



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

## **СБОРНИК ЗАДАЧ** по дисциплине

# **«Управление роботами и робототехническими системами»**

Автор

Логвинов В.И.

Ростов-на-Дону, 2015



## Аннотация

Изложены цели лабораторной работы по определению законов движения звеньев и схвата манипулятора при позиционном управлении и краткие сведения, необходимые студентам для ее выполнения.

## Автор

к.т.н., доцент  
Логвинов В.И.





## Оглавление

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Цель работы: .....        | 4 |
| Задачи работы: .....      | 4 |
| Основные сведения .....   | 4 |
| Порядок выполнения .....  | 5 |
| Требования к отчету ..... | 8 |
| Контрольные вопросы ..... | 8 |
| Литература .....          | 8 |
| Варианты заданий .....    | 9 |

### Цель работы:

- **изучение методов** планирования траекторий звеньев манипулятора и схвата при позиционном управлении.

### Задачи работы:

- спланировать траектории звеньев манипулятора в пространстве обобщенных координат  $q_i(t)$  ( $i=1, \dots, n$ );

- определить траекторию движения схвата и его ориентацию в пространстве при его движении от начальной точки к конечной.

### Основные сведения

Позиционное управление обеспечивает движение схвата от одной фиксированной точки к другой с остановкой в каждой точке. Поэтому с теоретической точки зрения достаточно рассмотреть движение между двумя соседними точками, которые можно назвать: одну начальной, в которой схват находится в данное время, другую – конечной, куда схват должен переместиться. При позиционном управлении таких точек обычно более двух: 3, 4, ... N.

Будем считать, что для решения прямой задачи при позиционном управлении известны координаты начальной и конечной точек схвата в неподвижной системе координат, связанной с неподвижным (0-м) звеном манипулятора (Рисунок 1):

$$M_1 = X_{OM1}, Y_{OM1}, Z_{OM1};$$

$$M_2 = X_{OM2}, Y_{OM2}, Z_{OM2}.$$

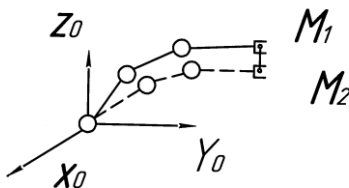


Рисунок1 - Координаты начальной и конечной точек схвата

Считаем также, что известны значения обобщенных координат, соответствующие начальному и конечному положениям схвата:

$$\bar{q}_H = (q_{1H}, q_{2H}, q_{3H} \dots \dots q_{nH});$$

$$\bar{q}_K = (q_{1K}, q_{2K}, q_{3K} \dots \dots q_{nK}).$$

Выбираем закон движения звена - прямоугольное ускорение. Время перемещения из точки  $M_1$  в точку  $M_2$  -  $T$ , с [1].

### Порядок выполнения

1. Для заданных значений обобщенных координат определяем координаты точек  $M_1$  и  $M_2$  в базовой системе координат. Для этого используем метод Денавита - Хартенберга (Д-Х)[1].

2. Для закона движения звена - прямоугольное ускорение (Рисунок 2) задаем длительности интервалов разгона, торможения и движения с постоянной скоростью:

$$t_{Pi} + t_{Pi} + t_{Ti} = T,$$

где  $T$  - время премещения из  $M_1$  в  $M_2$ . Например,  $t_{Pi} = t_{Pi} = t_{Ti} = 1/3 T$  или  $t_{Pi} = t_{Ti} = 0,5 T$ .

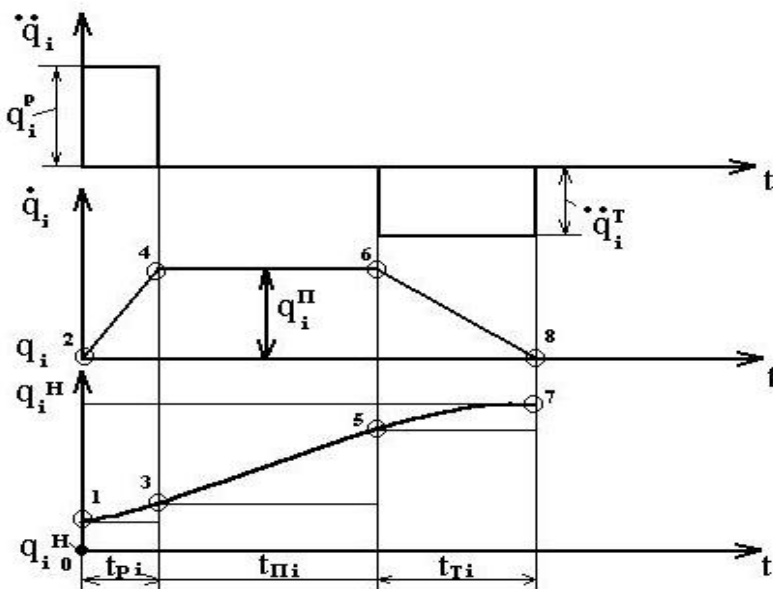


Рисунок 2 -Закон движения звена - прямоугольное ускорение

Можно принять , что все перемещения звеньев относительно

друг друга происходят одновременно и равны по времени  $T$ . То есть,  $T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n = T$ . Если принять, что перемещения звеньев осуществляются поочередно, тогда  $T_i = T/n$ .

