УДК 621.865.8

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОМ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

В.А. Смирнов, В.Б. Федоров

Приведен алгоритм управления механизмом с параллельной кинематической структурой, имеющим три степени свободы, обеспечивающий перемещение рабочего органа по заданной траектории. Представлены результаты математического моделирования.

Управление механизмом с параллельной кинематической структурой (рис. 1), математическая модель которого представлена в работе [1], имеет свои особенности. Так как в общем случае перемещение инструмента, закрепленного на фланце манипулятора, по заданной траектории осуществляется за счет одновременного изменения длин всех трех штанг, то при работе этого механизма в каждый момент времени должна выдерживаться согласованность скоростей двигателей, изменяющих длины штанг механизма. Нарушение согласованности между скоростями приведет к отклонению траектории движения инструмента от заданной.

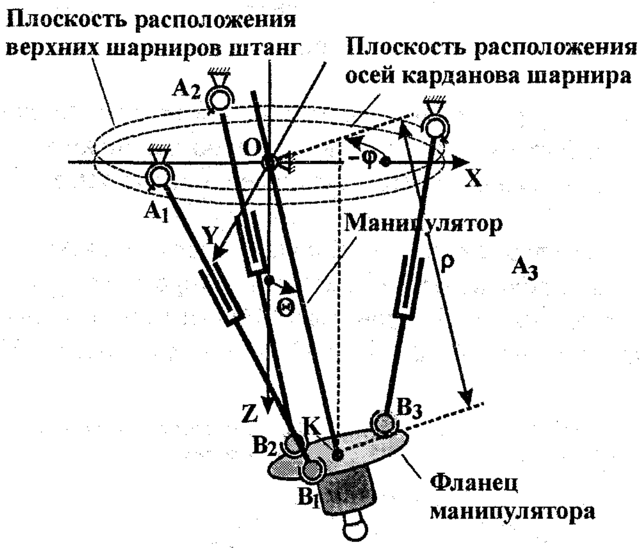

Рис. 1

Пусть необходимо осуществить перемещение некоторой характерной точки механизма из исходного состояния, описываемого координатами $(x_И, y_И, z_И)$, в требуемое состояние с координатами $(x_{ТР}, y_{ТР}, z_{ТР})$ за время $t_{ТР}$ по заданной траектории. В качестве характерной выберем точку K центра фланца манипулятора. На рис. 2 для примера показана некоторая траектория, при отработке которой изменяются только координаты x и y точки K.

При работе механизма заданная траектория должна разбиваться на участки, характер движения на которых описывается простыми зависимостями. В наиболее простом случае на участках могут быть реализованы линейные зависимости координат от некоторого параметра, в качестве которого может выступать время. Данная замена заданной траектории отрезками называется линейной интерполяцией траектории [2].

Применительно к управлению рассматриваемым механизмом в общем случае должна решаться задача трехмерной интерполяции траектории. В ходе решения этой задачи получается информация о координатах $(x_{H_i}, y_{H_i}, z_{H_i})$ начальной и $(x_{K_i}, y_{K_i}, z_{K_i})$ конечной точек i-го линейного участка траектории, а также его длительности t_i. На каждом линейном участке координаты должны изменяться в соответствие со следующими выражениями:

$$x_i(t)=\frac{(x_{K_i}-x_{H_i})\cdot t}{t_i}+x_{H_i},\ y_i(t)=\frac{(y_{K_i}-y_{H_i})\cdot t}{t_i}+y_{H_i},\ z_i(t)=\frac{(z_{K_i}-z_{H_i})\cdot t}{t_i}+z_{H_i},$$

где t – время от начала i-го линейного участка траектории. Очевидно, что $(x_{H_1},y_{H_1},z_{H_1})=$ $=(x_И,y_И,z_И)$, $(x_{H_2},y_{H_2},z_{H_2})=(x_{K_1},y_{K_1},z_{K_1})$ и т. д.

