

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ ТРЕХ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ НА ОДНОМ СТАТОРЕ

В.В. Поляковский, В.В. Жарский, Г.Н. Алехнович

The motion program building approach the goal of which is collateral control of several actuators bringing the affix the desired dynamical and accuracy properties, should be implemented in the way to avoid actuators collisions. The algorithm which enables this is described in the paper. It is based on a geometrical representation of actuators movement and takes into consideration the priority system which is also dynamically built to furnish the system the maximal productivity.

Расчетная модель системы перемещения построенная на трех планарных ЛШД, в дальнейшем называемых координатными позиционерами КП1, КП2 и КП3 показано на рис. 1.

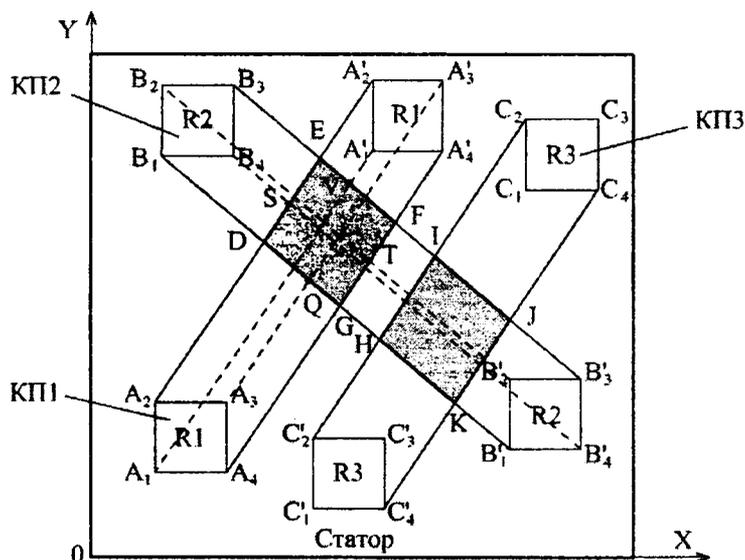


Рис. 1. Расчетная модель анализа коллизий трех планарных позиционеров на одном статоре

Внешний прямоугольный контур, показанный на рис.1, определяет рабочую зону на статоре, выход за границы которой в процессе перемещения позиционеров не возможен. Прямоугольники $A_1A_2A_3A_4$, $B_1B_2B_3B_4$ и $C_1C_2C_3C_4$ определяют область, которую в начальный или в данный момент времени занимают соответственно КП1, КП2 и КП3. Квадратные, а в общем случае прямоугольные области позиционеров, это по сути дела их проекции на рабочую плоскость статора. Прямоугольники $A'_1A'_2A'_3A'_4$, $B'_1B'_2B'_3B'_4$ и $C'_1C'_2C'_3C'_4$ определяют геометрическое место конечного положения соответственно КП1, КП2 и КП3.

Предполагается, что проекции инструмента, в общем случае инструментальных роботов R1, R2, R3, установленных соответственно на КП1, КП2 и КП3, не выходят за контуры площади позиционера.

В дальнейшем в работе будет рассматриваться геометро-кинематический анализ движения трех планарных позиционеров на одном статоре при их линейном перемещении между соответствующими двумя точками с постоянной скоростью [2]. Геометрически зоны перемещения позиционеров в работе принято описывать их так называемыми шлейфами, которые представляют собой геометрическую область, в которой осуществляется движение позиционера при переходе из начального положения в конечное. Так, для позиционера КП1 в соответствии с рис. 1 шлейфом является фигура в виде шестиугольника $A_1A_2A'_2A'_3A'_4A_4$.

Геометрическая область, образованная пересечением шлейфов позиционеров является зоной, в которой возможно столкновение позиционеров (общая зона). Так, для КП1 и КП2 общей зоной является четырехугольник DEFG.

Из анализа расчетной модели следует, что при совместном движении координатных позиционеров КП1, КП2 и КП3 возможны различные ситуации:

– коллизии в одновременном движении позиционеров полностью отсутствуют, когда шлейфы движения, построены по начальным и конечным положениям позиционеров не пересекаются;

– коллизии в движении позиционеров возможны, если шлейфы пересекаются. В этом случае для бесколлизийного движения позиционеров необходимо формировать и обеспечивать при движении необходимые условия, построенные на правиле приоритетов, устанавливающим очередность вхождения позиционеров КП1, КП2 и КП3 для каждой пары позиционеров в их общую зону;

– особые случаи коллизий, которые включают критические зоны, возникающие при некоторых частных конфигурациях, при которых полное движение позиционеров от начальной до конечной точки не возможно, или возможно при особых условиях.

