

УДК 621.38

И.А. Фадеев (6 курс, каф. САУ), А.Л. Логинов, к.т.н., доц.

## УПРАВЛЕНИЕ ШЕСТИКООРДИНАТНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

Для манипулятора с шестью степенями подвижности (рис.1) необходимо разработать алгоритм управления с получением целеуказаний как от многостепенной рукоятки (задание скорости в ручном режиме), так и от ЭВМ (автоматический режим формирования траектории). Дополнительно необходимо обеспечить поддержание ориентации схвата в указанном направлении.

При решении этих задач требуется

решить обратную задачу кинематики (ОЗК). Известно несколько способов решения ОЗК. Первый способ – это решение уравнений прямой задачи кинематики (ПКЗ) относительно обобщённых координат (очень трудоёмкий). Второй способ – графический: обобщённые координаты находятся из геометрических фигур (треугольников), и формул их описывающих (теорема косинусов). Третий способ – нахождение обобщённых координат численным методом с помощью вариационного исчисления. При сравнении методов для реализации более пригодны последние два. Второй метод хорош для решения траекторных задач, но для работы в ручном режиме достаточно трудоёмок, так как задание поступает в виде скорости. Третий метод удовлетворяет обеим поставленным задачам. По объёму вычислений второй метод приближен к третьему, но количество вычислений тригонометрических функций в нём больше.

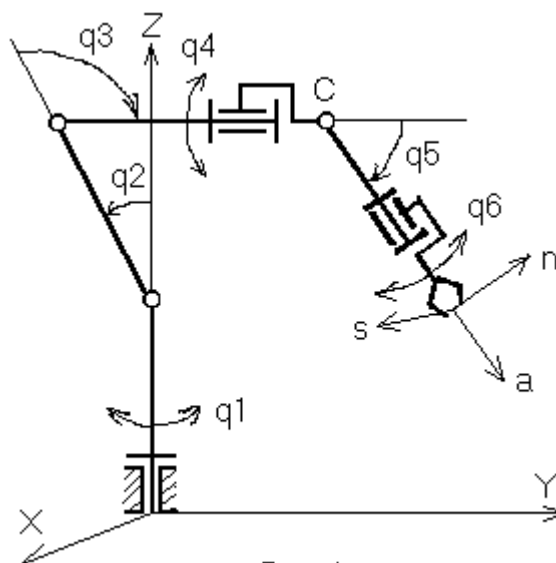


Рис. 1.

Пусть кинематическая схема имеет вид представленный на рис. 1. Тогда координаты точки С будут иметь вид:

$$\begin{aligned} X &= -L2 \cdot \sin(q1) \cdot \sin(q2) - L3 \cdot \sin(q1) \cdot \sin(q2 + q3), \\ Y &= L2 \cdot \cos(q1) \cdot \sin(q2) + L3 \cdot \cos(q1) \cdot \sin(q2 + q3), \\ Z &= L1 + L2 \cdot \cos(q2) + L3 \cdot \cos(q2 + q3). \end{aligned} \quad (1)$$

Дифференцируя уравнения (1), получаем:

$$\begin{aligned} X' &= (-L2 \cdot c q_1 \cdot s q_2 - L3 \cdot c q_1 \cdot s(q2 + q3)) \cdot q_1' - (L2 \cdot s q_1 \cdot c q_2 + L3 \cdot s q_1 \cdot c(q2 + q3)) \cdot q_2' - (L3 \cdot s q_1 \cdot c(q2 + q3)) \cdot q_3', \\ Y' &= (-L2 \cdot s q_1 \cdot s q_2 - L3 \cdot s q_1 \cdot s(q2 + q3)) \cdot q_1' + (L2 \cdot c q_1 \cdot c q_2 + L3 \cdot c q_1 \cdot c(q2 + q3)) \cdot q_2' + (L3 \cdot c q_1 \cdot c(q2 + q3)) \cdot q_3', \\ Z' &= 0 \cdot q_1' + (-L2 \cdot s q_2 - L3 \cdot s(q2 + q3)) \cdot q_2' + (-L3 \cdot s(q2 + q3)) \cdot q_3', \end{aligned}$$

где  $s q_i = \sin(q_i)$ ,  $c q_i = \cos(q_i)$ .

Из этих уравнений получаем:  $X' = \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot q_i'$ ,  $Y' = \sum_{i=1}^3 \beta_i \cdot q_i'$ ,  $Z' = \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot q_i'$ . Решим систему

уравнений относительно  $q_i'$ . В результате получим изменение обобщённых координат через скорости перемещения по осям. Для решения траекторных задач траектория разбивается на множество точек с интервалом квантования  $T$ . Тогда получаются следующие значения скоростей:  $X' = (X_n - X_{n-1})/T$ ,  $Y' = (Y_n - Y_{n-1})/T$ ,  $Z' = (Z_n - Z_{n-1})/T$ .

