

UOT 62-112.9

MANİPULYASIYA ROBOTUNUN KİNEMATİK SXEMİNİN RİYAZİ TƏSVİRİ

Y.N.Əliyeva, S.M.Abbasova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

E-mail: yegane.aliyeva.1969@mail.ru

Açar sözlər: manipulyator, Eylər bucaqları, kinematik parametrlər, işçi orqan, görmə nöqtəsi

Xülasə. Hal-hazırda sənayenin müxtəlif sahələrində texnoloji məsələlərin geniş spektrinin yerinə yetirilməsi üçün istifadə edilən sənaye manipulyasiya robotları (MR) tətbiq edilir. Onların tətbiqi texnoloji proseslərin məhsuldarlığını artırmağa, insanların təhlükəli sahələrdə olmasının qarşısını almağa, aqressiv mühitlərdə əməliyyatlar aparmağa imkan yaradır. Məqalədə manipulyasiya robotunun kinematikasının düz və əks məsələlərinin həlli üçün modeldən, manqalara təsir edən momentlərin hesabını aparmağa imkan verən dinamik modeldən və elektromexaniki modeldən ibarət olan ümumiləşdirilmiş riyazi modeli işlənmişdir.

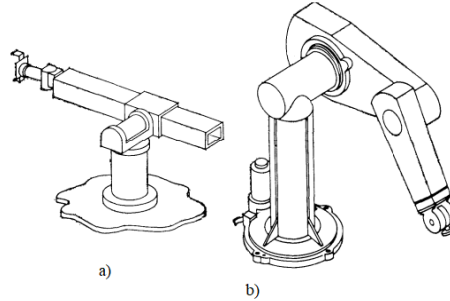
Manipulyasiya robotları kimi mürəkkəb mexatron obyektlərin idarəetmə sistemlərinin (İS) xarakteristikalarına onların kinematik və dinamik parametrləri əhəmiyyətli təsir göstərir. Bunun nəticəsində İS-in reallaşdırılması zaman istifadə üçün əlverişli olan ətraflı riyazi təsvir vermək lazımdır. Göstərilən məsələnin həllində iki qarşılıqlı əlaqədar olan istiqaməti ayırmaq olar. Birinci istiqamət manipulyatorun fəza konfigurasiyasını birmənalı təyin etməyə imkan verən onun dəqiq kinematik modelinin yaradılmasından ibarətdir. Bu da öz növbəsində işçi orqanın yerdəyişmə qanunlarını təsvir etməyə imkan yaradır. İkinci istiqamət manipulyatorada mövcud olan dinamik xarakteristikaların və əlaqələrin təsviridir. Bu istiqamət onun verilmiş trayektoriya üzrə yerdəyişməsi zaman rəftarını təsvir etməyə imkan yaradır. Bu məqalədə tədqiqat həm sənayedə, həm də elmi tədqiqatlarda Nokia firmasının istehsalı olan, geniş yayılmış PUMA-560 Unimation manipulyasiya robotundan (şəkil 1) istifadə etməklə aparılmışdır. Bu manipulyator onun xüsusiyyətləri və xarakteristikaları bir sıra işlərdə baxıldığı və buna görə də onun fiziki parametrlərinin qiymətləndirilməsi kimi baza məsələlərinin təkrar həlli lazım olmadan sonrakı tədqiqatların aparılmasına imkan yaradıldığı ilə əlaqədar olaraq seçilmişdir. Həmçinin, bu məqalədə manipulyatorun komponentlərinin təsirinin tədqiq edilmə məsələsini sadələşdirməyə imkan verən bir sıra şərtlər qəbul edilmişdir:

- 1) manipulyatorun manqalarının ətalət momenti sabit və sıfır koordinatına uyğun olan manqa vəziyyətində olan momentə bərabər hesab edilir;
- 2) quru və özlülüklü sürtünmə nəzərə alınmır.



Şəkil 1. Manipulyasiya robotu PUMA-560

Manipulyatorun kinematik sxeminin təsviri onun qabarit ölçülərinin və işçi fəzasının parametrlərinin məlum olmasını tələb edir. MR-un müxtəlif konfigurasiyaları [1] öz strukturu və xarakteristikaları üzrə fərqlənilir. Sənayedə irəliləmə və firlanma oxlarına malik olan çoxmanqalı MR ən çox yayılmışdır (şəkil 2). Nümunə kimi istehsalda ən çox yayılan ABB, Fanuc, KUKA, Yaskawa, Kawasaki kimi firmaların manipulyatorlarını qeyd etmək olar.



Şəkil 2. Çoxmanqalı manipulyasiya robotları:
a) stenford manipulyatoru, b) manipulyasiya robotu PUMA-560

İS-nin işlənməsində qeyri-birmənəliqdan qaçmaq üçün yerdəyişmələrin təsviri üçün koordinat sistemini təyin etmək lazımdır.

