

АВТОНОМНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫМИ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ

Кожевников М. М., Чумаков О. А., Илюшин И. Э.

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств,
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

Могилев, Республика Беларусь

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: kmmk@mail.ru, iliue@yandex.by, olegchumakov@bsuir.by

Предложен метод автономного программирования системы управления роботом-манипулятором, который реализует поиск рациональной траектории вдоль сварных швов и учитывает пространственные и кинематические ограничения при формировании управляющей программы. Метод основан на использовании цифровой модели сборочно-сварочной системы, которая описывает ее геометрические и кинематические параметры, позволяет определить оценки качества различных вариантов управляющей программы робота по критерию объема движений и выбрать рациональный вариант такой программы. Предложенный метод показал эффективность при использовании в составе программного пакета, для решения задач автоматизации проектирования систем управления роботами.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение сборочно-сварочных роботов манипуляторов в условиях современного промышленного производства обусловлено тем, что они обеспечивают высокую гибкость при смене номенклатуры сварочных инструментов и сварных конструкций. Технология сварки каждой разновидности сварных конструкций может отличаться одна от другой последовательностью наложения и пространственным положением сварных швов, местами закрепления сварных конструкций и направлениями швов. Традиционные методы программирования систем управления сборочно-сварочными манипуляторами предполагают достаточно трудоемкий процесс переобучения робота программным движениям при изменении номенклатуры сварочных инструментов и сварных конструкций [1]. Однако более эффективным подходом к созданию программ управления роботом является его автономное программирование на основе компьютерной цифровой модели роботизированной сборочно-сварочной системы [1-3].

Задача автономного программирования может быть решена в два этапа. Первый этап предполагает поиск рациональной траектории робота на основе цифровой модели системы, которая учитывает пространственные и кинематические ограничения. На втором этапе полученная траектория адаптируется к техническим возможностям робота и его системы управления и преобразуется в технологическую программу пригодную для передачи в стойку управления сборочно-сварочной системой. Следует отметить, что наиболее из двух указанных задач первая является вычислительно затратной поскольку поиск рационального решения зависит от ряда факторов. Поэтому актуальное направление исследований связанное эффек-

тивным решением задач автономного программирования роботов с учетом особенностей цифрового моделирования сборочно-сварочных систем.

1. МЕТОД АВТОНОМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В сборочно-сварочных системах технологическая программа управления роботом должна обеспечить движение сварочной горелки вдоль сварных швов, которые в общем виде могут быть описаны множеством точек в декартовом пространстве $\{p_i \in R^3\}$, $i = 1 \dots N$ [4]. Тогда положение и ориентация сварочной горелки (рис. 1) при ее движении вдоль сварных швов может быть представлена в виде следующей матрицы

$$H_i = \begin{bmatrix} a_i & a_i \times n_i & n_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $n_i \in R^3$ – вектор, задающий ось поворота сварочной горелки, $(a_{i+1} - a_i) / |p_{i+1} - p_i|$ – вектор, задающий направление движения сварочной горелки.

С учетом (1) задача описания движения робота-манипулятора (рис. 2) вдоль набора сварных швов может быть представлена в виде уравнения (формула 2), где ${}^b L_f(q_{i,j}^k)$ – матрица параметров манипулятора, ${}^0 L_b(x_k)$ – матрица преобразования связывающая мировую и базовую системы координат, $q_{i,j}^k \in R^d$ – углы в поворотных сочленениях робота, $R(a_i, \alpha_j)$, $R(a_i \times n_i \beta_i)$, $R(n_i, \alpha_i) H_i$ – матрицы поворота сварочной горелки на углы $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$, d – количество степеней свободы робота.

