

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ МАНИПУЛЯТОРА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Авдонин К.А., Захаров О.В.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов*

Ключевые слова: манипулятор, обратная кинематика, параметрическая оптимизация.

Аннотация. Обратная кинематическая задача для избыточного манипулятора имеет многовариантное решение. Поэтому целесообразен оптимизационный подход. В статье рассмотрен робот с 6 степенями свободы. Предложено в качестве критерия оптимизации использовать сумму углов звеньев робота. Проведенное моделирование показало, что оптимальное решение обеспечивает уменьшение суммы углов поворотов манипулятора примерно в два раза.

Манипуляторы являются разновидностью промышленных роботов и решают широкий спектр задач [1-5]. Обратная задача состоит в вычислении углов звеньев по заданному положению конечного эффектора при известной схеме его кинематики. В отличие от прямой она имеет множество решений и её целесообразно решать на основе параметрической оптимизации.

Предлагается новый подход к решению обратной кинематической задачи на основе численных методов и параметрической оптимизации. Математическая модель представляет собой формулы преобразований декартовых координат звеньев робота, полученных для прямой кинематической задачи. Минимизируется целевая функция в виде суммы квадратов разности заданных и полученных декартовых координат конечного эффектора. В статье рассматривается робот манипулятор с 6 степенями свободы, имеющий только вращательные соединения [6-8].

Для определения координат положения манипулятора необходимо последовательно найти координаты положения всех его звеньев (рис. 1). Выражения для декартовых координат положения первого звена будут иметь вид:

$$\begin{cases} x_1 = x_0 + l_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_2; \\ y_1 = y_0 + l_1 \sin \alpha_1; \\ z_1 = z_0 + l_1 \cos \alpha_1 \cos \alpha_2, \end{cases} \quad (1)$$

где l_1 – длина первого звена робота; x_0, y_0, z_0 – координаты основания робота; α_1, α_2 – углы поворота первого звена вокруг соответственно осей Y и X.

Формулы для декартовых координат второго звена:

$$\begin{cases} x_2 = x_1 + l_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_3) \sin(\alpha_2 + \alpha_4); \\ y_2 = y_1 + l_2 \sin(\alpha_1 + \alpha_3); \\ z_2 = z_1 + l_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_3) \cos(\alpha_2 + \alpha_4), \end{cases} \quad (2)$$

где l_2 – длина второго звена робота; x_1, y_1, z_1 – координаты первого соединения робота; α_3, α_4 – углы поворота второго звена вокруг соответственно осей Y и X.

Формулы для декартовых координат третьего звена:

$$\begin{cases} x_3 = x_2 + l_3 \cos(\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_5) \sin(\alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_6); \\ y_3 = y_2 + l_3 \sin(\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_5); \\ z_3 = z_2 + l_3 \cos(\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_5) \cos(\alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_6), \end{cases} \quad (3)$$

где l_3 – длина третьего звена робота; x_2, y_2, z_2 – координаты второго соединения робота; α_5, α_6 – углы поворота третьего звена вокруг соответственно осей Y, X.

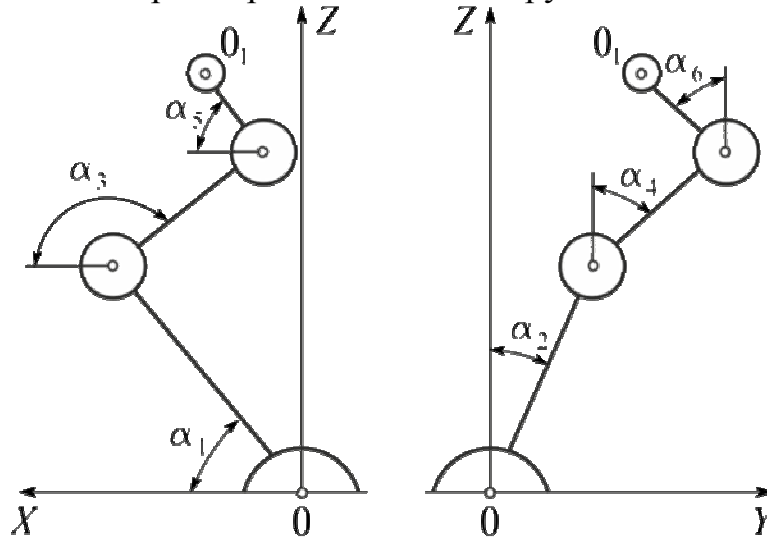


Рис. 1. Визуализация расчета положений робота в среде MATLAB

Система уравнений (3) дает решение прямой кинематической задачи – определение координат x, y, z для известных значениях углов α . Целевая функция представляет собой суммы квадратов разности заданных и полученных декартовых координат конечного эффектора:

$$F(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6) = \sum (X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2, \quad (4)$$

где X_1, Y_1, Z_1 – начальные координаты конечного эффектора; X_2, Y_2, Z_2 – требуемые координаты конечного эффектора; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ – искомые углы поворота звеньев робота.

