XXXI Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. IV: С.47-49, 2003.

УДК 519.68

А.М.Федулин (5 курс, каф. ПМ), С.Ю.Жуков, к.ф-м.н., доц.

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МНОГОЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА В РЕАЛЬНОМ РЕЖИМЕ ВРЕМЕНИ

В качестве исследуемой в работе модели выбрана модель многозвенного манипулятора с N цилиндрическими звеньями постоянной длины. Каждый узел имеет ровно одну степень свободы – вращение вокруг одной из трех взаимно перпендикулярных осей. Прототипом данного манипулятора является робот-манипулятор, разработанный в ЦНИИ РТК. Его отличительной особенностью является возможность модульного наращивания. Управление манипулятором осуществляется с помощью эффектора, который задается оператором двумя векторами в декартовом пространстве – положением последнего звена и его ориентацией. В стандартной конфигурации используется 6-7 звеньев.

Требуется построить эффективный алгоритм решения обратной кинематической задачи – по данному положению и/или ориентации эффектора построить конфигурацию манипулятора, т.е. набор углов: $G \in M^4 \to \left[\begin{array}{l} q \in R^n : f(G) = q \\ \exists! q : f(G) = q \end{array} \right.$.

В работе оценивается преимущества и недостатки различных методов решения данной задачи:

– аналитические методы;

– методы, основанные на использовании Якобиана;

– псевдоинверсия;
– методы, основанные на транспонировании Якобиана;
– итеративные методы;
– сведение к задаче нелинейной оптимизации;
– методы, неиспользующие Якобиан;

Выбран один из методов оптимизации: метод покоординатного спуска. (Cyclic Coordinate Descent). Его отличительные способности:
1) простота реализации;
2) эффективность в большинстве простых конфигураций;
3) стабильность в окрестностях сингулярных точек;
4) быстрота вычислений;
5) может быть вложен как элементарное действие для более сложных алгоритмов;

Недостатками является отсутствие гладкого решения – необходимость фильтрации решения на более высоком уровне – и возможность застревания в локальных экстремумах – неразрешимость задачи в ситуациях, когда для перехода в желаемую конфигурацию необходимо параллельное движение двух или более звеньев системы.

В качестве целевой функции выбрана:

$$\begin{array}{l} g_{goal}(q, D, V) = \alpha (E(q) - T)^2 + (1 - \alpha)(D(q) - V)^2 \\ \alpha \in [0..1] \end{array}.$$

Где E(q),D(q) – текущее положение и ориентация эффектора, параметр α задает весовой вклад позиции и ориентации, а T и V – желаемое положение и ориентация эффектора. Тогда возможно найти точное аналитическое решение на каждом шаге алгоритма, если считать, что свободным является ровно одна связь (CCD-I):

$$\begin{cases} E = M(\Delta q)E_0 \\ D = M(\Delta q)D_0 \end{cases} \quad => \quad \Delta q = a\tan 2(-denum, num) + \pi k\ .$$

$$M(\Delta q) = \begin{matrix} \cos\Delta q & -\sin\Delta q \\ \sin\Delta q & \cos\Delta q \end{matrix}$$

В случае, когда одной связи недостаточно, используется перебор (с большим шагом) по одной из связей с использованием CCD-I по другой, что достаточно для выхода из локальных экстремумов в абсолютном большинстве рабочих ситуаций.

Предложенный алгоритм покоординатного спуска была реализована на практике для заданного типа манипулятора. Полученные результаты полностью удовлетворяют данному заданию. Манипулятор работает в режиме реального времени, полностью решена проблема сингулярности.

К дальнейшим направлением исследований относятся:

– теоретическая оценка числа итераций и скорости сходимости алгоритмов;

– разработка более эффективного алгоритма для случая двух одновременно свободных – звеньев;

– учет пересечения с объектами и самопересечения в алгоритмах;

– разработка алгоритмов планирования траектории.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Alan Watt, Mark Watt. “Advanced Animation and Renderinh Techniques. Theory & Practice”. Addison-Wesley. 1992. pp. 369-384.
2. A. Witkin, D. Baraff. Physically Based Modeling, SIGGRAPH’94 course notes.
3. Bill Baxter. “Fast numerical Methods for Inverse Kinematics”, IK Cources’2000. Department of CS. The university of North Carolina.
4. D. Tolani, A. Goswami, and N. Badler: "Real-time inverse kinematics techniques for anthropomorphic limbs." Graphical Models 62 (5), Sept. 2000, pp. 353-388.
5. G. Golub, W. Kahan. “Calculating the singular values and pseudoinverse of a matrix. Journal SIAM Numerical Analysis”, 2(2) 1956, pp. 205-223.
6. Albert A.E. “Regression and Moore-Penrose pseudoinverse”. 1972. Acedemic Press.
7. B. Noble, J. Daniel. “Applied linear algebra”, 1989, Prentice-Hall.
8. D.Pieper. “The kinematics of manipulators under computer control”. PhD thesis, Standford University, 1968.
9. J. Zhao, N. Badler. “Inverse kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated structure”, 1994, ACM Transactions on Graphics, 13(4), pp. 313-336.