

І.С. Дмитрієва, Д.О. Левченко

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МАНІПУЛЯЦІЙНОГО РОБОТУ

Анотація: Робота присвячена дослідженню побудові кінематичної моделі маніпуляційного робота. Розглядаючи систему маніпулятора робота, за допомогою процедури Денавіта-Хартенберга, записані кінематичні рівняння.

Ключові слова: рівняння кінематики, маніпуляційний робот, Денавіт-Хартенберг.

Вступ. Застосування робототехнічних систем у виробництві, науці та побуті знаменує собою вихід людської цивілізації на принципово новий технологічний рівень. Серед роботів (тобто технічних систем, які у своїх діях імітують рухові й інтелектуальні функції людини) виділяються маніпуляційні роботи, головна властивість яких - відтворення функцій людських рук в процесі трудової діяльності.

Проектування маніпуляційного робота є складною задачею в першу чергу тому, що для її вирішення треба володіти теоретичними знаннями в декількох різних областях та практичними навичками роботи з різноманітними засобами.

Мета. На першому етапі проектування маніпуляційної системи необхідно розглянути його кінематику, тобто знайти просторове положення ланок, як функції часу, а також зміни його швидкості і прискорень, які повинні відповідати вимогам технічного процесу.

Пряма задача кінематики маніпуляційного робота.

Виконавчим пристроєм маніпуляційного робота є маніпулятор. Це - багатоланковий механізм з багатьма ступенями рухливості.

Залежно від характеру кожної з ступенів рухливості (поступальної або обертальної), їх послідовності і взаємної орієнтації в просторі формується та чи інша базова система координат маніпулятора зі своїми особливостями і формою просторової фігури [1]. Таким чином, вид базової системи координат маніпулятора визначає його конструк-

тивне виконання, рівень складності системи управління і труднощі програмування виконавчих рухів.

Системи координат, в яких можуть діяти маніпулятори:

- прямокутна, або декартова, система координат;
- циліндрична система координат;
- сферична, або полярна, система координат;
- кутова, або ангулярна, сферична системі координат;
- ангулярна циліндрична, або складна циліндрична, система координат.

На рисунку 1 представлена класифікація роботів по базовій системі координат.

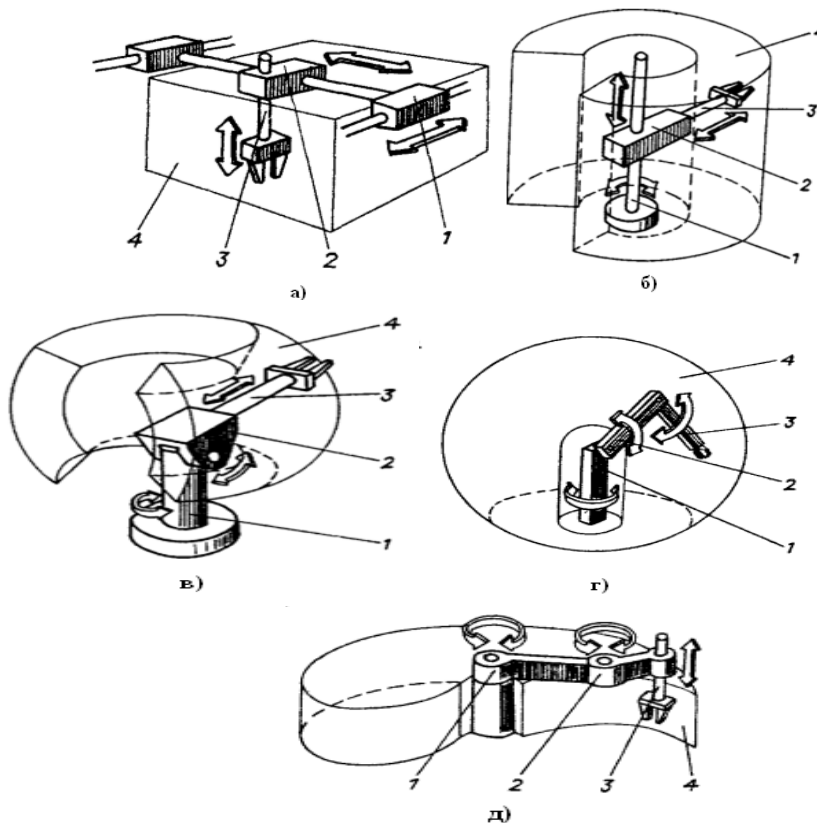


Рисунок 1 - Класифікація роботів по базовій системі координат

В роботі досліджується маніпулятор (рис. 1, г) з кутовою, або ангулярною, сферичною системою координат.

Промислові роботи, як правило, володіють п'ятьма-шістьма ступенями рухливості. Однак часто зустрічаються роботи мають менше чотирьох ступенів рухливості. Управління такими настільки складними механізмами, як багатоланкові маніпулятори, також може виявитися досить складним. Навіть при виконанні найпростішої

операції (переміщення захватного пристрою багатоланкового маніпулятора з точки А в точку В) для розрахунку керуючої інформації потрібно виконати великий обсяг обчислень.

У тому разі, якщо маніпулятор має всього одну ступінь рухливості, то управління переміщенням в задану точку не викликає ніяких труднощів - достатньо всього лише розрахувати величину кута повороту θ . Зовсім інша ситуація виникає в тому випадку, коли маніпулятор крім обертального може здійснювати зворотно-поступальні рухи. Щоб змусити схват переміститися з вихідної точки в цільову, необхідно розрахувати відповідні траєкторії руху для кожної з ланок. Для того щоб по відомим величинам обертання або лінійного переміщення по кожній з ступенів рухливості знайти положення захватного пристрою а також всього маніпулятора або якої-небудь з його частин використовується принцип перетворення координат за допомогою матриць перетворень.