Manipulyatorun hərəkət trayektoriyasının planlaşdırılması və onun vəziyyətinin fəzada təyin edilməsi üçün kinematikanın düz və əks məsələləri şəklində iki əsas məsələ sinfini həll etmək lazımdır [2]. Düz məsələnin həlli manipulyatorun məxsusi koordinat sistemlərindən işçi (mütləq) vəziyyəti barədə informasiyanın çevrilməsi üçündür. Bu manipulyatorun işçi orqanının koordinatlarının təyin edilməsi üçün tələb olunur. Əks məsələnin həlli işçi orqanın vəziyyəti üzrə manipulyatorun tələb olunan fəza konfigurasiyasının hesablanması üçündür və onun yerdəyişməsinin trayektoriyasının planlaşdırılmasında əsas problemdir. Göstərilən məsələlərin həlli manipulyatorun qabarit xarakteristikalarının onların analizi və koordinat çevrilmələrinin tənliklərinin yazılması üçün əlverişli olan formada təsvirini tələb edir. Mövcud olan yanaşmaların əsasları onların xətti və matrisa tənlikləri sistemi şəklində ifadə olunmasıdır [3].

Ədədi çevrilmələrin yerinə yetirilməsi üçün ən effektiv olan bircins çevrilmələr metodudur. Manipulyasiya robotlarının təsvirinə tətbiqən Denavit-Xartenberq təsviri (DX-təsviri) geniş yayılmışdır. O, manipulyatorun kinematikasını ayrı-ayrı manqaların koordinat sistemlərinin nisbi vəziyyətini ifadə edən 4×4 ölçülü fəza çevrilmələrinin müəyyən matrisalar dəsti ilə yazmağa imkan verir. Bu halda manipulyatorun kinematik sxemi aşağıdakı tənliklə təsvir edilir:

$$T = \prod_{i=1}^n A_i \quad (1)$$

burada:

- T – işçi orqanın vəziyyət matrisası,
- A_i – i -oynağının çevrilmə matrisaları,
- n – MR-da oynaqların sayıdır.

Kinematikanın düz məsələsinin həlli manipulyatorun onun öz məxsusi KC-də vəziyyətini təsvir edən koordinat çoxluğunun işçi koordinat sistemlərinin koordinatlarına çevrilməsini tələb edir. $(q_1, q_2, \dots, q_n) \rightarrow (x_1, x_2, \dots, x_n)$, burada:

q_1, q_2, \dots, q_n – məxsusi koordinat sistemində koordinatlar birləşdirilmiş, x_1, x_2, \dots, x_n – mütləq koordinat sistemində koordinatlar (mütləq). firlanma koordinat sistemində işləyən PUMA-560 altımanqalı manipulyatordan istifadə edərkən və əvvəl seçilən işçi koordinat sistemi tətbiq edilərkən (1) ifadəsindən istifadə edilərək aşağıdakını alırıq:

$$T = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 = \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

burada: n , s , a – işçi orqanın yönəldilməsinin 3×1 vektorları, p – baza koordinat sistemində işçi orqanın vəziyyətinin 3×1 vektoru. Yerdə qalan ayrı-ayrı çevrilmə matrisaları aşağıdakı şəkli alır:

$$\begin{aligned}
 {}^0\mathbf{A}_1 &= \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & 0 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^1\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
 {}^2\mathbf{A}_3 &= \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & -a_3 \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & a_3 \sin\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^3\mathbf{A}_4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & -\sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & \cos\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^4\mathbf{A}_5 &= \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & -\cos\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^5\mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3}$$

burada: θ_i , d_i , a_i və α_i – DX-təsvirin parametrləri (şəkil 3):

θ_i – x_i oxu ilə eyni istiqamətdə olması üçün x_{i-1} oxunu z_{i-1} oxu ətrafında döndərən birləşmiş bucaq; d_i – z_{i-1} oxunun x_i oxu ilə kəsişməsi ilə koordinat sistemində $(i-1)$ -ci başlanğıc arasında məsafə; a_i – xətti sürüşmə (z_{i-1} və z_i oxları arasında ən qısa məsafə); α_i – bucaq sürüşməsi – z_i oxu ilə eyni istiqamətdə olması üçün x_i oxu ətrafında z_{i-1} oxunu döndərən bucaq.

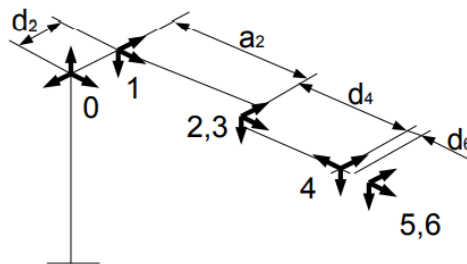
d_i , a_i və α_i parametrlərinin qiymətləri mütləq koordinat sisteminin istiqaməti və hesablama nöqtəsinin seçilməsi ilə təyin edilir. Onların təyin edilməsi və işlərinin analizi əsasında alınmış orta ədədi ifadələr cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Bu halda θ_i qiymətləri manipulyatorun birləşdirilmiş koordinatlarına uyğundur və manipulyatorun məxsusi koordinat sistemində vəziyyətini təsvir edir.

