

УДК 621.865.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ СХВАТА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Зеленёв А.Ю., Киселева И.В.

Донецкий национальный технический университет

Кафедра «Мехатронные системы металлообрабатывающего оборудования»

E-mail: zelenev@telenet.dn.ua

Аннотация

Зеленёв А.Ю., Киселева И.В. Определение координат схвата робота-манипулятора. Предложен способ определения координат для точного позиционирования звеньев промышленного робота-манипулятора при помощи решения обратной задачи кинематики. Произведён расчёт и получены требуемые данные для дальнейшей автоматизации процесса.

Общая постановка проблемы

Промышленные роботы (ПР) и построенные на их основе роботизированные комплексы (РТК) являются перспективным средством комплексной автоматизации производственных процессов. ПР могут перемещать объект манипулирования по сложным пространственным траекториям с высокой скоростью и точностью позиционирования [1,2].

В машиностроении роботы широко применяются в автоматизированном производстве для загрузки заготовок на металлообрабатывающие станки. От того, насколько точно робот подаст заготовку в рабочую зону станка, зависит возможность ее точного базирования и закрепления в приспособлении. Неправильная установка заготовки на станок может привести к браку изготавливаемой детали, повреждению оборудования, выходу его из строя и остановке производственного процесса в случае использования станка в составе автоматической линии.

Решение задач кинематики при проектировании позволяет исследовать влияние конструктивных параметров робота на процесс движения [1]. При управлении результаты таких решений позволяют построить быстродействующие алгоритмы управления. Кроме того, кинематические расчеты необходимы при проектировании системы управления робота, так как на их основе строится модель робота как объекта управления. Сложность задачи о положениях связана с ее нелинейностью, поэтому точные решения не всегда возможны. Однако особенность исполнительных механизмов промышленных роботов, состоящая в том, что оси соседних кинематических пар перпендикулярны или параллельны между собой, позволяет получать в таких случаях явное решение. Наиболее часто такие задачи решаются с применением матричного исчисления.

Обзор существующих методов решения

Для повышения точности позиционирования исполнительного органа ПР решают прямую и обратную задачи кинематики.

Прямая задача кинематики формулируется так: задана кинематическая схема манипулятора и в некоторый момент времени известны значения обобщённых координат, определяющие положение всех звеньев манипулятора друг относительно друга. Требуется определить положение и ориентацию схвата в системе координат, связанной с его основанием при известных геометрических размерах звеньев [1, 3].

Обратная задача кинематики состоит в следующем: при заданной кинематической схеме манипулятора и известным положениям и ориентации схвата в неподвижной системе

координат, связанной с его основанием, необходимо определить значения обобщенных координат, которые обеспечат заданное положение схвата в подвижной системе координат.

Таким образом, решение прямой задачи определяет, где будет находиться рабочий орган манипулятора при заданных углах поворота его звеньев; а обратная задача, наоборот, определяет, как нужно «вывернуться» манипулятору, чтобы его рабочий орган оказался в заданном положении. Очевидно, что более распространенной и важной является именно обратная задача кинематики, т.к. исходными данными к проектированию являются координаты конечного звена ПР. И именно эта задача решается при проектировании и программировании промышленных роботов.

Решение обратной задачи кинематики

Целью данной работы явился кинематический расчет робота (рис.1) используемого в ГПС для загрузки деталей на токарный многооперационный станок.