Пряма задача кінематики маніпулятора полягає в знаходженні координат кінця кінематичного ланцюга, при заданій довжині ланок і кутів між ними [2].

На рисунку 2 представлено розташування систем координат маніпулятора.

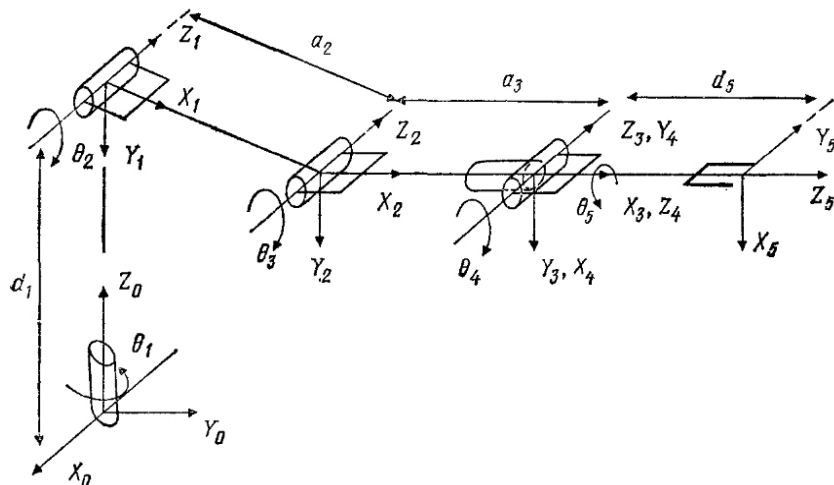


Рисунок 2 – Розташування систем координат

Положення і орієнтація n -ї ланки в системі координат буде визначатися за допомогою виразу (1).

$$T_0^5 = A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4 A_4^5 \quad (1)$$

де A_{i-1}^i - матриця однорідного перетворення $(i-1)$ -ї в i -у систему координат.

Матриця T_0^5 має вигляд (2).

$$T_0^5 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

де a - вектор підходу; o - вектор орієнтації; n - вектор нормалі.

Матрицю однорідного перетворення $(i-1)$ -ї в i -у систему координат по відношенню до локальних систем координат зчленувань виконаємо за допомогою перетворення Денавіта – Хартенберга (3).

$$A_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

де d_i - ланкова відстань, θ_i - кут нахилу в зчленуванні, a_i - довжина ланки, α_i - кут скручування ланки.

Чотири параметри d_i , a_i , α_i , θ_i складають мінімальний набір, необхідний для опису кінематичної конфігурації кожної ланки виконавчого механізму робота. Значення параметрів системи координат ланок маніпулятора наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри зчленувань для маніпуляційного робота

Зчленування	θ_i	α_i	a_i , (см)	d_i , (см)
i=1	θ_1	-90	0	5
i=2	θ_2	0	10	0
i=3	θ_3	0	10	0
i=4	θ_4	90	0	0
i=5	θ_5	0	0	2

Насправді ми маємо справу з п'ятьма незалежними рівняннями щодо 5 невідомих незалежних змінних переміщень зчленувань.

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} A_1^2 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & 10C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & 10S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} A_2^3 = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & 10C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & 10S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} A_4^5 = \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Таким чином матриця T_0^5 має такі елементи:

$$(T_0^5)_{11} = C_1 C_{23} C_4 C_5 - C_1 S_{23} S_4 C_5 - S_1 S_5$$

$$(T_0^5)_{12} = -C_1 C_{23} C_4 S_5 + C_1 S_{23} S_4 S_5 - S_1 C_5$$

$$(T_0^5)_{13} = C_1 C_{23} S_4 + C_1 S_{23} C_4$$

$$(T_0^5)_{14} = 2C_1 C_{23} S_4 + 2C_1 S_{23} C_4 + 10C_1 (C_{23} + C_2)$$

$$(T_0^5)_{21} = S_1 C_{23} C_4 C_5 - S_1 S_{23} S_4 S_5 + C_1 S_5$$

$$(T_0^5)_{22} = -S_1 C_{23} C_4 S_5 + S_1 S_{23} S_4 S_5 + C_1 C_5$$

$$(T_0^5)_{23} = S_1 C_{23} S_4 + S_1 S_{23} C_4$$

$$(T_0^5)_{24} = 2S_1 C_{23} S_4 + 2S_1 S_{23} C_4 + 10S_1 (C_{23} + C_2)$$

$$(T_0^5)_{31} = -S_{23} C_4 C_5 - C_{23} S_4 C_5$$

$$(T_0^5)_{32} = -S_{23} C_4 S_5 + C_{23} S_4 S_5$$

$$(T_0^5)_{33} = -S_{23} S_4 + C_{23} C_4$$

$$(T_0^5)_{34} = -2S_{23} S_4 + 2C_{23} C_4 + 5 + 10(S_{23} + S_2)$$

$$(T_0^5)_{41} = (T_0^5)_{42} = (T_0^5)_{43} = 0$$

$$(T_0^5)_{44} = 1$$

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

Висновки. В результаті дослідження виявлено, що представлені рівняння кінематики описують просторове положення ланок маніпуляційного роботу. Ці рівняння необхідні для дослідження поведінки роботу, а також для визначення траєкторії руху схвату.

Подальші дослідження можуть бути пов'язані з вирішенням оберненої задачі кінематики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Накано Э. Введение в робототехнику / Э. Накано / - М: Мир, 1988. – 334 с.
2. Шахинпур М. Курс робототехники / М.Шахинпур / - М.: Мир, 1990. - 564 с.
3. Бурдаков С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев / - М.: Высшая школа, 1986. - 256 с.
4. Зенкевич С. Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами (ученик для ВУЗов) / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко / - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.