



Перелік посилань

1. Поліщук, М. М. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації [Текст] : підруч. / М. М. Поліщук, М. М. Ткач. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 301 с.
2. Поліщук, М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Текст] : навч. посіб. / М. М. Поліщук, М. М. Ткач. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 112 с.
3. Трет'як, А.В. Основи робототехніки [Текст] : навч. посіб. / А. В. Трет'як, А.М. Кльон. – Полтава, видавництво національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 135 с.
4. Воробйов, Ю. А. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів [Текст]: навч. посіб. / Ю. А. Воробйов, Ю. О. Сисоев. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.

ПРЯМА КІНЕМАТИКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ПІДЛОГОВОГО ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА НА ОСНОВІ КЛАСИЧНОЇ D-N ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ

А. С. Сорока, О. О. Баранов

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

Розв'язання прямої задачі кінематики для підлогових промислових роботів-маніпуляторів є надзвичайно важливим етапом у забезпеченні їхньої точності, ефективності та безпеки в автоматизованих виробничих процесах. Саме ця задача дозволяє визначити положення та орієнтацію виконавчого органу на основі заданих параметрів зчленувань, що є критично важливим для керування рухом, моделювання, симуляції та взаємодії з об'єктами в робочому середовищі. У підлогових маніпуляторів, які зазвичай виконують точні й повторювані операції, такі як збирання, пакування або обробка деталей, навіть незначні відхилення у визначенні координат кінцевого елемента можуть призвести до технологічних помилок або механічних збоїв. Крім того, правильне вирішення прямої кінематики є основою для побудови моделей зворотної кінематики, аналізу досяжності та оптимізації траєкторій руху. У контексті інтеграції роботів у гнучкі виробничі лінії та «розумні фабрики», точна кінематична модель сприяє створенню цифрових двійників, валідації програм керування та забезпеченню адаптивного налаштування в умовах зміни задач або компонування. Таким чином, аналітичне розв'язання прямої кінематики є не лише фундаментальним етапом у розробці роботизованої системи, а й ключовою умовою для її практичного впровадження в сучасному промисловому середовищі. Для розрахунку пропонується 5-координатний робот-маніпулятор, що може бути змонтований на монорельсі або зубчастій рейці та у майбутньому запланованого на роботу з навантаженням до 10 кг на дистанції до 10000 мм. Досліджена схема описує конструкцію підлогового промислового робота-маніпулятора з п'ятьма ступенями свободи. Робот включає два поступальних ступені свободи, що реалізують горизонтальне переміщення S_1 основи вздовж підлоги та вертикальне переміщення каретки S_2 . Наступні три

ступені свободи є обертальними: обертання Θ_3 забезпечує поворот важеля, обертання Θ_4 – зміну орієнтації горизонтальної ланки, і, нарешті, обертання Θ_5 відповідає позиціонуванню інструментального органу. Така конструкція є типовою для промислових роботів, які виконують точні маніпуляції у виробничому середовищі – наприклад, при збиранні, зварюванні або обробці деталей. Завдяки своїй модульній структурі та монтажу до підлоги, маніпулятор забезпечує жорсткість, надійність і точність у позиціонуванні кінцевого елемента, що є критично важливим у завданнях автоматизації.

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 був застосований метод Денавіта-Хартенберга, в результаті чого була отримана схема розташування спеціальних систем координат, пов'язаних із ланками маніпулятора (рис. 1).

