

## КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ В СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Илюшин И.Э., Кожевников М.М.

Могилевский государственный университет продовольствия

E-mail: CRUSH-wciiitft@yandex.ru

**Abstract.** *A new method is proposed for automatic control of robotic manipulators in workspace with obstacles, which in contrast to known effectively takes in to account complex shape of the elements of the robotic technological cell. The effectiveness of the proposed method is confirmed by the tests results.*

Задача автоматического управления роботом-манипулятором в рабочей среде с препятствиями возникает при создании современных промышленных роботизированных технологических комплексов (РТК) преимущественно в машиностроении, что особенно актуально для Республики Беларусь: для повышения эффективности сборочно-сварочных технологических процессов необходимо их техническое переоснащение.

На сегодняшний день алгоритмов управления роботами-манипуляторами существует множество, большая часть их построена на модели конфигурационного пространства - пространства состояний робота, определяемых положением, ориентацией и углами поворота звеньев. Задача управления роботом в конфигурационном пространстве состоит в поиске свободной от столкновений траектории, то есть заключается в поиске траектории на дискретном графе путём выявления свободных от столкновения состояний робота в конфигурационном пространстве.

Рассмотрим, сварочный робот-манипулятор  $M$  с поворотными сочленениями, в рабочей зоне которого расположено некоторое множество препятствий  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_m\}$ . Конфигурацию этого робота зададим в виде вектора  $\mathbf{q} = [q_i]^T$ , где  $q_i$  – значения углов в сочленениях звеньев и кисти ( $i = 1:n$ ),  $n$  – число степеней свободы. Полное конфигурационное пространство робота определяется как множество всех возможных конфигураций робота, включая те при которых имеют место столкновения с препятствиями  $C = \{\mathbf{q}\}$ . Зададим геометрическую модель робота-манипулятора, установленного в конфигурацию  $\mathbf{q}$ , в виде множества  $M(\mathbf{q})$ . Тогда свободное конфигурационное пространство определяется как

$$C_f = \{\mathbf{q} \in C \mid M(\mathbf{q}) \cap B = \emptyset\}.$$

Задача определения пересечения множеств  $M(\mathbf{q})$  и  $B$  решается путем проведения теста столкновения между роботом и препятствиями.

Стоит отметить, что аналитически вычислить свободное от столкновений конфигурационное пространство зачастую бывает затруднительно, поэтому для его приближенного описания была применена статистическая модель, или карта вероятных траекторий (*probabilistic roadmap, PRM*).

Данный подход состоит в следующем: модель свободного конфигурационного пространства представляется в виде неориентированного графа

$$R = (V, E).$$

Вершины графа  $V$  представляют собой множество свободных от столкновений конфигураций, координаты которых являются случайными величинами. Формирование множества  $V$  осуществляется следующим образом: генерируется случайная конфигурация робота-манипулятора и выполняется тест столкновения робота с препятствиями. При отсутствии столкновений конфигурация добавляется в множество  $V$ , в противном случае она отбрасывается. Ребрам  $E$  ставятся в соответствие простые участки траекторий между свободными от столкновений конфигурациями.

Однако нерегулярная форма препятствий в конфигурационном пространстве сборочно-сварочных роботов приводит в ряде практических случаев к тому, что сходимость алгоритма *PRM* не достигается за приемлемое для практики время, ведь он характеризуется нерегулярной структурой поиска, не обладает оптимальной дисперсией и оптимальной величиной отклонения. Особенно данная проблема актуальна при выявлении в конфигурационном пространстве робота «проблемных зон». Для решения данной проблемы предлагается модификация алгоритма *PRM* в которой генерация конфигураций робота производится с использованием метода решетчатой карты траекторий (*lattice roadmap, LRM*).

Предложенный алгоритм генерации конфигураций типа *LRM* основан на том, что проблемные зоны конфигурационного пространства робота дискретизируются на основе решетки и для каждой дискретной конфигурации робота задается весовая функция. Далее производится поиск фрагмента траектории между двумя конфигурациями робота, принадлежащими графу *R* и находящимися в окрестности проблемной зоны. Эти конфигурации принимаются стартовой и целевой. Если такой фрагмент траектории найден, то все принадлежащие ему конфигурации включаются в множество вершин *V* графа.

Эффективность предложенного метода планирования исследовалась в экспериментальной системе автономного программирования РТК. В качестве объекта исследования использовалась роботизированная ячейка для дуговой сварки металлической конструкции состоящей из 9 труб. Ячейка включает робот-манипулятор KR125, оснащенный сварочной горелкой (рисунок 1). На трехмерную модель металлоконструкции нанесено 14 сварных швов имеющих форму эллипса изогнутого в пространстве. Предложенный алгоритм позволил выполнить синтез свободных от столкновений траекторий робота-манипулятора, обеспечивающих движение сварочной горелки вдоль каждого из 14 швов. На основе полученных траекторий сформированы технологические программы сварки на языке программирования робота *SRCL (Siemens Robot Control Language)*. Тестирование этих программ в подсистеме *off-line* программирования показало, что она обеспечивает свободное от столкновений движение робота-манипулятора. Анализ результатов данных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый подход эффективен при синтезе траекторий роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями.

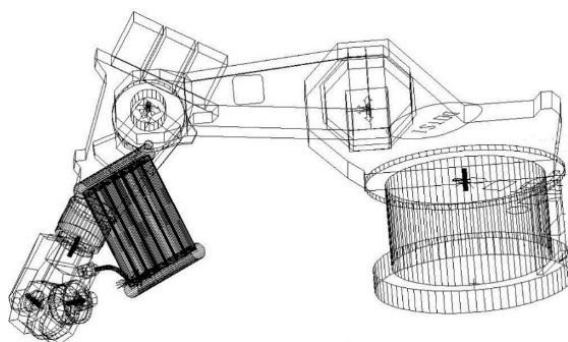


Рисунок 1 – Роботизированная ячейка для дуговой сварки