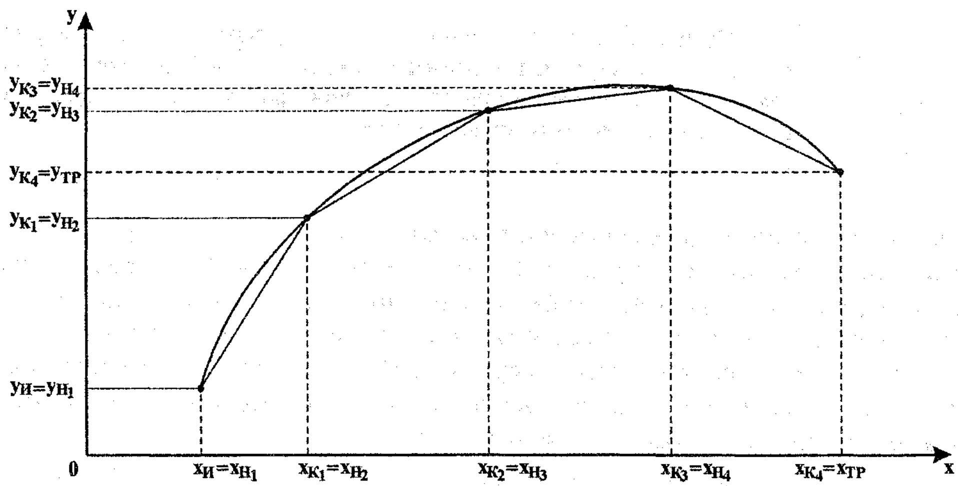

Рис. 2

Как показано в работе [1], формирование линейной траектории характерной точки рассматриваемого механизма требует изменять длины штанг по нелинейным законам. Следовательно, в общем случае скорость каждого из электродвигателей, изменяющих длины штанг, постоянно меняется.

При построении цифровых систем достаточно просто реализуется ступенчатое управление, при котором скорость электродвигателя в течение некоторого интервала времени является постоянной. Поэтому при управлении рассматриваемым механизмом необходимо решить задачу замены непрерывных требуемых нелинейных законов изменения длин штанг кусочно-линейными (рис. 3).

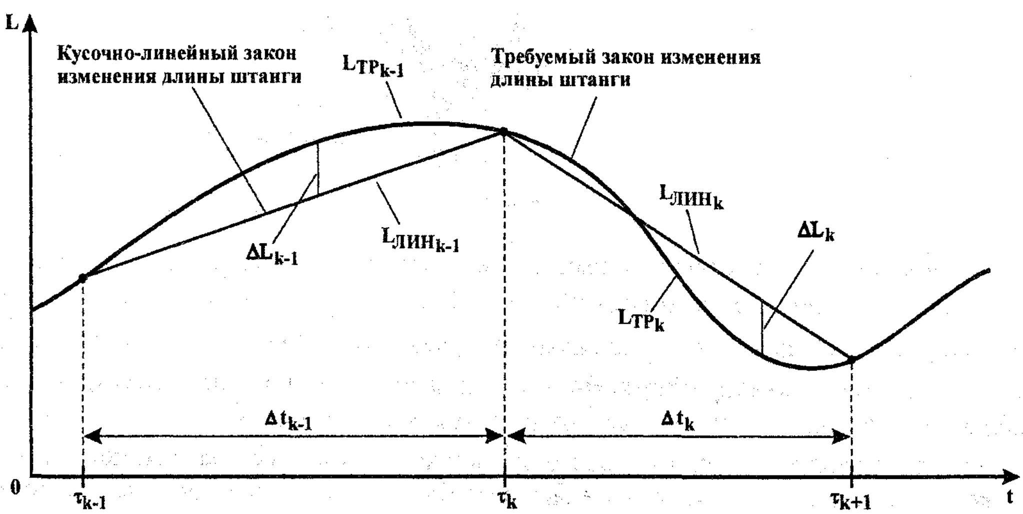

Рис. 3

Решение данной задачи сводится к определению временных интервалов Δt_k^j, на которых скорость вращения электродвигателя j-й штанги остается постоянной. На каждом из этих интервалов реальная длина штанги должна отличаться от требуемой на величину

$$\Delta L_i^j \le \Delta L_{MAX}, \tag{1}$$

где $j=\overline{1,3}$ - номер штанги, ΔL_{MAX} - заданное максимальное отклонение. Количество этих интервалов может быть разным для электродвигателей разных штанг, желательно, чтобы оно было минимальным. В моменты времени τ_k^j осуществляется изменение скорости вращения электродвигателя j-й штанги.

Задача определения длительности Δt_k^j интервала сводится к нахождению максимума этой длительности при выполнении ограничений (1). Ниже предлагается вариант решения этой задачи.

