opisująca położenie podstawy manipulatora IRb-6 na torze jezdnym LP-1 może zmieniać się w granicach $0 \leq l_0 \leq 1500 \text{ mm}$. Dlatego l_0 będzie l'_0 należącego do przedziału $[0, 1500 \text{ mm}]$. Przy l'_0 z poza tego przedziału punkt P ze zdefiniowaną orientacją nie będzie mógł być osiągnięty przez manipulator.

Dla ${}^s c_y = 0$ tylko punkty P leżące w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny x_0y_0 , przechodzącej przez oś z_0 i prostą AB na rys. 5 są z podprzestrzeni manipulatora IRb-6.



Rys. 5. Rzuty wektora \vec{c} : ${}^0c_x, {}^0c_y$ na osie x_0 i y_0 ; ${}^s c_x, {}^s c_y$ na osie x_s i y_s

Wtedy niemożliwe jest jednoznaczne wyznaczenie l'_0 i do obliczenia l_0 stosujemy jedną z formuł (4), (6), (8) lub (11).

Przy dowolnej orientacji zadanej obiektu manipulacji rzuty ${}^s c_x, {}^s c_y$ są dowolne. Z formuły (13) wynika, że nie możemy wtedy wyznaczyć jednoznacznie l'_0 . W tym przypadku będziemy stosować jedną z formuł (2÷11).

Wnioski

Przedstawiony opis przestrzeni roboczej manipulatora IRb-6 na torze jezdnym LP-1 może być podstawą do opracowania odpowiedniego programu komputerowego automatycznie sprawdzającego, czy zaobserwowany przez system wizyjny obiekt manipulacji jest zanurzony w przestrzeni roboczej tego manipulatora.

Opis ten jest niezbędny do implementacji komputerowego generatora trajektorii (np. PLAN2 [5]) do systemu sterowania robota z tym manipulatorem, współpracującego z systemem wizyjnym.

Przedstawiony tu opis przestrzeni roboczej właściwej jest użyteczny dla manipulatorów o strukturze kinematycznej jak IRb-6. Taką strukturę kinematyczną mają manipulatory: IRp-6 i URP-6.

Bibliografia:

- [1] Craig J.J.: Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT, Warszawa 1993.
- [2] Yokishawa T.: Foundations of Robotics. MIT Press 1990.
- [3] Morecki A., Knapczyk J.: Podstawy Robotyki. WNT, Warszawa 1993.
- [4] Szkodny T.: Przestrzeń robocza robota eksperymentalnego. Materiały Konf. Nauk.-Techn. AUTOMATION'97, Warszawa 1997 t.1, s. 165-172.
- [5] Szkodny T.: Generating a Reference Trajectory with Defined Kinematics for the IRb-6 Manipulator, Math. Comp. Modelling, Pergamon Press 1995, vol. 21, no. 5.
- [6] Szkodny T., Grzechca W., Bereska D.: Key-equations method of description of manipulators' subspaces. Proc. 5-th IFAC Symposium on Robot Control. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, Nantes 1997.
- [7] Szkodny T., Bereska D., Grzechca W.: Differential Description of Manipulators' Subspace. Proc. 12-th Int. Conf. on CAD/CAM Robotics and Factories of the Future, Middlesex Univ., London 1996.

Abstracts

Work Space of Have IRb-6 Manipulator on the LP-1 Track

Tadeusz Szkodny – p. 9

Work space analytical description of IRb-6 robot is presented in this paper. The robot have IRb-6 manipulator, which may to move on LP-1 track 150 cm long. Work space of this manipulator is described in relation to station. From kinematics structure of this manipulator result, that to describe its work space is most usable cylindrical coordinates system. Therefore this system to this description is used. This space is divided on eleven parts. For each of this parts the analytical description is presented. The work space of IRb-6 manipulator on LP-1 track is divided on fifteen parts. Each of these parts are analytically described.