

## АЛГОРИТМЫ БЕСКОЛЛИЗИОННОЙ РАБОТЫ ТРЕХ ПЛАНАРНЫХ ПОЗИЦИОНЕРОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Поляковский В. В.

Карлович С. Е. – д-р техн. наук, профессор

Рассмотрены вопросы организации совместной работы трех планарных позиционеров на одном статоре. Для исключения коллизий, возникающих при их одновременном равноускоренном движении, предложен алгоритм, основанный на анализе общих зон движения и моментов входа и выхода позиционеров из них.

Наличие нескольких планарных позиционеров на одном статоре в системах перемещений требует аналитического решения проблемы траекторных коллизий при их одновременном перемещении. При этом в части математического моделирования и алгоритмизации случай с тремя планарными позиционерами на одном статоре является наиболее общим для систем перемещений автоматизированного оборудования микро- и нанозлектроники [1].

Геометрическая модель системы перемещений, построенной на трех планарных ЛШД, в дальнейшем называемых координатными позиционерами КП1, КП2 и КП3, показана на рис. 1.

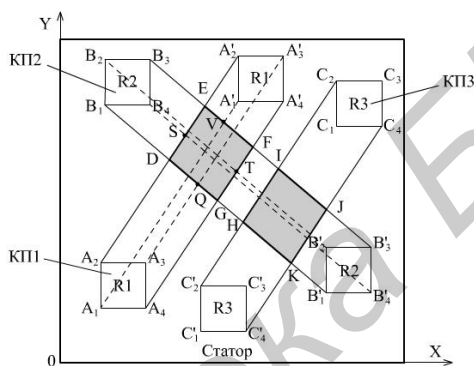


Рис. 1 – Геометрическая модель анализа коллизий трех планарных позиционеров на одном статоре

Внешний прямоугольный контур на рис. 1 определяет рабочую зону на статоре, выход за границы которой в процессе перемещения позиционеров невозможен. Прямоугольники  $A_1A_2A_3A_4$ ,  $B_1B_2B_3B_4$ , и  $C_1C_2C_3C_4$  определяют область, которую в данный момент времени занимают КП1, КП2 и КП3 соответственно. Квадратные, а в общем случае – прямоугольные области позиционеров – это, по сути дела, их проекции на рабочую плоскость статора, соответствующие конструкции планарного модуля движения. 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.

Геометрически зоны перемещения каждого позиционера описываются так называемым шлейфом, который представляет собой геометрическую область, в которой осуществляется движение позиционера при переходе из начальной позиции в конечную. Так, для позиционера КП1, в соответствии с рис. 1, шлейфом является фигура в виде шестиугольника  $A_1A'_1A'_2A'_3A_4A_4$ . Геометрическая область, образованная пересечением шлейфов разных позиционеров, является зоной, в которой возможно их столкновение (общая зона). Так, для КП1 и КП2 общей зоной является четырехугольник DEFG. Аналогично определяются общие зоны для оставшихся пар позиционеров.

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

- коллизии при одновременном движении позиционеров полностью отсутствуют, когда все три шлейфа движения, построенные по начальным и конечным положениям позиционеров, не пересекаются;
- коллизии в движении позиционеров возможны, если хотя бы два шлейфа из трех пересекаются. В этом случае для бесколлизиионного движения позиционеров необходимо формировать и обеспечивать при движении необходимые условия, построенные на правиле приоритетов, устанавливающем 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 невозможно или возможно только при особых условиях.

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

На основе предложенной математической модели [2, 3] разработан аналитический алгоритм решения задачи коллизии для трех позиционеров при их равномерном движении. Приведем последовательность шагов полученного алгоритма предотвращения коллизий: 1) расчет шлейфов

движения позиционеров; 2) определение зон пересечения шлейфов (общих зон) для всех пар позиционеров; 3) расчет координат точек входа в общие зоны и выхода из них для всех позиционеров системы; 4) определение моментов времени входа в общую зону и выхода из нее для всех позиционеров системы перемещений; 5) принятие решения о наличии или отсутствии коллизий на основе анализа рассчитанных моментов времени; 6) определение действий для предотвращения коллизий.

Рассмотрим данный алгоритм на примере расположения позиционеров, показанного на рис. 1.

Уравнение поступательного перемещения любой точки позиционера при равноускоренном движении можно представить в виде

$$x = x_0 + v_x t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}; \quad y = y_0 + v_y t + \frac{a_y \cdot t^2}{2},$$

где  $a_x, a_y, v_x, v_y$  – составляющие ускорения и скорости вдоль осей  $X$  и  $Y$  соответственно.