Пусть требуемый закон изменения длины j-й штанги задается дискретной функцией $L^j(t_n)=L^j(x(t_n),y(t_n),z(t_n))$, где $x(t_n),y(t_n),z(t_n)$ - координаты характерной точки механизма в моменты времени $t_n=n\cdot\Delta t+t_H$, $n=0...N-1$, $\Delta t=\dfrac{t_K-t_H}{N-1}$, N - количество отсчетов дискретной функции, t_H, t_K - моменты начала и окончания изменения длины штанги по заданному закону. Значение t_K принимается за начальное для первого интервала постоянства скорости электродвигателя j-й штанги, т. е. $\tau_1^j=t_K$. Далее для моментов времени t_i, $i=2,3...$ определяются отклонения $\Delta L^j(t_u)=\left|L^j(t_u)-\dfrac{L^j(t_i)-L^j(\tau_1^j)}{t_i-\tau_1^j}t_u\right|$, где $t_u=\tau_1^j+\Delta t,...t_{i-1}$ и сравниваются с ΔL_{MAX} (рис. 4). Вычисления останавливают, как только текущее i-е значение $\Delta L^j(t_u)$ превысит ΔL_{MAX}. Значение t_{i-1} будет являться конечным для первого интервала постоянства скорости электродвигателя j-й штанги и начальным для следующего, т. е. $\tau_2^j=t_{i-1}$ и $\Delta t_1^j=\tau_2^j-\tau_1^j$.

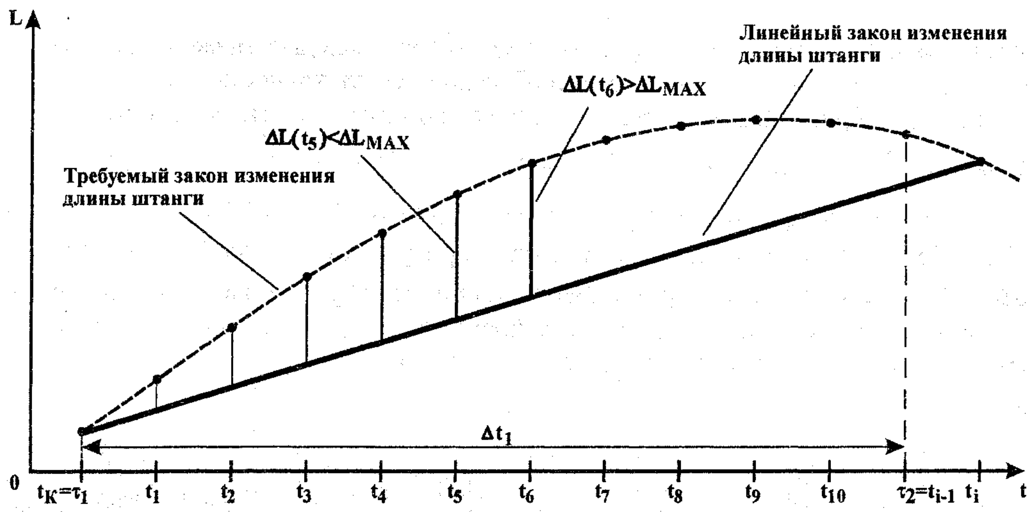

Рис. 4

Аналогично определяются начальные и конечные моменты времени остальных интервалов постоянства скорости электродвигателя. Очевидно, что конечный момент времени последнего интервала постоянства скорости должен совпадать с t_K.

Величина Δt, а значит и количество отсчетов N дискретной функции выбираются из следующего условия: для любых трех значений дискретной функции $L^j(t_i-\Delta t)$, $L^j(t_i)$ и $L^j(t_i+\Delta t)$ должно выполняться неравенство $\left|L^j(t_i)-\dfrac{L^j(t_i+\Delta t)-L^j(t_i-\Delta t)}{2}\right|\le\Delta L_{MAX}$.

Представленная методика позволяет определить для каждого двигателя интервалы постоянства его угловой скорости. Количество этих интервалов будет различным для двигателей разных штанг. На рис. 5 показаны результаты моделирования поведения рассматриваемого механизма в случае, когда координаты его характерной точки K изменяются по линейному закону от (-50,40,200) до (50,80,270) за N = 100 временных отсчетов. При моделировании было принято, что координаты заданы в миллиметрах, временные отсчеты - в секундах, $\Delta L_{MAX}=0{,}01$ мм.

Из графиков видно, что скорость электродвигателя 1-й штанги изменяется 33 раза, 2-й штанги - 12 раз, 3-й штанги - 24 раза. Всего наблюдается 55 моментов изменения скоростей двигателей.