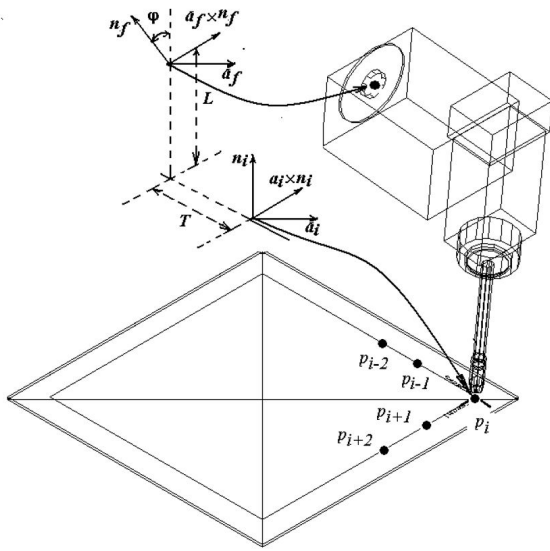


Рис. 1 – Системы координат сварочной горелки

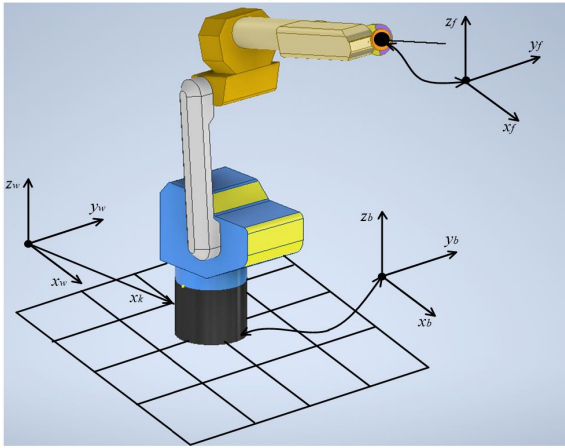


Рис. 2 – Системы координат робота манипулятора

При автономном программировании робота-манипулятора значения углов $q_{i,j}^k$ ограничены как геометрическими так и кинематическими параметрами сборочно-сварочной системы. В общем виде такие ограничения можно записать следующим образом

$$\Omega_{kin}(q_{i,j}^k, \mu) = 0, \Omega_{col}(q_{i,j}^k, \mu) = 0, \quad (3)$$

где $\Omega_{kin}, \Omega_{col}$ – функции, принимающие нулевые значения, если кинематические и геометрические ограничения выполняются. Оценка качества движения робота-манипулятора в соответствии с технологической программой управления оценивается по критерию объема движений в его сочленениях

$$J = \sum_{j=1}^N |q_{n,i,j}^k - q_{n,i-1,l}^k|, \quad (4)$$

$$R(a_i, \alpha_j) R(a_i \times n_i, \beta_i) R(n_i, \alpha_i) H_i = {}^0 L_b(x_k)^b L_f(q_{i,j}^k)^f L_p. \quad (2)$$

где $n = 1 \dots d$. С учетом (4) может быть сформулирован следующий критерий для оценки качества любой последовательности движений всех звеньев манипулятора

$$\min_{\alpha_j, \beta_j, \gamma_j} \sum_{n=1}^d w_n J_n, \quad (5)$$

где w_n – весовые коэффициенты.

II. СИСТЕМА АВТОНОМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОВ

Сформулированная задача поиска рациональной по критерию (5) последовательности движений робота-манипулятора может быть достаточно эффективно решена известными методами поиска, например методом направленного графа [5]. Для автоматического преобразования полученных последовательностей движений робота-манипулятора в технологическую программу разработана специальная интегрированная среда. В состав этой среды входят редактор программного кода и отладчик. При этом все найденные последовательности движений выводятся на экран с помощью многооконого интерфейса. Созданная программа может быть промоделирована, в том числе с использованием кинематической и динамической моделей робота. Эффективность предложенного метода и системы автономного программирования сборочно-сварочных роботов манипуляторов подтверждается рядом примеров практического применения при создании управляющих программ.

1. Hong, T. S. Robotic welding technology / T. S. Hong, M. Ghobakhloo, W. Khaksar // Comprehensive materials processing. – 2019. – №6. – P. 77–99.
2. Wang, B. Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives / B. Wang, S. J. Hu, L. Sun, T. Freiheit // Journal of Manufacturing Systems. – 2020. – №56. – P. 373–391.
3. Benakis, M. Welding process monitoring applications and INDUSTRY 4.0. / M. Benakis, C. Du, A. Patran, R. French // In 2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). – 2019. – P. 1755–1760.
4. Кожевников, М. М. Методы и алгоритмы планирования траекторий роботов-манипуляторов для лазерной резки / М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, В. М. Шенков, И. Э. Илюшин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – №2(63), – С. 4–12.
5. Кожевников, М. М. Методы и алгоритмы генерации программных траекторий роботов-манипуляторов в процессе дуговой сварки / М. М. Кожевников, О. А. Чумаков, И. Э. Илюшин, Л. А. Лоборева // Доклады БГУИР. – 2019. – №1(119). – С. 19–25.