При наличии датчиков положения в качестве (n-1) значений используются не расчётные, а измеренные значения.

На рис. 1 кроме координат определяющих положение показаны координаты характеризующие ориентацию схвата в пространстве. При работе манипулятора возможны перемещения с постоянной ориентацией схвата, с вращением схвата вокруг координатных осей, с поддержанием ориентацией схвата в одну точку и т. д.

Рассмотрим движение схвата с поддержанием ориентации. Пусть ориентация схвата определяется проекциями единичных векторов трёхгранника (a, n, s) на оси координат OX, OY, OZ. Для определения ориентации схвата достаточно трёх из девяти проекций (остальные можно легко вычислить). Ниже приведены формулы, описывающие значения этих проекций:

$$a_x = c(q1) \cdot s(q4) \cdot s(q5) + s(q1) \cdot c(q2 + q3) \cdot c(q4) \cdot s(q5) + s(q1) \cdot s(q2 + q3) \cdot c(q5),$$

$$a_z = -s(q2 + q3) \cdot c(q4) \cdot s(q5) + c(q2 + q3) \cdot c(q5),$$

$$n_z = -s(q2 + q3) \cdot s(q4) \cdot s(q6) + c(q6) \cdot (s(q2 + q3) \cdot c(q4) \cdot c(q5) + c(q2 + q3) \cdot s(q5)).$$

Дифференцируем уравнения и приводим их к виду:

$$a_x' = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot q_i', \quad a_z' = \sum_{i=1}^6 \beta_i \cdot q_i', \quad n_z' = \sum_{i=1}^6 \gamma_i \cdot q_i'.$$

Так как ориентация схвата должна быть постоянной, то:  $a_x' = 0$ ,  $a_z' = 0$ ,  $n_z' = 0$ . При подстановке известных  $q_1'$ ,  $q_2'$ ,  $q_3'$  получается система уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} \alpha_4 \cdot q_4' + \alpha_5 \cdot q_5' + \alpha_6 \cdot q_6' = -\alpha_1 \cdot q_1' - \alpha_2 \cdot q_2' - \alpha_3 \cdot q_3' \\ \beta_4 \cdot q_4' + \beta_5 \cdot q_5' + \beta_6 \cdot q_6' = -\beta_1 \cdot q_1' - \beta_2 \cdot q_2' - \beta_3 \cdot q_3' \\ \gamma_4 \cdot q_4' + \gamma_5 \cdot q_5' + \gamma_6 \cdot q_6' = -\gamma_1 \cdot q_1' - \gamma_2 \cdot q_2' - \gamma_3 \cdot q_3' \end{cases}$$

Решая эту систему, мы находим приращения по ориентирующим координатам схвата на одном шаге квантования:  $q_4'$ ,  $q_5'$ ,  $q_6'$ .

Для численного решения всех перечисленных выше уравнений в реальном времени необходимо иметь достаточно мощную вычислительную базу. В качестве этой базы выбран микроконтроллер фирмы "Siemens" C167. Программа написана на языке Си. В работе представлены базовые алгоритмы управления. Основной нагрузкой процессора является вычисление функций sin и cos, время вычисления которых менее 2мс. Соответственно вычисление шести значений sin и cos займёт 12 мс. Остальные операции вполне укладываются в 8 мс.

Таким образом, суммарное время решения задачи будет составлять менее 20 мс. Для решения траекторных задач с обеспечением достаточно большой скорости перемещения схвата и точностью воспроизведения кривой такое время вычисления неприемлемо. Целесообразно применить платы контроллера MF167, включающие в себя микроконтроллер C167 и математический сопроцессор. Вычисление sin или cos занимает здесь 700 нс. Весь период вычисления займёт не более 1 мс.

В работе представлены математические модели манипулятора, выполненные в пакетах "Mathcad" и "Matlab". Рассмотрены задачи по поддержанию ориентации схвата параллельно осям координат, в направлении определённой точки и т.д. Проведено тестирование разработанной программы на микроконтроллере C167. В настоящее время проводятся исследования на платах контроллера MF167.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вертю Ж., Куафе Ф. Телеуправление роботами с помощью ЭВМ: Пер. с франц. – М.: Мир, 1989.
2. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 527 с.
3. Промышленные роботы. Научно-технический сборник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979. – 143 с.