

УДК 681.5.015

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ РОБОТОВ ДЛЯ
СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

М. М. КОЖЕВНИКОВ

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»

Могилев, Беларусь

Эффективное внедрение и использование роботизированных технологических комплексов (РТК) тесно связано с созданием систем автономного программирования роботов. При этом одной из наиболее трудоемких задач является задача планирования траектории манипулятора в рабочей среде с препятствиями. Эта задача заключается в нахождении последовательности локаций робота движение по которым не приводит к столкновениям с препятствиями, причем начальная и целевая конфигурации заданы ранее. В данной работе предложен новый метод планирования траекторий роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями, основанный на детерминистической дискретизации конфигурационного пространства. В отличие от известных, этот метод учитывает сложную форму препятствий характерную для сборочно-сварочных РТК.

Рассмотрим, робот-манипулятор с n поворотными сочленениями (рис. 1, а), в рабочей зоне которого расположено некоторое множество препятствий $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$. 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, б). 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 свободных от столкновений конфигураций робота-манипулятора определяется следующим образом

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

где $M(q_a)$ – 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

$$\mathbf{d}_{ab} = \{\mathbf{d}_k | M(\mathbf{d}_k) \cap B = \emptyset\}, \quad (3)$$

где $\mathbf{d}_k = q_a + (h/Nh)(q_b - q_a)$, $h=0:Nh$, $Nh > N$ – 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 \mathbf{d}_{ab} и индекс b удовлетворяет одному из соотношений

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

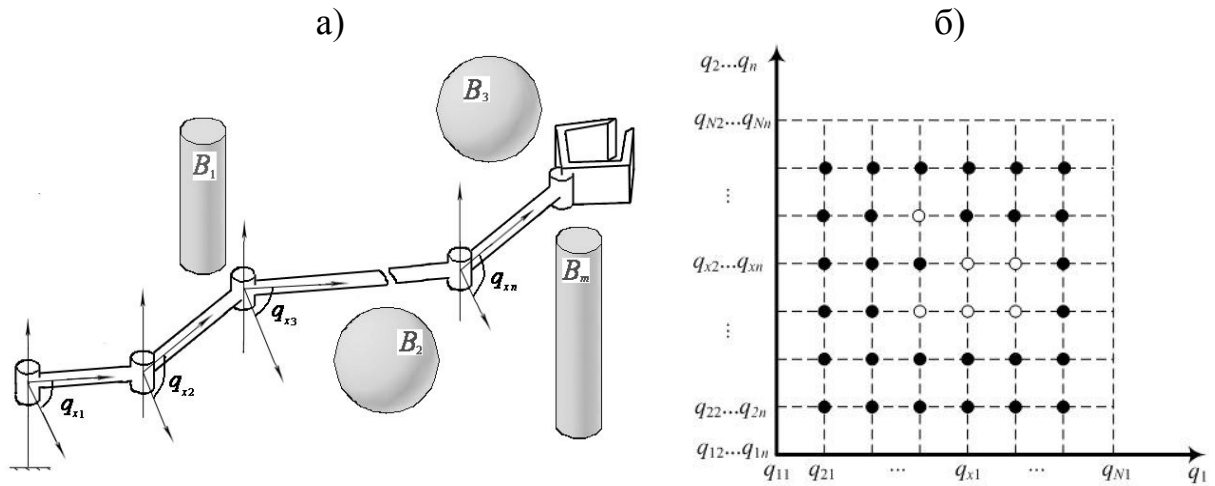


Рис. 1. Робот-манипулятор и его конфигурационное пространство

Траектория, соединяющая стартовую q_{s1} и целевую q_{sg} конфигурации робота, представляет собой последовательность, состоящую из соседних конфигураций $q_{s1}, q_{s2}, \dots, q_{sg} \in DC_f$ и прямолинейных участков, соединяющих эти конфигурации $\mathbf{d}_{s1s2}, \mathbf{d}_{s1s2}, \dots, \mathbf{d}_{(sg-1)sg}$. Критерий «качества» траектории в дискретном конфигурационном пространстве зададим в виде

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

где $T_{sk(sk+1)}$ – значение весовой функции для прямолинейного отрезка траектории $\mathbf{d}_{sk(sk+1)}$.

