

Промислова робототехніка

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ДЕНАВІТА–ХАРТЕНБЕРГА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЯМОЇ КІНЕМАТИКИ ПРОМИСЛОВОГО МАНІПУЛЯТОРА ANNIN ROBOTICS AR3

Є. О. Баранова, О. О. Баранов

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Серед сучасних відкритих платформ роботів, особливе місце займає Annin Robotics AR3 – шестивісний маніпулятор (рис. 1), який завдяки своїй відкритій архітектурі, програмному забезпеченню на основі ROS та документації, став популярним у освітніх та дослідницьких установах. Його конструкція дозволяє гнучко модифікувати апаратне середовище та легко реалізовувати різноманітні алгоритми кінематичного аналізу, що є важливим як для навчальних, так і для дослідницьких цілей. У контексті розв’язання задачі прямої кінематики для AR3, актуальним є побудова повної аналітичної моделі на основі ДН-параметрів, реалізація у середовищі MATLAB або Python, верифікація у симуляційному середовищі, а також аналіз відхилень. Такий підхід є критично важливим для подальшої реалізації зворотної кінематики, планування траєкторій та інтеграції зі штучним інтелектом. Для прогнозування положення виконавчого органу робота-маніпулятора (захоплювача, зварювальної головки, фарбопульта тощо) необхідно розраховувати залежності орієнтації і координат цього органу у базовій системі координат, відносно якої ведеться відлік при зміні узагальнених координат, які, у свою чергу, залежать від положення виконавчих приводів (валів електричних двигунів) у певний момент часу.

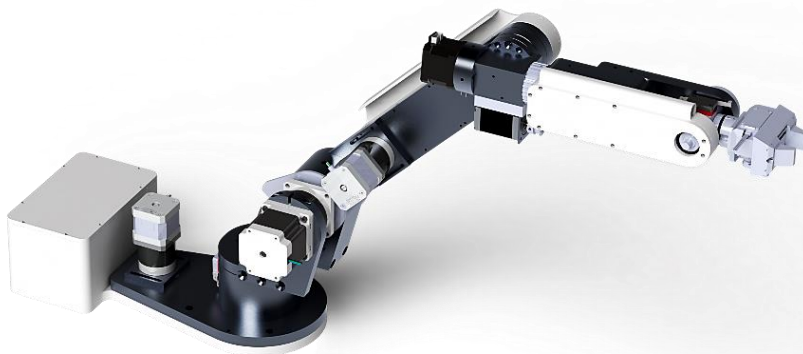


Рис. 1 – 3D модель робота-маніпулятора Annin Robotics AR3

Пряма задача кінематики маніпуляторів формулюється так: задана кінематична схема маніпулятора і в певний момент часу відомі значення узагальнених координат, що визначають положення всіх ланок маніпулятора одна відносно одної. Потрібно визначити положення і орієнтацію останньої ланки маніпулятора (захоплювача) у системі відліку, зв'язаної зі стояком. Геометричні розміри ланок вважаються заданими. Для розв’язання прямої задачі кінематики робота-маніпулятора моделі AR3 був застосований метод Денавіта-Хартенберга, в результаті

чого була отримана схема розташування спеціальних систем координат, пов'язаних із ланками маніпулятора (рис. 2).

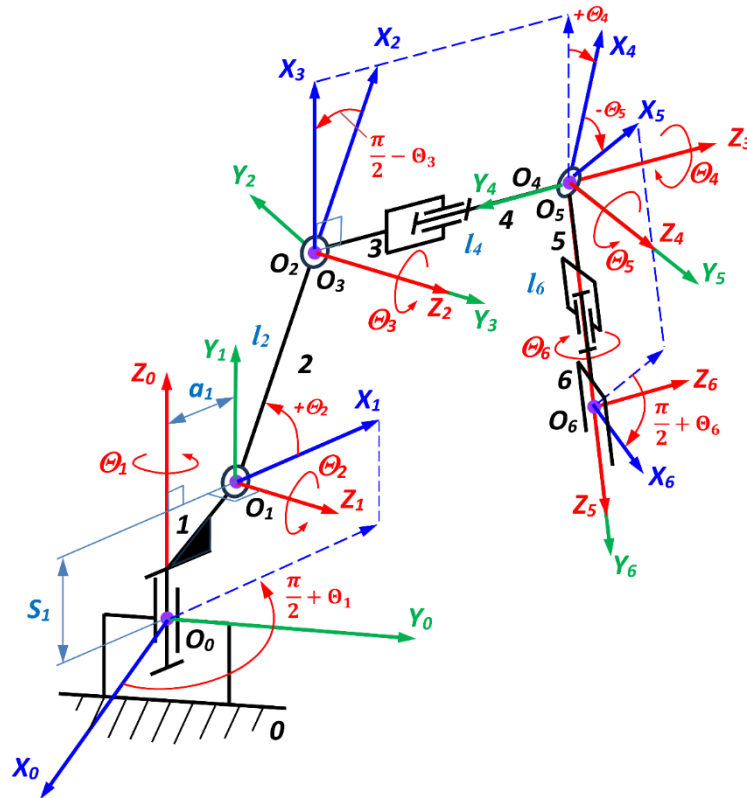


Рис. 2 – Кінематична схема робота-маніпулятора моделі AR3, що застосовується для розв'язання прямої задачі кінематики