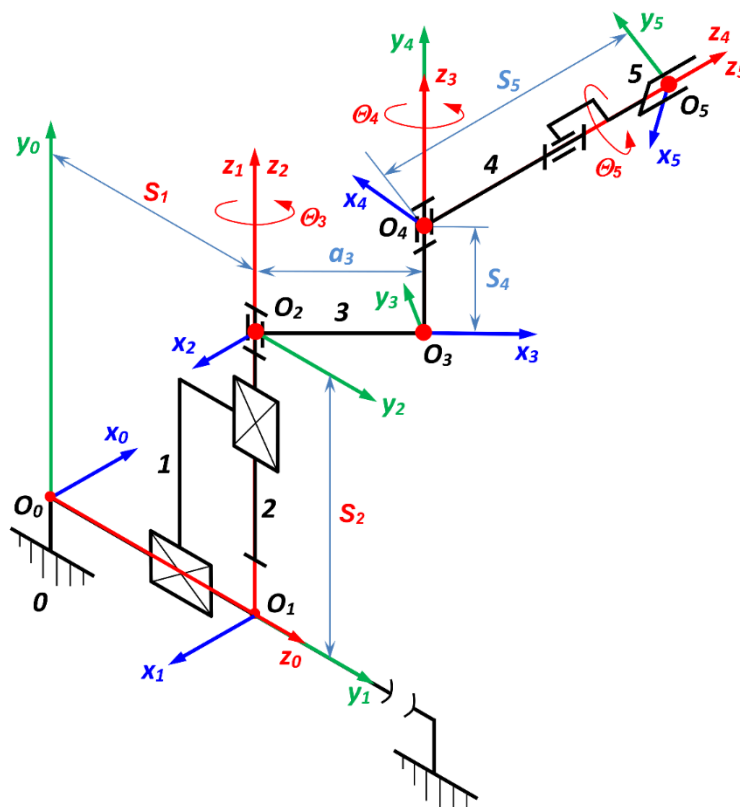


Рис. 1 – Кінематична схема підлогового робота-маніпулятора, що застосовується для розв'язання прямої задачі кінематики

В результаті застосування метода обчислені елементи матриці T_5 , які описують перехід від системи координат (x_5, y_5, z_5) , пов'язаної із захоплювальним пристроєм, до базової системи координат (x_0, y_0, z_0) :



$$T_5 = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Перші три елементи першого, другого і третього стовпців є напрямними косинусами відповідно осей x_5, y_5, z_5 у системі O , а три елементи четвертого стовпця – це координати x_c, y_c, z_c центру захоплювача в тій же системі:

$$\begin{aligned} t_{11} &= \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{i}_0}) = -\cos \Theta_5 (\cos \Theta_3 \cos \Theta_4 - \sin \Theta_3 \sin \Theta_4) \\ &= -\cos \Theta_5 \cos(\Theta_3 + \Theta_4); \end{aligned} \quad (2)$$

$$t_{21} = \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{j}_0}) = \sin \Theta_5; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} t_{31} &= \cos(\widehat{\vec{i}_n, \vec{k}_0}) = \cos \Theta_5 (\cos \Theta_3 \sin \Theta_4 + \cos \Theta_4 \sin \Theta_3) = \\ &= \cos \Theta_5 \sin(\Theta_3 + \Theta_4); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} t_{12} &= \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{i}_0}) = \sin \Theta_5 (\cos \Theta_3 \cos \Theta_4 - \sin \Theta_3 \sin \Theta_4) = \\ &= \sin \Theta_5 \cos(\Theta_3 + \Theta_4); \end{aligned} \quad (5)$$

$$t_{22} = \cos(\widehat{\vec{j}_n, \vec{j}_0}) = \cos \Theta_5; \quad (6)$$

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

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

$$t_{23} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{j}_0}) = 0; \quad (9)$$

$$t_{33} = \cos(\widehat{\vec{k}_n, \vec{k}_0}) = \sin \Theta_3 \sin \Theta_4 - \cos \Theta_3 \cos \Theta_4 = -\cos(\Theta_3 + \Theta_4); \quad (10)$$

$$\begin{aligned} t_{14} &= x_c = -s_5(\cos \Theta_3 \sin \Theta_4 + \cos \Theta_4 \sin \Theta_3) - a_3 \cos \Theta_3 = \\ &= -s_5 \sin(\Theta_3 + \Theta_4) - a_3 \cos(\Theta_3); \end{aligned} \quad (11)$$

$$t_{24} = y_c = s_2 + s_4; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} t_{34} &= z_c = s_1 - s_5(\cos \Theta_3 \cos \Theta_4 - \sin \Theta_3 \sin \Theta_4) + a_3 \sin \Theta_3 = \\ &= s_1 - s_5 \cos(\Theta_3 + \Theta_4) + a_3 \sin(\Theta_3). \end{aligned} \quad (13)$$