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 достигает минимума критерий (5).*

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

Для решения сформулированной задачи планирования траектории предлагается использовать метод, основанный на топологически упорядоченной нейронной сети (рис. 2). Распределение потенциалов ϕ_a ($a=1:N^n$) на выходе нейронной сети с такой структурой определяет потенциальное поле робота-манипулятора в соответствии со следующей системой уравнений

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

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 (рис. 2, 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.

Предложенный алгоритм планирования траектории имеет вид:

Исходные данные: геометрическая модель робота и препятствий, 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 $T_{ab_k} \leftarrow 1/3n$ ($k=1:d$);
- 5: **повторять**
- 6: Вычислить потенциальное поле ϕ_a ($a=1:N^n$) путем интегрирования (6);
- 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: $T_{ab_k} \leftarrow 0$;
- 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. Если такой участок траектории существует, данная функция возвращает значение «1», иначе она возвращает значение «0».

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, соответствующая значению потенциала ϕ ; $explore(q(\phi_a), q(\phi_b))$ – функция, проверки существования прямолинейного участка траектории между двумя конфигурациями робота $q(\phi_a)$ и $q(\phi_b)$ в соответствии с формулой (3).

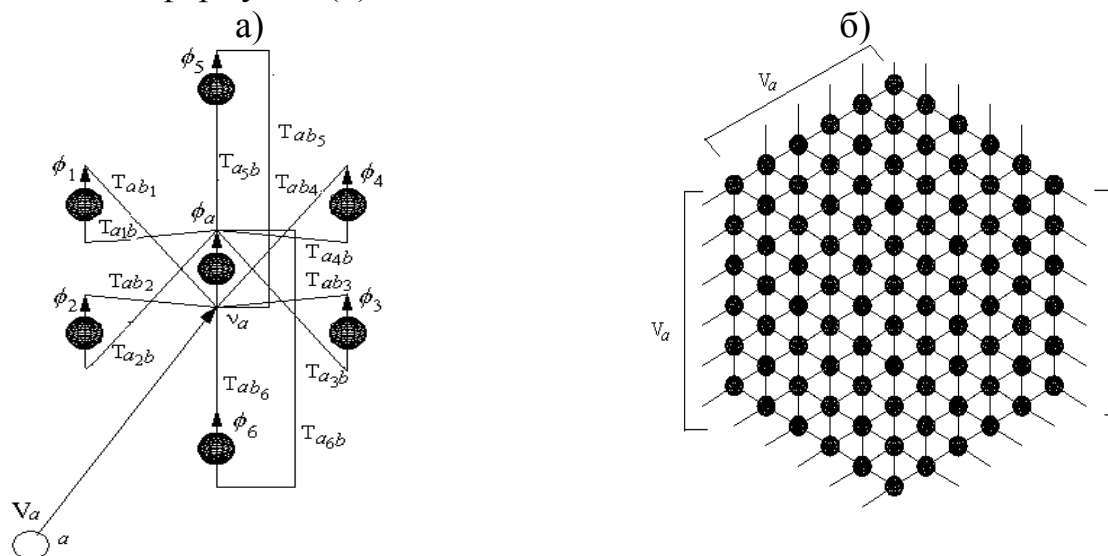


Рис. 2. Топологически упорядоченная нейронная сеть

Исследование эффективности предложенного алгоритма выполнялось в среде САПР ROBOMAX. В качестве объекта использовалась роботизированная ячейка, включающая робот-манипулятор KR125, оснащенный сварочными клещами, свариваемую деталь (деталь кабины автомобиля ГАЗель), кондукторную плиту и технологическую оснастку. В качестве препятствий, в данном случае, рассматриваются: конструкция, технологическая оснастка, а также кондукторная плита. Результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность предложенного подхода.