В результаті застосування метода обчислені елементи матриці T_6 , які описують перехід від системи координат (x_6, y_6, z_6) , пов'язаної із захоплювальним пристроєм, до базової системи координат (x_0, y_0, z_0) :

$$T_6 = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Перші три елементи першого, другого і третього стовпців є напрямними косинусами відповідно осей x_6, y_6, z_6 у системі 0, а три елементи четвертого стовпця – це координати x_c, y_c, z_c центру захоплювача в тій же системі:

$$t_{11} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{i}_0}) = \cos \Theta_1 [\cos \Theta_4 \cos \Theta_6 + \sin \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] - \sin \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) [\sin \Theta_4 \cos \Theta_6 + \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] + \sin \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \sin \Theta_6; \quad (2)$$

$$t_{21} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{j}_0}) = \sin \Theta_1 [\cos \Theta_4 \cos \Theta_6 - \sin \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] + \cos \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) [\sin \Theta_4 \cos \Theta_6 + \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] - \cos \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \sin \Theta_6; \quad (3)$$



$$t_{31} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{k}_0}) = -\cos(\Theta_2 - \Theta_3) [\sin \Theta_4 \cos \Theta_6 + \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] - \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \sin \Theta_6; \quad (4)$$

$$t_{12} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{i}_0}) = -\sin \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_5 - \cos \Theta_1 \sin \Theta_4 \sin \Theta_5 - \sin \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4 \sin \Theta_5; \quad (5)$$

$$t_{22} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{j}_0}) = \cos \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4 \sin \Theta_5 + \cos \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_5 - \sin \Theta_1 \sin \Theta_4 \sin \Theta_5; \quad (6)$$

$$t_{32} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{k}_0}) = \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_5 - \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4 \sin \Theta_5; \quad (7)$$

$$t_{13} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{i}_0}) = \cos \Theta_1 [\cos \Theta_4 \sin \Theta_6 + \sin \Theta_4 \cos \Theta_5 \cos \Theta_6] - \sin \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) [\sin \Theta_4 \sin \Theta_6 - \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \sin \Theta_6] - \sin \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \cos \Theta_6; \quad (8)$$

$$t_{23} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{j}_0}) = \sin \Theta_1 [\cos \Theta_4 \sin \Theta_6 + \sin \Theta_4 \cos \Theta_5 \cos \Theta_6] + \cos \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) [\sin \Theta_4 \sin \Theta_6 - \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \cos \Theta_6] + \cos \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \cos \Theta_6; \quad (9)$$

$$t_{33} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{k}_0}) = \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \sin \Theta_5 \cos \Theta_6 - \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \times [\sin \Theta_4 \sin \Theta_6 - \cos \Theta_4 \cos \Theta_5 \cos \Theta_6]; \quad (10)$$

$$t_{14} = x_c = -\sin \Theta_1 (a_1 + l_2 \cos \Theta_2) - (l_4 + l_6 \cos \Theta_5) \sin \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) - l_6 \sin \Theta_5 [\cos \Theta_1 \sin \Theta_4 + \sin \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4]; \quad (11)$$

$$t_{24} = y_c = \cos \Theta_1 (a_1 + l_2 \cos \Theta_2) + (l_4 + l_6 \cos \Theta_5) \cos \Theta_1 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) - l_6 \sin \Theta_5 [\sin \Theta_1 \sin \Theta_4 - \cos \Theta_1 \sin(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4]; \quad (12)$$

$$t_{34} = z_c = s_1 + l_2 \sin \Theta_2 + (l_4 + l_6 \cos \Theta_5) \sin(\Theta_2 - \Theta_3) - l_6 \cos(\Theta_2 - \Theta_3) \cos \Theta_4 \sin \Theta_5. \quad (13)$$

ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКТИВНИХ ДАТЧИКІВ ДЛЯ НАВІГАЦІЇ РУХОМОГО РОБОТА У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

А. С. Голуб, Т. О. Постельник

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

Індуктивний датчик – це безконтактний пристрій, який використовується для виявлення металевих об'єктів або їх положення. На відміну від оптичних або ультразвукових, індуктивні датчики чутливі лише до металів. Саме тому їх