Разработанный вычислительный алгоритм анализа и предотвращения коллизий основан на том, что каждый позиционер представляется его проекцией на плоскость статора в виде геометрического места, ограниченного подвижным четырехугольником.

Не нарушая общности решения поставленной задачи по предотвращению коллизий, нами разработан и реализован алгоритм анализа коллизий трех планарных позиционеров КП1, КП2 и КП3, имеющих форму квадрата с длиной стороны L , при их прямолинейном движении между начальными и конечными положениями.

Параметрические уравнение перемещения любой точки позиционера в выбранной системе координат XOY (рис.2) имеют вид:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t, \\ y = y_0 + v_y t, \end{cases} \quad (1)$$

где $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ – скорость позиционера на траектории в виде прямой.

При этом уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k \cdot x + b, \quad (2)$$

где $k = \operatorname{tg} \varphi = \frac{v_x}{v_y}$ – угловой коэффициент траектории движения.

Если заданы начальная и конечная точки перемещения, то постоянные параметры прямой (2) рассчитываются по формулам:

$$k = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}, \quad b = y_0 - \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} x_0, \quad (3)$$

где x_0, y_0 – координаты начальной точки перемещения; x_1, y_1 – координаты конечной точки перемещения.

В этом случае значения v_x и v_y будут определяться по формулам:

$$\begin{cases} v_x = v \cdot \cos \varphi \\ v_y = v \cdot \sin \varphi, \end{cases} \quad (4)$$

где

$$\begin{cases} \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 \geq 0, \\ 180 + \arctg\left(\frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}\right), \text{ если } y_1 - y_0 < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, по заданным начальным и конечным точкам движения позиционеров однозначно определяем уравнения их траекторий.

Так, для позиционера КП1 уравнение траектории будет иметь вид:

$$y = k_1 \cdot x + b_1, \quad (6)$$

где коэффициенты k_1 и b_1 определяются по формулам (3).

Это уравнение можно записать в параметрической форме:

$$\begin{cases} x = x_0^{(1)} + v_x^{(1)} t, \\ y = y_0^{(1)} + v_y^{(1)} t, \end{cases} \quad (7)$$

где $v_x^{(1)}$ и $v_y^{(1)}$ определяются по формуле (4).

Аналогичные выражения можно записать и для траекторий перемещений позиционеров КП2 КП3.

Как следует из рис. 1, областью, в которой возможно столкновение позиционеров является геометрическое место пересечения их шлейфов движения. Так, общей зоной для позиционеров КП1 и КП2 является четырехугольник DEFG, для КП2 и КП3 – HIJK. При движении позиционеров производится анализ их местоположения относительно этих участков. При этом алгоритм построен таким образом, что при нахождении одного из позиционеров в общей зоне другому вход в нее запрещен. Далее алгоритм анализа и предотвращения коллизий рассмотрим на примере движения позиционеров КП1 и КП2.

Для позиционера КП1 точкой входа в запрещенную зону является точка Q, точкой выхода – точка V. Позиционер КП2 входит в запрещенную зону в точке S и выходит в точке T. Координаты этих точек определяются из следующих выражений:

$$X_S = \frac{b_{B_4 B'_4} - b_{A_2 A'_2}}{k_1 - k_2}, \quad Y_S = \frac{b_{B_4 B'_4} - b_{A_2 A'_2}}{k_1 - k_2} \cdot k_1 + b_{A_2 A'_2}; \quad (8)$$

$$X_T = \frac{b_{B_2 B'_2} - b_{A_1 A'_1}}{k_1 - k_2}, \quad Y_T = \frac{b_{B_2 B'_2} - b_{A_1 A'_1}}{k_1 - k_2} \cdot k_1 + b_{A_1 A'_1}; \quad (9)$$

$$X_Q = \frac{b_{A_3 A'_3} - b_{B_1 B'_1}}{k_2 - k_1}, \quad Y_Q = \frac{b_{A_3 A'_3} - b_{B_1 B'_1}}{k_2 - k_1} \cdot k_2 + b_{B_1 B'_1}; \quad (10)$$

$$X_V = \frac{b_{A_1 A'_1} - b_{B_3 B'_3}}{k_2 - k_1}, \quad Y_V = \frac{b_{A_1 A'_1} - b_{B_3 B'_3}}{k_2 - k_1} \cdot k_2 + b_{B_3 B'_3}; \quad (11)$$

