

Нейросетевой подход к планированию траекторий промышленных роботов-манипуляторов

Кожевников М.М.; Господ А.В.; Лоборева Л.А.

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств
Могилевский государственный университет продовольствия
Могилев, Республика Беларусь
e-mail: mgup@mogilev.by, kmmk@mail.ru

Аннотация— Предложен новый эффективный алгоритм планирования траекторий промышленных роботов-манипуляторов для технологических процессов сборки, основанный на использовании двухслойной нейронной сети. Метод позволяет учесть особенности роботизированной сборки и обеспечивает приемлемое для практики количество тестов на столкновение.

Ключевые слова: промышленные роботы-манипуляторы; конфигурационное пространство; нейронные сети

I. ВВЕДЕНИЕ

Эффективное внедрение и использование роботизированных технологических комплексов (РТК) тесно связано с созданием систем автономного программирования роботов [1]. При этом одной из наиболее трудоемких задач является задача планирования траектории промышленного робота манипулятора с учетом ограничений на движения, накладываемых технологическим процессом. Эта задача заключается в нахождении последовательности локаций робота движение по которым обеспечивает выполнение целевых технологических операций с учетом ограничений [2-4]. В данной работе предложен новый алгоритм планирования траекторий промышленных роботов-манипуляторов, для технологических процессов сборки, основанный на детерминистической дискретизации конфигурационного пространства. В отличие от известных этот подход учитывает специфику ограничений на движения робота характерную для сборочных РТК и обеспечивает приемлемое для практики количество тестов столкновений.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим, сборочный робот-манипулятор с n поворотными сочленениями, рабочая зона которого ограничена некоторым множеством $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$. Если конфигурационное пространство этого робота дискретизировано с разрешением N , то угол в каждом из сочленений j ($j=1:n$), может принимать дискретные значения q_{xj} ($xj \in \{1, \dots, N\}$), при этом величины q_{1j} и q_{Nj} задают нижнее и верхнее конструктивные ограничения на углы в сочленениях (рис. 1). Тогда дискретная модель конфигурационного пространства рассматриваемого робота может быть представлена в виде множества из N^n векторов

$$DC = \{q_a | a = 1 \dots N^n\}, \quad (1)$$

где $q_a = [q_{xj}]^T$ – дискретная конфигурация робота ($xj \in \{1, \dots, N\}$), a – одномерный индекс, значения которого вычисляются по формуле $a = N^{n-1}x_1 + N^{n-2}x_2 + \dots + x_n - 3$. Множество удовлетворяющих ограничениям конфигураций сборочного робота-манипулятора определяется следующим образом

$$DC_f = \{q_a \in DC | M(q_a) \cap B = \emptyset\}, \quad (2)$$

где $M(q_a)$ – сборочный робот-манипулятор M установленный в конфигурацию q_a .

Прямолинейный участок траектории между двумя конфигурациями q_a и q_b ($a \neq b$, $q_a, q_b \in DC_f$) задается в виде множества векторов

$$d_{ab} = \{d_k | M(d_k) \cap B = \emptyset\}, \quad (3)$$

где $d_k = q_a + (h/Nh)(q_b - q_a)$, $h=0:Nh$, $Nh > N$ – параметр дискретизации прямолинейного участка траектории. Дискретная конфигурация робота $q_b \in DC_f$, является соседней с конфигурацией $q_a \in DC_f$, если между ними существует прямолинейный участок траектории d_{ab} и индекс b удовлетворяет одному из соотношений

$$\begin{aligned} b_1 &= a - N^{n-1} \rightarrow (x_1 - 1, x_2, \dots, x_n), \\ b_2 &= a + N^{n-1} \rightarrow (x_1 + 1, x_2, \dots, x_n), \\ &\dots \\ b_{d-1} &= a - 1 \rightarrow (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}), \\ b_d &= a + 1 \rightarrow (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n + 1). \end{aligned} \quad (4)$$

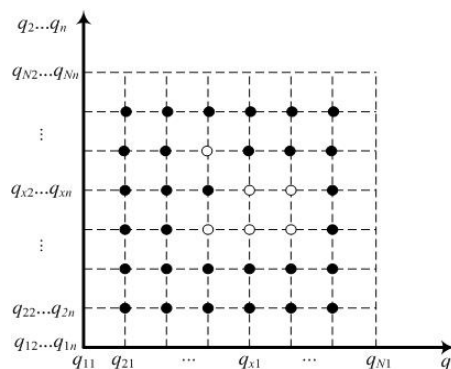


Рис. 1. Дискретное конфигурационное пространство сборочного робота-манипулятора

Траектория, соединяющая стартовую q_{s1} и целевую q_{sg} конфигурации сборочного робота, представляет собой последовательность, состоящую из соседних конфигураций $q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sg} \in DC_f$, и прямолинейных участков соединяющих эти конфигурации

$d_{s1s2}, d_{s1s3}, \dots, d_{(sg-1)sg}$. Критерий «качества» траектории в дискретном конфигурационном пространстве зададим в виде

$$J = \sum_{k=1}^{g-1} T_{sk(s_{k+1})}(d_{sk(s_{k+1})}), \quad (5)$$

где $T_{sk(s_{k+1})}$ – значение весовой функции для прямолинейного отрезка траектории $d_{sk(s_{k+1})}$.