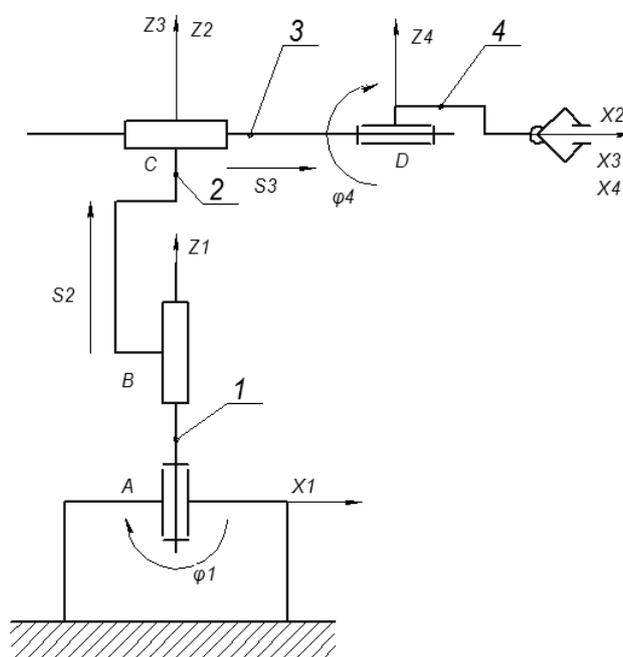


Рисунок 1 - Кинематическая схема робота-манипулятора

Манипулятор состоит из последовательности твердых тел (или звеньев), первое из которых соединено с опорной стойкой, а последнее снабжено рабочим органом, предназначенным для захвата заготовки. Каждое звено соединено не более чем с двумя другими так, чтобы не образовывалось замкнутых цепей. Соединение двух звеньев – сочленение – имеет только одну степень свободы. С учетом этого ограничения интерес представляют два типа сочленений: вращательное и поступательное. Вращательное сочленение допускает только вращение вокруг некоторой оси; поступательное сочленение обеспечивает поступательное движение вдоль некоторой оси при отсутствии вращения (поступательное движение с вращением имеет место в винтовых сочленениях). Звенья манипулятора участвуют в относительном движении, в результате которого достигается определенное положение и ориентация схвата или инструмента [2].

Исследуемый манипулятор (рис. 1) имеет конструкцию с четырьмя степенями свободы и содержит две поступательные и две вращательные пары. Структура робота-манипулятора записывается в виде $B \parallel P \perp P \parallel B$. Далее рассматривается задача об определении относительных положений звеньев механизма при известном положении

захватного устройства. Со звеном 1 свяжем систему координат $Ax_1y_1z_1$ направив ось z_1 по оси вращательной пары A, а ось x_1 параллельно оси звена 3. Со звеном 2 свяжем систему координат $Cx_2y_2z_2$, оси которой параллельны соответствующим осям x_1 и z_1 , причём ось z_2 проходит через ось пары D. Со звеном 3 свяжем систему координат $Dx_3y_3z_3$, ось x_3 совпадает с осью x_2 , а ось z_3 параллельна z_4 . Со звеном 4 свяжем систему координат $Dx_4y_4z_4$, ось x_4 совпадает с осью x_3 .

Данные системы координат расположены относительно друг друга следующим образом. Система $Ax_1y_1z_1$ повернута относительно оси z системы $Axyz$ на угол φ_1 . Система $Cx_2y_2z_2$ смещена по оси x_1 системы $Ax_1y_1z_1$ на величину S_2 . Система координат $Dx_3y_3z_3$ смещена по оси x_2 системы $Cx_2y_2z_2$ на величину S_3 . Система $Dx_4y_4z_4$ повернута относительно оси x_3 системы $Dx_3y_3z_3$ на угол φ_4 .

Составим матрицы, соответствующие преобразованию координат между соседними системами.

$$M_{01} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_4 & \sin \varphi_4 & 0 \\ 0 & \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где: M_{ij} – матрица перехода от системы координат i к системе j ;

φ_1, φ_4 – угол поворота звеньев манипулятора относительно соответствующей оси;

S_2, S_3 – линейное перемещение звеньев робота.

Запишем матричное уравнение преобразования координат от системы $Dx_3y_3z_3$ к системе $Axyz$ двумя способами. Первый способ заключается в переходе последовательно от $Dx_3y_3z_3$ к $Cx_2y_2z_2$, $Ax_1y_1z_1$, $Axyz$. Матричное уравнение:

$$[xyz]^T = M_{01} * M_{12} * M_{23} [x_4y_4z_4]^T \quad (2)$$

Второй способ подразумевает переход от системы $Dx_3y_3z_3$ сначала к $Dx_4y_4z_4$, а затем к $Axyz$. Матричное уравнение:

$$[xyz]^T = M_{04} * M_{43} [x_4y_4z_4]^T. \quad (3)$$

где матрица M_{04} – матрица перехода от системы $x_4y_4z_4$ к системе $x_1y_1z_1$. Так как положение схвата относительно неподвижной системы координат считается заданным, то элементы этой матрицы известны:

$$M_{04} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_2 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Приравняв левые и правые части уравнений (2) и (3), получим: матрица $M_{43} = M_{34}^T$;

$$M_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_4 & -\sin \varphi_4 & 0 \\ 0 & \sin \varphi_4 & \cos \varphi_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Подставляя значения матриц, перемножая их, и приравнивая соответствующие элементы в левой и правой частях, найдём:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \cdot \cos \varphi_4 & \alpha_{12} \cdot \sin \varphi_4 & \alpha_1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \cdot \cos \varphi_4 - \alpha_{23} \cdot \sin \varphi_4 & \alpha_{22} \cdot \sin \varphi_4 + \alpha_{23} \cdot \cos \varphi_4 & \alpha_2 \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} \cdot \cos \varphi_4 - \alpha_{33} \cdot \sin \varphi_4 & \alpha_{32} \cdot \sin \varphi_4 + \alpha_{33} \cdot \cos \varphi_4 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & \cos \varphi_1 \cdot S_3 \\ \sin \varphi_1 & 0 & 0 & \sin \varphi_1 \cdot S_3 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \cos \varphi_1; & \alpha_{12} \cdot \cos \varphi_4 &= -\sin \varphi_1; & \alpha_{12} \cdot \sin \varphi_4 &= 0; & \alpha_1 &= \cos \varphi_1 \cdot S_3; \\ \alpha_{21} &= \sin \varphi_1; & \alpha_{22} \cdot \cos \varphi_4 - \alpha_{23} \cdot \sin \varphi_4 &= 0; & \alpha_{22} \cdot \sin \varphi_4 + \alpha_{23} \cdot \cos \varphi_4 &= 0; & \alpha_2 &= \sin \varphi_1 \cdot S_3; \\ \alpha_{31} &= 0; & \alpha_{32} \cdot \cos \varphi_4 - \alpha_{33} \cdot \sin \varphi_4 &= 0; & \alpha_{32} \cdot \sin \varphi_4 + \alpha_{33} \cdot \cos \varphi_4 &= 1; & \alpha_3 &= S_2, \end{aligned}$$

где $S_1 = 1500$ мм; $S_2 = 0$; $S_3 = 1500$ мм.

$$\alpha_1 = \cos \varphi_1 \cdot S_3, \text{ отсюда } S_3 = \frac{\alpha_1}{\cos \varphi_1} = 2142,9 \text{ мм};$$

$$\alpha_3 = S_2, \text{ отсюда } S_2 = 1500 \text{ мм};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}; \sin \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}; \varphi_1 = 45^\circ;$$

$$\cos \varphi_4 = -\frac{\alpha_{12}}{\sin \varphi_1} = -\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}}\right) = -1; \varphi_4 = 180^\circ;$$

$$\alpha_{12} \cdot \sin \varphi_4 = 0; \sin \varphi_4 = 0; \varphi_4 = 0^\circ \text{ или } \varphi_4 = 180^\circ.$$

Полученные выражения решают задачу определения обобщённых координат робота-манипулятора по известному положению конечного звена. Так как данный механизм имеет пять степеней свободы, то на его конечное звено наложено только одно условие связи.

Вывод

В статье рассмотрен метод решения обратной задачи кинематики для предложенного робота манипулятора. В результате проведённых расчётов найдены координаты звеньев манипулятора относительно неподвижной системы координат, что позволит реализовывать точное позиционирование конечного звена – схвата робота. Дальнейшие исследования связаны с выбором способа реализации представленной модели и анализом её адекватности. Реализация возможна как при помощи микроконтроллера, так и в виде управляющего автомата в базе современных ПЛИС.

Список литературы

1. Воробьёв Е.И. «Механика промышленных роботов. Том 1», издательство «Высшая школа», 1988.
2. Козырев Ю.Г. «Промышленные роботы», Машиностроение, 1988.
3. Бурдаков С.Ф. «Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов», издательство «Высшая школа», 1986.