Cədvəl 1

PUMA-560 manipulyatorunun DX-təsviri parametrləri

	θ_i	a_i	a_i, mm	d_i, mm	$\theta_{\min, 0}$	$\theta_{\max, 0}$
I	90	-90	0	0	-160	+160
II	0	0	431,8	149,09	-225	+45
III	90	90	-20,32	0	-45	+225
IV	0	-90	0	433,07	-110	+170
V	0	90	0	0	-100	+100
VI	0	0	0	56,25	-226	+266



Şəkil 3. PUMA-56 manipulyasiya robotunun DX-təsviri parametrlərinin nisbəti

Matrisa əməliyyatlarının yolverilməz və ya hesablama resurslarının istifadə edilməsi nöqtəyi-nəzərindən qeyri-rasional olduğu şəraitdə manipulyatorun koordinatlarının hesablanması üçün kinematikanın düz məsələsinin təsviri aşağıdakı xətti tənliklər sistemi şəklində mümkündür:

$$n_x = C_1$$

$$n_x = C_1 [C_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - S_{23} S_5 C_6] - S_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6),$$

$$n_y = S_1 [S_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) + C_{23} S_5 C_6] + C_1 (S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6),$$

$$n_z = -S_{23} (C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6) - C_{23} S_5 C_6,$$

$$s_x = C_1 [-C_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_{23} S_5 S_6] - S_1 (-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6),$$

$$s_y = S_1 [-C_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + S_{23} S_5 S_6] + C_1 (-S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6),$$

$$s_z = S_{23} (C_4 C_5 S_6 + S_4 C_6) + C_{23} S_5 S_6,$$

$$a_x = C_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) - S_1 S_4 S_5,$$

$$a_y = S_1 (C_{23} C_4 S_5 + S_{23} C_5) + C_1 S_4 S_5,$$

$$a_z = -S_{23} C_4 S_5 + C_{23} C_5,$$

$$p_x = C_1 [d_6 (C_{23} C_4 C_5 + S_{23} C_5) + S_{23} d_4 + a_3 C_{23} + a_2 C_2] - S_1 (d_6 S_4 S_5 + d_2),$$

$$p_y = S_1 [d_6 (C_{23} C_4 C_5 + S_{23} C_5) + S_{23} d_4 + a_3 C_{23} + a_2 C_2] + C_1 (d_6 S_4 S_5 + d_2),$$

$$p_z = d_6 (C_{23} C_5 - S_{23} C_4 S_5) + C_{23} d_4 - a_3 S_{23} - a_2 S_2,$$

burada:

$$C_i = \cos \theta_i, S_i = \sin \theta_i,$$

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

Belə yanaşma mürəkkəb riyazi çevrilmələrin yerinə yetirilməsi üçün kifayət qədər hesablama imkanlarına malik olmayan mikrokontrollerdə MR-in idarəetmə sisteminin realizə olunmasında istifadə oluna bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. СПб. – 2001. – 168 с.
2. Tolani D., Goswami A., Badler N. I. Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs // Graphical models. 2000. Vol. 62, no. 5. P. 353–388.
3. D'Souza A., Vijayakumar S., Schaal S. Learning inverse kinematics // Intelligent Robots and Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE/RSJ International Conference on / IEEE. Vol. 1. 2001. P. 298–303.
4. Corke P. I., Armstrong B. S. A Search for Consensus Among Model Parameters Reported for the PUMA 560 Robot. In Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1608–1613, 1994.

THE KINEMATIC SCHEME OF THE MANIPULATION ROBOT MATHEMATICAL DESCRIPTION

Y.N.Aliyeva, S.M.Abbasova

Azerbaijan State University of Oil and Industry

E-mail: yegane.aliyeva.1969@mail.ru

Abstract. Currently, industrial manipulation robots (MR) are used in various industries to perform a wide range of technological tasks. Their application allows to increase the productivity of technological processes, to prevent people from being in dangerous areas, to conduct operations in aggressive environments. The article develops a generalized mathematical model of a manipulation robot, consisting of a model for solving direct and inverse problems of kinematics, a dynamic model that allows you to calculate the moments acting on the manga, and an electromechanical model.

Keywords: manipulator, Euler angles, kinematic parameters, working body, point of view.

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ**

Е.Н.Алиева, С.М.Аббасова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

E-mail: yegane.aliyeva.1969@mail.ru

Резюме. В настоящее время промышленные манипуляционные роботы (МР) используются в различных отраслях промышленности для выполнения широкого круга технологических задач. Их применение позволяет повысить производительность технологических процессов, исключить нахождение людей в опасных зонах, проводить операции в агрессивных средах. В статье разрабатывается обобщенная математическая модель манипуляционного робота, состоящая из модели решения прямой и обратной задач кинематики, динамической модели, позволяющей рассчитывать моменты, действующие на мангу, и электромеханической модели.

Ключевые слова: манипулятор, углы Эйлера, кинематические параметры, рабочий орган, точка зрения.