где X_S, Y_S – координаты точки S; X_T, Y_T – координаты точки T; X_Q, Y_Q – координаты точки Q; X_V, Y_V – координаты точки V;

$b_{A_1 A'_1}, b_{A_2 A'_2}, b_{A_3 A'_3}, b_{A_4 A'_4}, b_{B_1 B'_1}, b_{B_2 B'_2}, b_{B_3 B'_3}, b_{B_4 B'_4}$ – постоянные параметры реализуемой прямолинейной траектории, выражаемые через прямые $A_1 A'_1, A_2 A'_2, A_3 A'_3, A_4 A'_4, B_1 B'_1, B_2 B'_2, B_3 B'_3, B_4 B'_4$ соответственно.

k_1, k_2 – угловые коэффициенты реализуемой прямолинейной траектории позиционеров КП1 и КП2 соответственно.

При разработке алгоритма принято следующее правило приоритетов: преимущество при движении имеет тот позиционер, который первым войдет в общую зону. Для определения моментов времени, в которые позиционеры войдут в общую зону, используем следующие соотношения:

$$t_{1in} = \frac{\sqrt{(X_Q - X_{A_3})^2 + (Y_Q - Y_{A_3})^2}}{V_1}, \quad t_{2in} = \frac{\sqrt{(X_S - X_{B_4})^2 + (Y_S - Y_{B_4})^2}}{V_2}; \quad (12)$$

где X_{A_3}, Y_{A_3} – координаты точки A_3 ; X_{B_4}, Y_{B_4} – координаты точки B_4 ;

V_1, V_2 – скорость движения позиционеров КП1 и КП2 соответственно.

Сравнивая значения t_{1in} и t_{2in} , определяем позиционер, который имеет приоритет. Предположим, что $t_{1in} < t_{2in}$. Тогда приоритет движения имеет позиционер КП1, т.е. он может двигаться без остановок.

Позиционер КП2 не может войти в общую зону пока в ней находится позиционер КП1. Момент времени, в который позиционер КП1 покинет общую зону определяется из следующего соотношения:

$$t_{1out} = \frac{\sqrt{(X_{A_1} - X_V)^2 + (Y_{A_1} - Y_V)^2}}{V_1}. \quad (13)$$

Если $t_{2in} < t_{1out}$, то позиционер КП2 должен остановиться на время

$$\Delta t = t_{out1} - t_{in2}. \quad (14)$$

В момент времени $t = t_{in2} + \Delta t$ позиционер КП2 может продолжить свое движение.

Аналогично производится расчет временных характеристик входа и выхода позиционеров КП1, КП2 и КП3 в другие общие зоны. Дальнейший совместный анализ этих временных характеристик позволяет формировать диаграмму движения $S(t)$ в виде графика перемещения соответствующего позиционера во времени.

Представленный выше алгоритм был использован при разработке программы интерактивной визуализации бесколлизийного движения трех планарных позиционеров на одном статоре. Интерактивная визуализация была разработана в среде Macromedia Flash MX 2004. Интерфейс разработанной программы представлен на рис.2.

Движение позиционеров А, В, С осуществляется в пределах прямоугольной рабочей зоны – статора. Начальное и конечное положение позиционеров на статоре задается при помощи мыши. Для задания скорости позиционеров имеются специальные окна. В нижнем правом углу в реальном масштабе времени синхронно с перемещениями позиционеров отображаются их циклограмма движения, отражающая перемещение позиционеров относительно их начальной точки движения.

Интерактивная работа пользователя с программой визуализации осуществляется в такой последовательности:

- пользователь задает скорости движения позиционеров;
- устанавливает с помощью мыши начальные и конечные положения позиционеров А, В, С на рабочем поле статора;
- нажатием на кнопку Play активизируется визуализация циклического движения позиционеров из начальных положений в конечное при управлении движением по разработанному алгоритму предотвращения коллизий, который формирует текущее состояние позиционеров и согласованных диаграмм движения.