3. Определяем величины ускорений  $\ddot{q}_i^P$ , при которых звенья за заданное время  $T$  перемещаются из начальной точки в конечную при прямоугольном законе ускорения:

$$\ddot{q}_i^P = (q_i^k - q_i^H) / [(0,5 t_{pi} + t_{ni} + 0,5 t_{Ti}) \cdot 0,5 t_{pi}].$$

Ускорение на участке торможения

$$\ddot{q}_i^T = \ddot{q}_i^P t_{pi} / t_{Ti}, \text{ если } t_{pi} = t_{Ti}, \text{ то } \ddot{q}_i^T = \ddot{q}_i^P.$$

4. Далее определяем обобщенные скорости  $\dot{q}_i$  и обобщенные координаты  $i$ -го звена в любой момент времени:

- участок разгона ( $0 \leq t \leq t_{pi}$ ):

$$\dot{q}_i = \ddot{q}_i^P t; \quad q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^P t^2;$$

- участок движения с постоянной обобщенной скоростью ( $t_{pi} < t \leq t_{pi} + t_{ni}$ ):

$$\dot{q}_i = \ddot{q}_i^P t_{pi} = const;$$

$$q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^P t_{pi}^2 + \ddot{q}_i^P t_{pi} (t - t_{pi});$$

- участок торможения ( $t_{pi} + t_{ni} < t \leq T$ ):

$$\dot{q}_i = \ddot{q}_i^P t_{pi} - \ddot{q}_i^T (t - t_{pi} - t_{ni});$$

$$q_i = q_i^H + 0,5 \ddot{q}_i^P t_{pi}^2 + \ddot{q}_i^P t_{pi} t_{ni} + \ddot{q}_i^P t_{pi} (t - t_{pi} - t_{ni}) - 0,5 \ddot{q}_i^T (t - t_{pi} - t_{ni})^2.$$

Таким образом, нами получены зависимости  $q_i = q_i(t)$  при  $0 \leq t \leq T$  ( $i=1, \dots, n$ ).

4. Определяем траекторию движения схвата и его ориентацию в пространстве при его движении от начальной точки к конечной.

Эту задачу решаем с использованием зависимостей  $T_0^n = M_1^0 \cdot M_2^1 \cdot M_3^2 \cdot \dots \cdot M_n^{n-1}$  и

## Управление роботами и робототехническими системами

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = M_1^0 \cdot M_2^1 \cdot M_3^2 \cdot \dots \cdot M_n^{n-1},$$

с учетом того, в каждой матрице  $M_{i-1,i}$  элементы являются функциями одной обобщенной координаты  $q_i$ :

$$q_i(t) = \begin{cases} \Theta_i(t), & \text{если пара вращательная;} \\ S_i(t), & \text{если пара поступательная.} \end{cases}$$

Перепишем выражение  $T_0^n = M_1^0 \cdot M_2^1 \cdot M_3^2 \cdot \dots \cdot M_n^{n-1}$  в виде  $T_0^n(q_1, \dots, q_n; t) = M_1^0[q_1(t)] \cdot M_2^1[q_2(t)] \cdot \dots \cdot M_n^{n-1}[q_n(t)]$ ,

из которого можно определить значения 6 наддиагональных элементов:

$$\begin{bmatrix} - & m_{12}(t) & m_{13}(t) & m_{14}(t) \\ - & m_{23}(t) & m_{24}(t) & \\ - & - & - & m_{34}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = M_1^0[q_1(t)] \cdot M_2^1[q_2(t)] \cdot \dots \cdot M_n^{n-1}[q_n(t)].$$

В этом выражении элементы  $m_{14}(t)$ ,  $m_{24}(t)$ ,  $m_{34}(t)$  определяют траекторию схвата в базовой системе координат  $X_0^{cx}(t); Y_0^{cx}(t); Z_0^{cx}(t)$ , а элементы  $m_{12}(t)$ ;  $m_{13}(t)$ ;  $m_{23}(t)$  - ориентацию схвата.

Каждый из наддиагональных элементов есть также функция обобщенных координат и времени, то есть,  $m_{k,l} = m_{k,l}(q_1, \dots, q_n; t)$ ,  $(k=1,2,3; l=2,3,4)$ .

Таким образом, решение 2-й задачи (определение траектории движения схвата и его ориентации в пространстве) есть решение основной прямой задачи кинематики манипулятора и она решается по изложенному ранее алгоритму при известных, как результат выполнения 1-й подзадачи (планирование траекторий звеньев в пространстве обобщенных координат  $q_i = q_i(t)$ ;  $0 \leq t \leq T$ ).

