

УДК 621.865.8

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ  
ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА

О. В. ПУЗАНОВА

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

Обратная задача кинематики является одной из ключевых проблем робототехники и автоматизации производственных процессов. Решение этой задачи позволяет определить требуемое положение звеньев и кинематических пар робота для достижения заданного положения рабочего органа. В отличие от прямой задачи, обратная задача кинематики часто не имеет аналитического решения в замкнутом виде для сложных структур, что обуславливает применение численных методов, в частности метода последовательного приближения. Этот метод широко используется благодаря своей простоте реализации и универсальности.

Для манипулятора с определенным числом степеней подвижности вектор координат положения рабочего органа связан с вектором обобщенных координат нелинейной функциональной зависимостью. Метод последовательного приближения основан на линеаризации этой функции и представляет собой итерационный алгоритм, который постепенно улучшает начальное решение путем минимизации ошибки между целевым положением и действительным положением центра схвата.

На рис. 1 представлен алгоритм метода. Указанный алгоритм применялся для решения обратной задачи кинематики ортогональных манипуляторов, имеющих степени подвижности от трех до шести. Исходными данными является схема исследуемого манипулятора, начальное приближение обобщенных координат  $q_j^{(0)}$  и требуемая точность  $\delta$ . На первом этапе решается прямая задача кинематики манипулятора и определяется матрица преобразования координат  $T$ . Путем разложения в ряд Тейлора получается матричное уравнение, представляющее собой систему уравнений, количество которых соответствует числу степеней подвижности исследуемого манипулятора. Система уравнений является трансцендентной и может иметь множество решений относительно искомых обобщенных координат  $q_j^{(k)}$ . Выбор наиболее подходящего решения осуществляется на основе учета конструктивных ограничений и технических требований для каждой конкретной схемы манипулятора. Затем происходит обновление координат и проверка условий окончания алгоритма на основе сравнения разности обобщенных координат предыдущей  $q_j^{(k-1)}$  и текущей  $q_j^{(k)}$  итерации с заданной допустимой погрешностью. При этом можно определить время  $t$ , затраченное на решение задачи, и число итераций  $N$ . Эти параметры можно использовать для оценки эффективности методики.

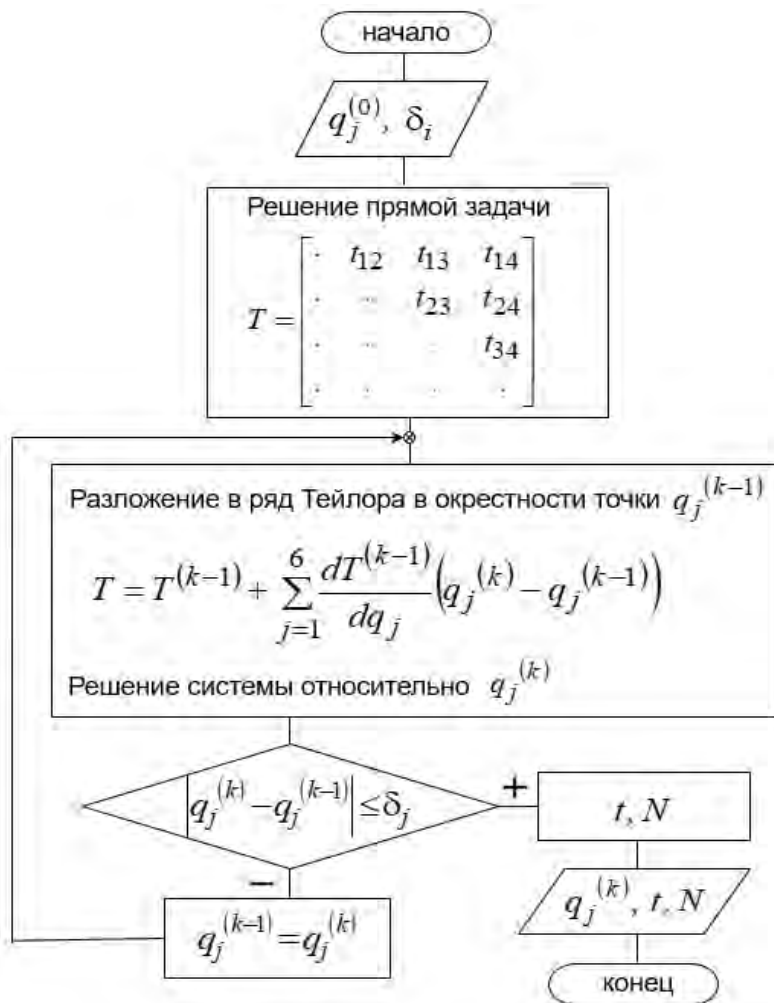


Рис. 1. Алгоритм решения обратной задачи кинематики манипулятора

В ходе исследования столкнулись с некоторыми трудностями, такими как выбор начального приближения; выбор правильного направления коррекции переменных, необходимых для улучшения текущего приближенного решения; накопление ошибок численного решения; необходимость многократного повторения расчетов матрицы  $\frac{dT^{(k-1)}}{dq_j}$ .

Для преодоления указанных трудностей применяли обоснованный выбор начального положения расчета манипулятора, эвристические подходы к выбору начальных приближений и методы сброса начальных приближений, дополнительный анализ чувствительности изменения переменных для определенных точек рабочего пространства манипулятора, сочетание численных и аналитических методов расчета.

Исследование показало, что при обоснованном подходе к заданию начальной точки число итераций для нахождения решения уменьшилось на 20 %...32 %. Применение дополнительного анализа чувствительности и повышение порядка метода до второго уменьшило число итераций на 46 %...58 %, но при этом увеличилось время расчета для каждой итерации. Применение комбинированных методик позволило сократить число итераций на 30 %...40 %.