

УДК [621.791.75.039.053]62-408.64]:007.62

С.В. Щербинин, Д.А. Медведев, С.В. Негодяев, С.В. Комзолов, П.К. Васенин

Планирование траекторий многоординатного манипулятора

Предлагается метод планирования траекторий многоординатного манипулятора для обработки деталей, ограниченных поверхностями сложной формы. Траектории обработки поверхностей строятся по геодезическим линиям.

Ключевые слова: многоординатный манипулятор, планирование траекторий, пространство конфигураций, алгоритм, геодезическая линия.

Планирование движений звеньев многоординатного манипулятора (ММ) упрощается на основе пространства конфигураций за счет уменьшения вычислительной сложности алгоритмов расчета [1]. Пространство конфигураций представляет собой n -мерное пространство с системой координат, по осям которой отложены значения обобщенных координат q_i ($i=1, 2, \dots, n$), взаимно однозначно определяющих положение всех звеньев механической системы. Число таких независимых параметров равно числу степеней подвижности ММ [2]. Для исследуемого многоординатного манипулятора, кинематическая схема которого приведена на рис. 1, число степеней подвижности равно четырем. Вдоль осей четырехмерного пространства конфигураций ММ откладываются значения следующих обобщенных координат: углы поворота α, β, γ соответственно вдоль осей x, y, z ; p – вертикальное перемещение рабочего стола.

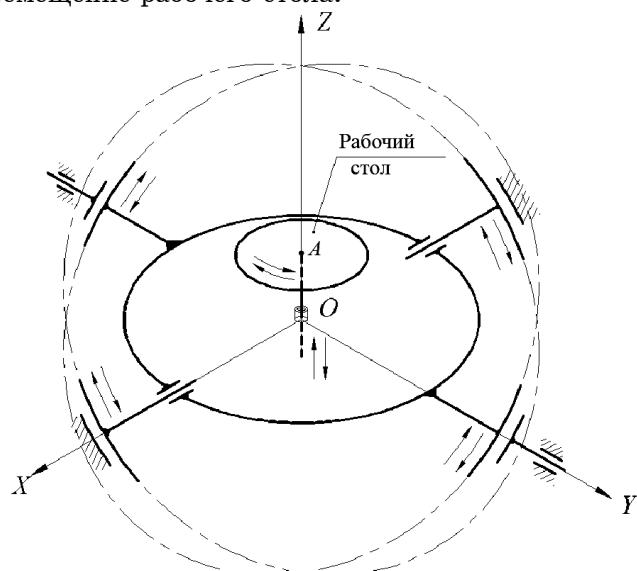


Рис. 1. Кинематическая схема четырехкоординатного манипулятора

Любое положение рабочего стола многоординатного манипулятора в пространстве конфигураций отображается в виде точки. Двум близким точкам в пространстве конфигураций соответствуют две близких конфигурации механической системы ММ.

Связем с рабочим столом манипулятора некоторую характерную точку, например точку A , расположенную в центре рабочего стола (см. рис. 1). Для достижения точкой A некоторой произвольной точки M рабочего пространства манипулятора необходимо выполнить перемещения звеньев манипулятора. Этого можно достичь различными положениями звеньев манипулятора.

Для оптимизации движений звеньев, между множеством точек рабочего пространства манипулятора и множеством точек пространства конфигураций нужно установить взаимооднозначное соответствие. Для установления взаимооднозначного соответствия между множествами точек рабочего пространства манипулятора и его пространства конфигураций предлагается использовать пространства конфигураций с тремя обобщенными координатами. Расслаиваем четырехмерное пространство конфигураций ММ с четырьмя степенями подвижности на 4 возможных конфигурации с тремя обобщенными координатами.

Разработан алгоритм (рис. 2) планирования траекторий многоокординатного манипулятора на основе пространства конфигураций.

Исходными данными для планирования траекторий являются уравнения траекторий обработки поверхности детали. На траектории обработки выбирается начальная точка M_0 . В направлении движения по траектории на достаточно близком расстоянии от точки M_0 выбираем точку M_1 . Рассматриваем конфигурацию №1 механической системы. Проверяем возможность достижимости характерной точки A рабочего стола точки M_1 . В случае отсутствия такой возможности переходим к конфигурации №2. Если достижимость возможна, отображаем точку M_1 на пространство конфигураций. Выполняем расчет кинематических параметров: ω, ε – соответственно угловой скорости и углового ускорения или v, a – линейной скорости и ускорения задействованных звеньев манипулятора. В случае если значения скоростей и ускорений превышают предельнодопустимые значения, выбираем следующую конфигурацию системы.

Использование при планировании траекторий ММ предлагаемого метода облегчает и ускоряет время расчета.