## Управление роботами и робототехническими системами

Далее разбиваем интервал времени  $T$  на 10 участков и строим зависимости

$X_0^{cx}(t); Y_0^{cx}(t); Z_0^{cx}(t)$  и графики  $q_i(t); \dot{q}_i(t); \ddot{q}_i(t)$  для одного из звеньев.

### Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Название лабораторной работы, Ф.И.О. студента, номер группы и номер задания
2. Цели и задачи работы
3. Исходные данные
4. Основные сведения о методах решения: Д-Х; планирование траекторий звеньев в пространстве обобщенных координат; определение траектории движения схвата и его ориентации в пространстве.
5. Последовательность и результаты расчетов
6. Графики  $X_0^{cx}(t); Y_0^{cx}(t); Z_0^{cx}(t)$  и графики  $q_i(t); \dot{q}_i(t); \ddot{q}_i(t)$  для одного из звеньев по указанию преподавателя.
7. Выводы

### Контрольные вопросы

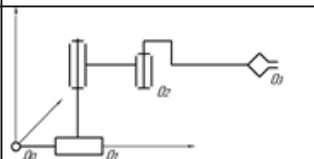
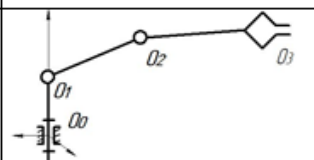
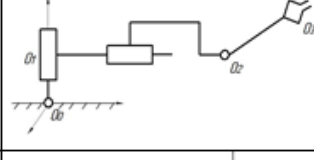
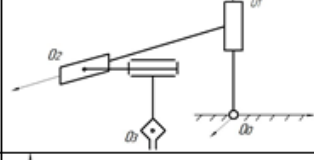
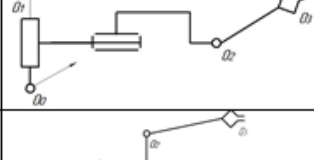
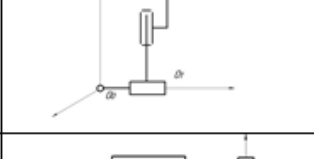
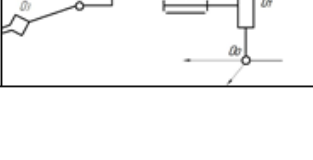
1. Какое управление манипулятором называется позиционным?
2. Каким методом решается прямая задача кинематики?
4. Какие значения интервалов разгона, торможения и движения вы приняли в работе?
5. Основные особенности прямоугольного закона движения звена?

### Литература

1. Хомченко В.Г., Соломин В.Ю. Мехатронные и робототехнические системы: Учеб. пособие. - Омск.: Изд-во ОмГТУ, 2008.



### Варианты заданий

| Вариант | Схема   | Параметры |            |            |            |          |            |        |
|---------|---|-----------|------------|------------|------------|----------|------------|--------|
|         |   | $Q_{1H}$  | $Q_{2H}$   | $Q_{3H}$   | $Q_{1k}$   | $Q_{2k}$ | $Q_{3k}$   | $T, C$ |
| 1       |    | 1,0 м     | 60°        | <u>45°</u> | 1,5 м      | 90°      | <u>60°</u> | 60     |
| 2       |    | 30°       | 45°        | <u>60°</u> | <u>45°</u> | 90°      | 90°        | 45     |
| 3       |    | 0,8 м     | 0,5 м      | <u>45°</u> | 1,2 м      | 0,2 м    | 90°        | 50     |
| 4       |    | 1,0 м     | 0,6 м      | 30°        | 1,5 м      | 1,0 м    | <u>60°</u> | 40     |
| 5       |   | 0,9 м     | 30°        | <u>45°</u> | 1,4 м      | 90°      | 90°        | 45     |
| 6       |  | 1,0 м     | <u>45°</u> | <u>60°</u> | 1,4 м      | 90°      | 90°        | 50     |
| 7       |  | 1,2 м     | 30°        | <u>45°</u> | 1,5 м      | 75°      | <u>90°</u> | 40     |

|    |  |             |       |             |             |             |             |    |
|----|--|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| 8  |  | <u>60 °</u> | 30 °  | 1,0 м       | <u>90 °</u> | <u>60 °</u> | 1,5 м       | 50 |
| 9  |  | 1,2 м       | 0,8 м | <u>45 °</u> | 1,5 м       | 1,0 м       | <u>90 °</u> | 45 |
| 10 |  | <u>45 °</u> | 1,1 м | 0,5 м       | <u>90 °</u> | 1,5 м       | 0,8 м       | 40 |
| 11 |  | 60°         | 0,8 м | 0,6 м       | <u>90 °</u> | 1,2 м       | 1,1 м       | 55 |
| 12 |  | 1,3 м       | 0,8   | 0,9         | 1,6         | 1,2         | 1,4         | 30 |

**Размеры звеньев принять по 1 м**