Программная реализация выполнена в среде MATLAB (рис. 2). В качестве метода оптимизации использован симплексный метод Нелдера-Мида.

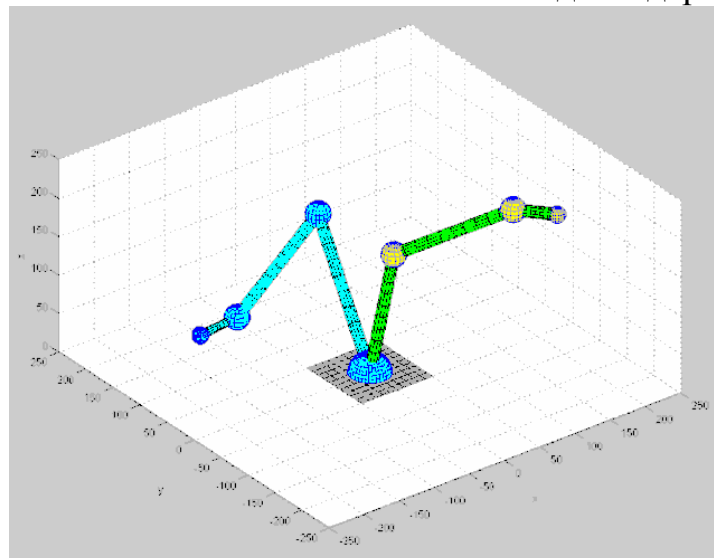


Рис. 2. Визуализация расчета положений робота в среде MATLAB

Численный эксперимент показал, что обратная кинематическая задача имеет множество решений. Достижение того или иного локального минимума зависит от выбора начальных значений точек старта при оптимизации. Физическим обоснованием многовариантности является избыточное число степеней свободы робота. Проведенный численный эксперимент показал, что оптимальное решение позволяют примерно в 2 раза уменьшить сумму углов и тем самым перемещение звеньев робота.

Список литературы

1. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. СПб, 2001. 168 с.
2. Фомин А.А. Обеспечение микрогеометрии поверхностей при обработке заготовок с неоднородными свойствами // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 12. С.27-29.
3. Захаров О.В. Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей // Автоматизация и современные технологии. 2006. №7. С. 14-16.
4. Захаров О.В. Измерение отклонения от круглости с использованием гармонического анализа // Контроль. Диагностика. 2006. № 1. С. 49-51.
5. Демьяненко Е.Г. Исследование способа формообразования тонкостенных деталей на основе процессов отбортовки и формовки / Е.Г. Демьяненко, И.П. Попов // Авиационная техника, 2016. № 2. С. 114-118.
6. Гречников Ф.В. Минимизация объема измерений плоских поверхностей деталей при сборке / Ф.В. Гречников, А.С. Яковичин, О.В. Захаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2018. № 2. С. 56-58.
7. Захаров О.В. Наладка бесцентровых суперфинишных станков на основе численного моделирования и оптимизации // Вестник машиностроения. 2003. № 12. С. 48-50.
8. Нелаева Е.И. Решение прямых и обратных задач кинематики роботов-манипуляторов с использованием дуальных матриц и бикватернионов на примере стэнфордского манипулятора. Часть 1 / Е.И. Нелаева, Ю.Н. Челноков // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 6. С. 373-380.

Сведения об авторах:

Авдонин Кирилл Александрович – магистрант, СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов;

Захаров Олег Владимирович – д.т.н., профессор, СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.

GEOMETRICAL METHOD FOR SOLVING THE REVERSE KINEMATIC PROBLEM OF THE MANIPULATOR WITH SIX DEGREE OF FREEDOM

Avdonin K.A., Zakharov O.V.

Keywords: manipulator, inverse kinematics, parametric optimization.

Abstract. The inverse kinematic problem for the redundant manipulator has a multivariate solution. Therefore, an optimization approach is appropriate. The article describes a robot with 6 degrees of freedom. It is proposed to use the sum of the angles of the links of the robot as an optimization criterion. The simulation showed that the optimal solution provides for a reduction in the sum of the angles of rotation of the manipulator approximately two times.