Обработку поверхностей деталей удобно производить по траекториям, представляющим собой геодезические линии. Как известно [3, 5], геодезическая линия является кратчайшей линией на поверхности, соединяющей две данные точки. Ее главная нормаль совпадает с нормалью к поверхности. Поэтому, планируя обработку поверхностей деталей по геодезическим линиям, можно утверждать, что звенья манипулятора будут испытывать минимальные нагрузки, уменьшится время и увеличится точность обработки.

Рассмотрим планирование траекторий для поверхности параболоида вращения. Параболоид вращения может быть получен вращением параболы $y^2 = 2az$ вокруг оси z . Параметрические уравнения параболоида вращения имеют следующий вид:

$$x = a u \cos v, \quad y = a u \sin v, \quad z = au^2, \quad (1)$$

где u, v – параметры, a – полуоси основания поверхности параболоида радиуса a .

Построим на поверхности параболоида траекторию обработки в виде геодезической линии. Как известно [3], во всех точках геодезической линии m на поверхности вращения имеет место

$$r \cos \chi = \text{const}, \quad (2)$$

где r – радиус параллели поверхности вращения, χ – угол между геодезической линией и параллелью.

Для практического построения геодезической линии на поверхности вращения учитываем, что геодезическая линия должна проходить через точки пересечения соответственных меридианов и параллелей. На рис. 3 показан график параболоида вращения с нанесенной на нем геодезической линией.

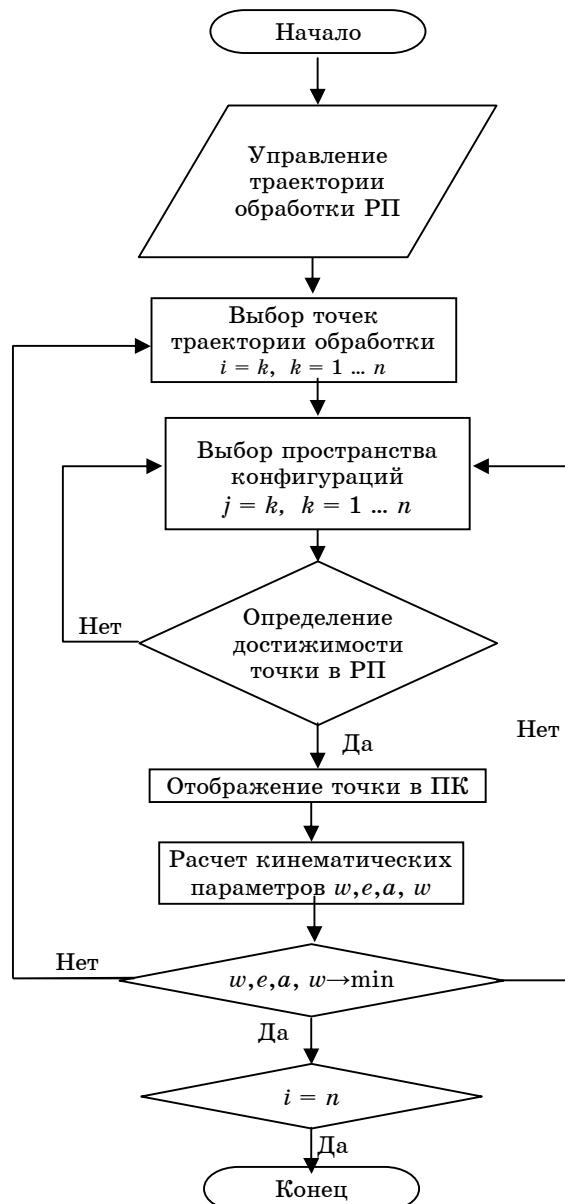


Рис. 2. Блок-схема планирования траекторий ММ

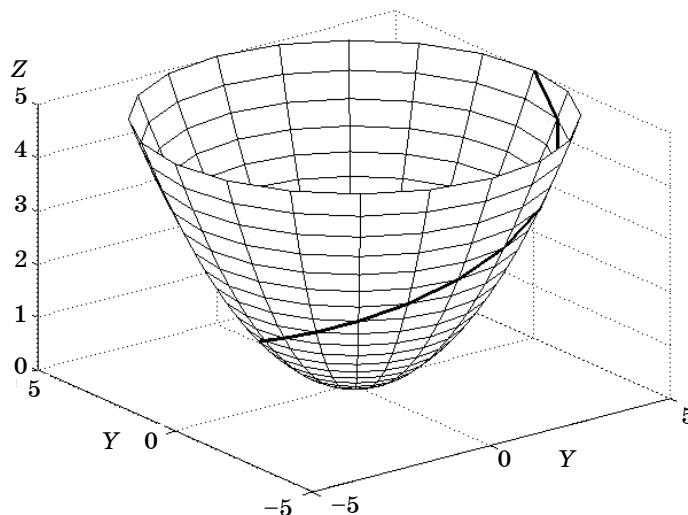


Рис. 3. График параболоида вращения с геодезической линией

Отобразим параболоид вращения на пространство конфигураций α, β, p . Для этого в уравнение параболоида вместо переменных x, y, z подставим операторы преобразования [6]

$$x = \operatorname{tg} \beta \frac{f - p}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta + 1}}; \quad y = \operatorname{tg} \alpha \frac{f - p}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta + 1}}; \quad z = \frac{f - p}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta + 1}}. \quad (3)$$