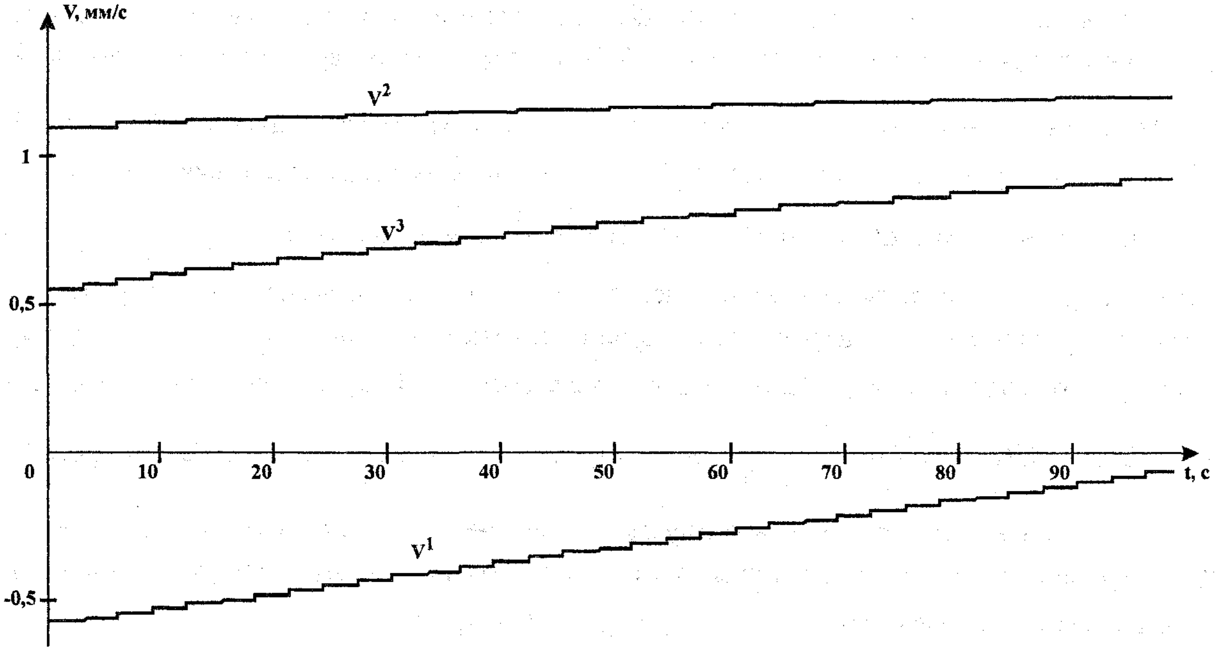

Рис. 5

В связи с тем, что реальная длина штанг механизма в каждый момент времени в той или иной степени отличается от требуемой, целесообразно оценить точность формирования траектории движения характерной точки. На рис. 6 показаны абсолютные отклонения реальных координат характерной точки от требуемых: $\Delta\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$, $\Delta x = x_{РЕАЛ} - x_{ТР}$, $\Delta y = y_{РЕАЛ} - y_{ТР}$, $\Delta z = z_{РЕАЛ} - z_{ТР}$. Под требуемыми координатами понимаются значения $x(t_n)$, $y(t_n)$, $z(t_n)$. Реальные координаты определяются при решении прямой задачи движения рассматриваемого механизма - задачи определения координат характерной точки механизма по заданным длинам его штанг. Длины штанг при решении этой задачи задаются исходя из ступенчатого управления скоростью электродвигателей (см. рис. 5).

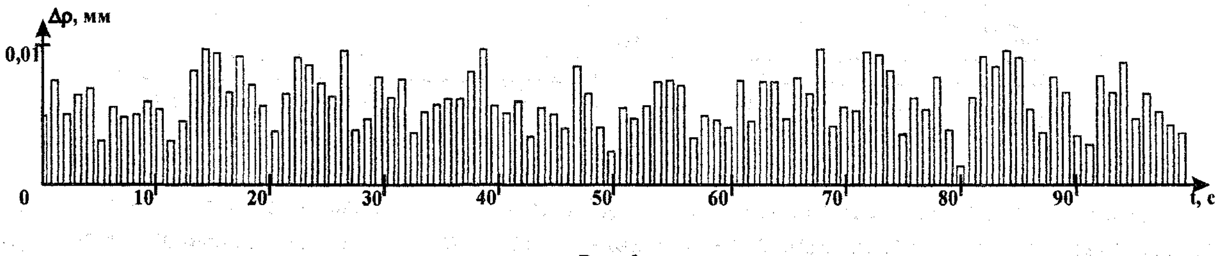

Рис. 6

Анализ отклонений, показанных на рис. 6, позволяет сделать важный практический вывод: погрешность формирования траектории характерной точки механизма не превосходит величины заданного максимального отклонения ΔL_{MAX}, задаваемого при организации управления электродвигателями штанг. Таким образом, величина ΔL_{MAX} может задаваться исходя из требуемой точности формирования траектории движения характерной точки.

Литература

1. Смирнов В.А., Тверской М.М. Математическая модель трехкоординатного манипулятора с параллельной кинематической структурой// В настоящем журнале.

2. Бойков В.Д., Вашкевич С.Н. Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ/Подред. В.Б. Смолова. -Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1986. - 106с.