Тогда задача планирования траектории в дискретном конфигурационном пространстве может быть сформулирована следующим образом: среди всех последовательностей дискретных конфигураций $q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sg} \in DC_f$ координаты которых лежат внутри области ограниченной предельно допустимыми значениями углов в сочленениях q_{1j} и q_{Nj} ($j=1:n$) найти последовательность, на которой достигается минимума критерий (5).

Необходимо также отметить, что необходимая величина параметра дискретизации N заранее неизвестна и существенно зависит от формы ограничений в конфигурационном пространстве сборочного робота-манипулятора.

III. АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ

Для решения сформулированной выше задачи планирования траектории сборочного робота предлагается использовать алгоритм, основанный на использовании двухслойной нейронной сети, который имеет вид:

Исходные данные: геометрическая модель робота и ограничений, стартовая q_{s1} и целевая q_{sg} конфигурации

- 1: Установить начальное значение параметра дискретизации $N \leftarrow N_0$;
- 2: **повторять**
- 3: Вычислить V_a для параметра дискретизации N ;
- 4: Установить весовые коэффициенты нейронной сети в $T_{abk} \leftarrow 1/3n$ ($k=1:d$);
- 5: **повторять**
- 6: Вычислить потенциальное поле ϕ_a ($a=1:N^m$) нейронной сети;
- 7: $a \leftarrow s1$;
- 8: **повторять**
- 9: $\phi \leftarrow \max f(\phi_{b_k})$;
- 10: $b \leftarrow \max b(\phi_{b_k})$;
- 11: $p \leftarrow \text{explore}(q(\phi_a), q(\phi_b))$;
- 12: $P \leftarrow \{q(\phi_a), q(\phi_b)\}$;
- 13: если $b=sg$ то вернуть траекторию P ;
- 14: $a \leftarrow b$;
- 15: до тех пор пока $p=0$;
- 16: $T_{abk} \leftarrow 0$;
- 17: $P \leftarrow 0$;
- 18: до тех пор пока $\phi_{s1}=0$;
- 19: $N \leftarrow N+N_s$;
- 20: до тех пор пока $N \leq N_{\max}$.

В алгоритме приняты следующие обозначения: N_0 – начальное значение параметра дискретизации конфигурационного пространства; N_{\max} – максимально допустимое значение параметра дискретизации конфигурационного пространства; N_s – шаг изменения параметра дискретизации; P – траектория робота.

В предложенном алгоритме используются следующие функции: $\max f(\phi_{b_k})$ – функция,

возвращающая максимальное значение потенциала ϕ из множества ϕ_{b_k} ; $\max b(\phi_{b_k})$ – функция, возвращающая индекс b максимального значения потенциала из множества ϕ_{b_k} ; $q(\phi)$ – функция, возвращающая конфигурацию робота, соответствующую значению потенциала ϕ ; $\text{explore}(q(\phi_a), q(\phi_b))$ – функция, проверки существования прямолинейного участка траектории между двумя конфигурациями робота $q(\phi_a)$ и $q(\phi_b)$. Если такой участок траектории существует, данная функция возвращает значение «1», иначе она возвращает значение «0».

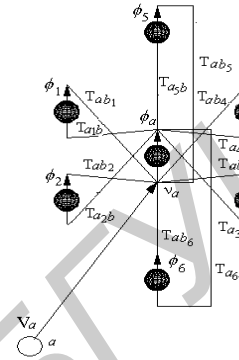


Рис. 2. Структура нейронной сети для планирования траектории сборочного робота-манипулятора

Для вычисления потенциального поля сборочного робота-манипулятора предлагается использовать нейронную сеть (рис. 2) распределение потенциалов ϕ_a ($a=1:N^m$) на выходе которой определяется в соответствии со следующей системой уравнений

$$\phi_a = f_a(v_a), \quad \tau_a \frac{dv_a}{dt} = \sum_{b=1}^{N^m} T_{ab} \phi_b - T_{a0} v_a + V_a, \quad (6)$$

где $f_a(\bullet)$ – функция активации нейрона a , v_a – значение потенциала на входе нейрона a , ϕ_b – значение потенциала на входе нейрона b , соседнего с нейроном a , τ_a , T_{ab} , T_{a0} – весовые коэффициенты нейронной сети. Также на вход каждого нейрона a поступает внешний сигнал V_a , значение которого определяется следующим образом: $V_a = -1$, если $q_a \notin DC_f$, либо $q_a = [q_{1j}]^T$ ($j=1:n$), либо $q_a = [q_{Nj}]^T$ ($j=1:n$); $V_a = 1$ если $q_a = q_{sg}$; $V_a = 0$ во всех остальных случаях.

Исследование эффективности предложенного алгоритма выполнялось в среде САПР ROVOMAX. Результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Choset H., Lynch K. M., Hutchinson S., Kantor G., Burgard W., Kavraki L. E., Thrun S. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations. MIT Press. Boston. 2005.
- [2] LaValle, S. M. Planning Algorithms / S. M LaValle. – Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2006. – 1023 p.
- [3] LaValle, S.M. On the relationship between classical grid search and probabilistic roadmaps. / S.M. LaValle, M. Branicky, S.R. Lindemann // International Journal of Robotic Research. – 2004. – № 23(7/8). – P. 673–692.
- [4] Tsianos, K. Replanning: A powerful planning strategy for hard kinodynamic problems / K. Tsianos, L.E. Kavraki // IEEE/R SJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2008. – P. 1667–1672.