Получаем уравнение поверхности, в которую отображается параболоид вращения на пространство конфигураций:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{\cos v}{u} \right), \quad \beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin v}{u} \right), \quad p = f - au \sqrt{1 + u^2}, \quad (4)$$

где f – фиксированное расстояние для данного ММ.

Отображаем на пространство конфигураций геодезическую линию. На рис. 4 представлен график поверхности в пространстве конфигураций с образом геодезической линии, в которые отображаются соответственно поверхность параболоида и геодезическая линия.

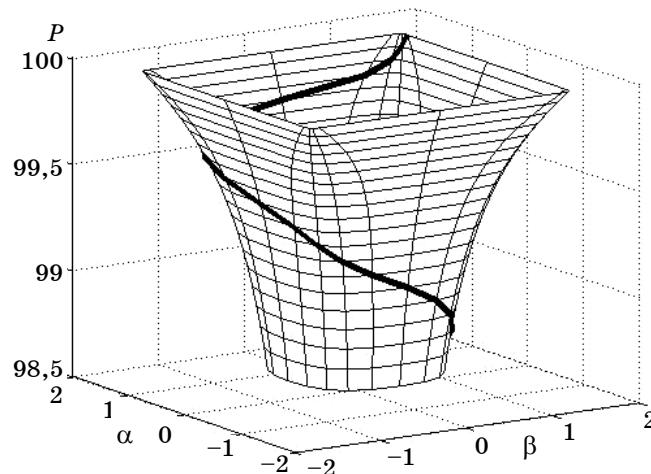


Рис. 4. Графики поверхности и кривой линии – образов поверхности параболоида и геодезической линии в пространстве конфигураций

Выходы

Анализ формы отображенной на пространство конфигураций кривой позволяет выявить участки траектории обработки, на которых возникают резкие изменения величин скоростей и ускорений звеньев манипулятора. Это позволит решить задачу синтеза оптимальных по быстродействию кинодинамических решений [7], под которыми понимаются решения, обеспечивающие минимальное время и удовлетворяющие кинодинамическим ограничениям.

Литература

1. Рассел С. Искусственный интеллект: Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
2. Корендиасев А.И. Теоретические основы робототехники: В 2 кн. / А.И. Корендиасев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; отв. ред. С.М. Каплунов. – М.: Наука, 2006.
3. Выгодский М.Я. Дифференциальная геометрия. – М.: Гостехиздат, 1949. – 376 с.
4. Зенкевич С.Л Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 480 с.
5. Филиппов В.А. Основы геометрии поверхностей оболочек пространственных конструкций. – М.: Физматлит, 2009. – 192 с.
6. Негодяев С.В. Представление пространства конфигураций многоординатных манипуляторов / С.В. Негодяев, Ю.М. Осипов, С.В. Щербинин // Инновационные технологии управления. Электромехатроника: сб. науч. трудов. – Вып. 1. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. – С. 119–132.
7. A provably good approximation algorithm optimal – time trajectory planning / Donald B., Xavier P. «IEEE Int. Conf. Rob. and Autom.», 1989.: Proc. – Vol. 2. – Washington etc., 1989. – Р. 958–963.

Щербинин Сергей Васильевич

Канд. техн. наук, доцент отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (3822) 42-87-40, доб. 319
Эл. почта: sherb@sbi.tusur.ru

Медведев Дмитрий Александрович

Инженер отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (3822) 42-87-40, доб. 319
Эл. почта: dmitrimed@mail.ru

Негодяев Сергей Васильевич

Инженер отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (3822) 42-87-40, доб. 319
Эл. почта: fidon@mosk.ru

Комзолов Сергей Владимирович

Аспирант отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (3822) 42-87-40, доб. 319
Эл. почта: truth-digger@sibmail.ru

Васенин Павел Константинович

Инженер отделения каф. ЮНЕСКО ТУСУРа
Тел.: (3822) 42-87-40, доб. 319
Эл. почта: vasenin@mosk.ru

S.V. Sherbinin, D.A. Medvedev, S.V. Negodyaev, S.V. Komzolov, P.K. Vasenin
The trajectory planning method for multicoordinate manipulator

The trajectory planning method for multicoordinate manipulator is suggested. This method is used for curved surfaces details processing. Trajectory tracing is geodetic curves-based.

Keywords: multicoordinate manipulator, trajectory planning, configuration space, algorithm, geodetic line.