Движение позиционера от начальной точки до конечной в общем случае можно разделить на 3 участка: 1) участок разгона с ускорением  $a_p$ ; 2) участок равномерного движения со скоростью  $V_{max}$ ; 3) участок торможения с ускорением  $a_r$ .

Для перемещения планарного позиционера КП1 или КП2 от начальной точки с координатами  $(X_0, Y_0)$  до конечной точки с координатами  $(X, Y)$  необходимо знать время движения, определяемое по формуле

$$t_{дв} = \frac{\sqrt{(X - X_0)^2 - (Y - Y_0)^2}}{v_{max}} + \frac{1}{2} \cdot (t_p + t_r),$$

где  $t_p$  и  $t_r$  – время разгона и торможения соответственно.

Далее рассмотрим алгоритм предотвращения коллизий для пары позиционеров КП1 и КП2. Моменты времени, в которые позиционеры КП1 и КП2 войдут в общую зону, определяются из следующих выражений:

$$t_{1in} = \frac{\sqrt{(X_{A3} - X_Q)^2 + (Y_{A3} - Y_Q)^2}}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot t_{1p}, \quad t_{2in} = \frac{\sqrt{(X_{B4} - X_S)^2 + (Y_{B4} - Y_S)^2}}{v_2} + \frac{1}{2} \cdot t_{2p}.$$

Предположим, что  $t_{1in} < t_{2in}$ . Тогда приоритет движения имеет позиционер КП1: он может двигаться от начальной точки к конечной без остановок. Позиционер КП2 не может войти в запрещенную зону, пока в ней находится позиционер КП1. Время выхода позиционера КП1 из запрещенной зоны определяется по следующей формуле:

$$t_{1out} = \frac{\sqrt{(X_{A1} - X_V)^2 + (Y_{A1} - Y_V)^2}}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot t_{1p}$$

Если выполняется условие  $t_{2in} < t_{1out}$ , то позиционер КП2 должен остановиться у входа в запрещенную зону и продолжить свое движение только после выхода из нее позиционера КП1.

На основании приведенных формул осуществляется расчет функциональных зависимостей скоростей движения позиционеров КП1 и КП2 от времени. Предложенный алгоритм предотвращения коллизий может быть применен в любых системах перемещений, где используются совместные перемещения двух и более позиционеров на одном статоре. Так, в общем случае для мультикоординатной системы перемещения, включающей  $N$  планарных позиционеров, для позиционера КП1 полный расчет времени остановки у входа в общую зону будет производиться по формуле

$$\begin{cases} \Delta t_{12} = t_{21-out} - t_{12-in}, & t_{12-in} > t_{21-in}, \\ \Delta t_{12} = 0, & t_{12-in} \leq t_{21-in}, \\ \Delta t_{13} = t_{31-out} - t_{13-in}, & t_{13-in} > t_{31-in}, \\ \Delta t_{13} = 0, & t_{13-in} \leq t_{31-in}, \\ \vdots \\ \Delta t_{1i} = t_{i1-out} - t_{1i-in}, & t_{1i-in} > t_{i1-in}, \\ \Delta t_{1i} = 0, & t_{1i-in} \leq t_{i1-in}, \end{cases}$$

где  $\Delta t_{12}, \Delta t_{13}, \dots, \Delta t_{1i}$  – время остановки у входа в общую зону КП1 и КП2, КП1 и КП3, КП1 и КП $i$  соответственно;  $t_{12-in}, t_{1i-in}$  – время входа КП1 в общую зону КП1 и КП2, КП1 и КП $i$  соответственно;  $t_{21-in}, t_{i1-in}$  – время входа КП2 и КП $i$  соответственно в общую зону с КП1;  $t_{21-out}, t_{i1-out}$  – время выхода позиционера КП2 и КП $i$  соответственно из общей зоны с КП1.

Список использованных источников:

1. Агранович, А. А. Система перемещений для оптико-механического оборудования микроэлектроники / А. А. Агранович, С. М. Аваков, В. В. Жарский // Доклады БГУИР. – 2007. – № 4. – С. 131–135.
2. Поляковский, В. В. Интерактивная визуализация алгоритмов бесколлизийных перемещений планарных позиционеров на одном статоре / В. В. Поляковский, В. С. Баев, В. В. Жарский // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, Респ. Беларусь, 2007 г.: в 4 ч. – Минск : МГВРК, 2007. – Ч. 1. – С. 207–210.
3. Polyakovsky, V., Jarski, V., Karpovich, S. Actuator Collision Problem for Multicoordinate Positioning System / V. Polyakovsky, V. Jarski, S. Karpovich // Prospects in mechanical engineering : Scientific Proc. – Ilmenau : ISLE, 2008. – P. 49–50.