Избежание коллизий трех индукторов на статоре

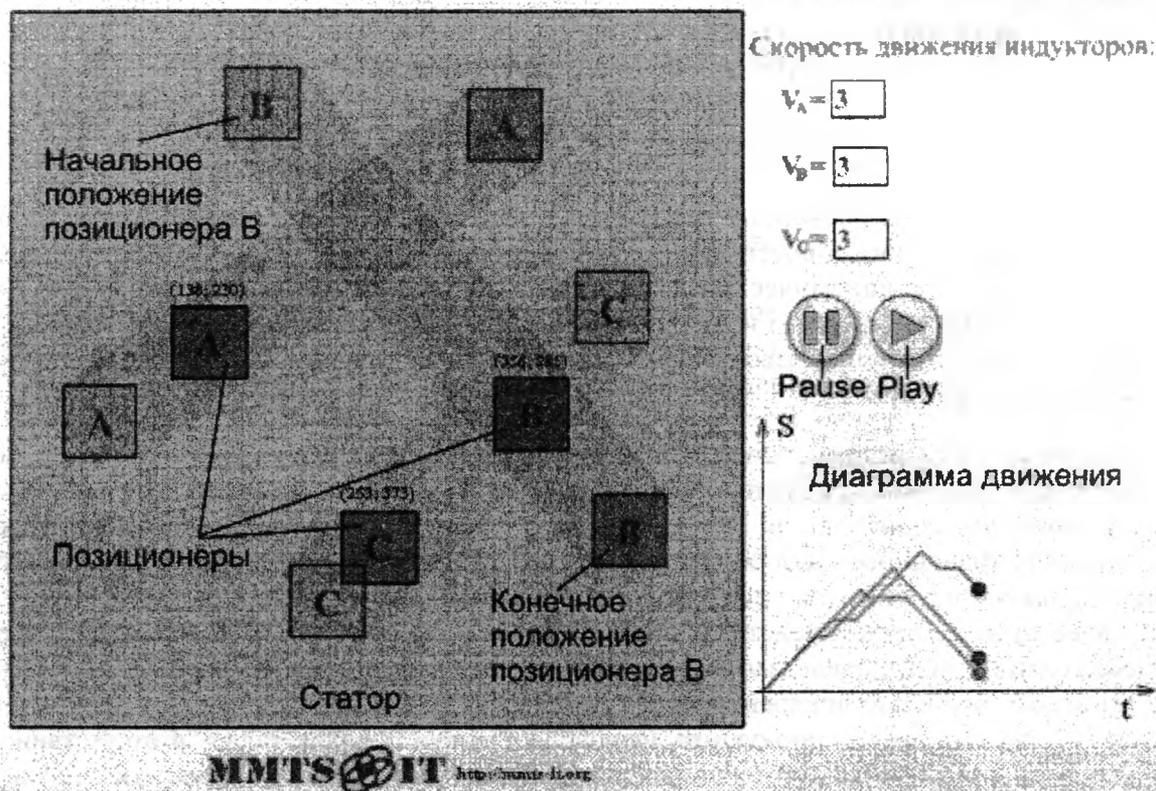


Рис. 2. Интерфейс интерактивной визуализации для исследования трех планарных ЛШД на одном статоре

Разработанная программа интерактивной визуализации предназначена для программирования бесколлизийной работы трех планарных позиционеров на одном статоре. При некоторой доработки разработанная программа на базе алгоритма бесколлизийного движения трех планарных позиционеров может быть встроена в общий программный комплекс системы управления класса оборудования, в котором используется совместная работа трех планарных позиционеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Ahranovich, S.Karpovich, K.Zimmermann, J.Zentner Multicoordinate Positioning System for Industrial Equipment Design Method // Proceedings of 51st International Scientific Colloquium Ilmenau (Germany), September 11-15, 2006 TU-Ilmenau, 2006. – p. 139–140
2. Онегин, Е.Е., Зенькович, В.А., Битно, Л.Г. Автоматическая сборка ИС – Минск: Выш. школа, 1990. – 383 с.
3. Межинский, Ю.С. Построение систем перемещения для гибкого автоматизированного оборудования – Минск: «Технопринт», 2002. – 120 с.