

УДК 681.5.015
МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ СБОРОЧНЫХ РОБОТОВ-
МАНИПУЛЯТОРОВ В СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

М.М. КОЖЕВНИКОВ, С.Н СУБОЧ
Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»
Могилев, Беларусь

Рост эффективности внедрения роботизированных технологических комплексов связан с созданием систем автономного программирования. Одной из самых трудоемких задач при разработке таких систем является задача планирования траекторий роботов в среде с препятствиями. Такие проблемы возникают также на производствах, где сборочные, сборочно-сварочные и погрузочно-разгрузочные операции составляют 40–50 % в объеме общей трудоемкости, поэтому создание легко перенастраиваемого оборудования на базе промышленных роботов-манипуляторов является экономически целесообразным. Актуальность этой проблемы для Республики Беларусь обусловлена необходимостью в техническом перевооружении технологических процессов с целью повышения их эффективности, что включает в себя улучшение качества выпускаемой продукции, рост производительности и гибкости производства.

Большинство известных алгоритмов планирования траектории основаны на модели конфигурационного пространства робота-манипулятора, заданной в виде дискретного множества свободных от столкновений конфигураций. Эти дискретные конфигурации генерируются случайным либо детерминистическим способом. Общим недостатком алгоритмов планирования траекторий, основанных на генерации случайных конфигураций, является то, что траектория робота может быть найдена за конечное время лишь с определенной вероятностью, т.е. свойство «полноты» решения также обеспечивается лишь с определенной вероятностью. В ряде работ показано, что при работе манипулятора в среде с препятствиями сложной формы методы планирования, основанные на детерминистических схемах дискретизации конфигурационного пространства гораздо более эффективны по сравнению с вероятностными методами, вследствие их гарантированной сходимости за конечное число итераций. Однако детерминистические алгоритмы предполагают дискретизацию конфигурационного пространства с очень высоким разрешением, чтобы обеспечить существование прямолинейных участков траекторий (связанность) между узлами сетки дискретизации. Это ведет к тому, что количество тестов столкновения при планировании растет экспоненциально с ростом размерности конфигурационного пространства. С другой стороны вероятностные алгоритмы позволяют обойти проблему размерности, но не учитывают форму препятствий и звеньев манипулятора, что приводит к

реализации траекторий низкого качества с большим объемом движений, причем сходимость достигается, только с некоторой вероятностью.

В данной работе предложен новый метод планирования траекторий роботов-манипуляторов в рабочей среде с препятствиями, основанный на детерминистической дискретизации конфигурационного пространства, обеспечивающей свойство «полноты» решения. В отличие от известных, этот метод учитывает сложную форму препятствий характерную для сборочно-сварочных роботизированных комплексов. Предложенный подход основан на топологически упорядоченной нейронной сети, которая моделирует весовую функцию, характеризующую расположение робота-манипулятора относительно препятствий. В соответствии с этим подходом первоначально генерируется приближенная траектория робота, конфигурационное пространство которого дискретизировано с низким разрешением, а также предполагается отсутствие столкновений при движении робота между узлами сетки дискретизации. Если при движении робота по такой траектории зафиксировано столкновение, то матрица связей в нейронной сети модифицируется и генерируется новая траектория при неизменном разрешении сетки дискретизации. Такой процесс повторяется до тех пор, пока свободная от столкновений траектория найдена, либо предельное число итераций достигнуто. Последнее означает, что необходимо увеличить разрешение сетки дискретизации и повторить процесс поиска траектории. Такой метод, в отличие от известных, позволяет генерировать траектории робота без предварительной проверки его движений на столкновение, что обеспечивает приемлемое практики количество тестов столкновения при сохранении свойства «полноты» при фиксированном шаге дискретизации.

Разработанный алгоритм программно реализован с использованием пакета программ *Robotics Toolbox for [MatLab](#)* и тестировался в среде *MatLab* 6.5. На основе моделирования выполнена оценка показателей эффективности работы предложенного алгоритма и его сравнение с известными алгоритмами планирования, основанными на картах вероятных траекторий робота и низкодисперсионной дискретизации конфигурационного пространства. В докладе приведены результаты оценки сравнительной эффективности. Анализ результатов данных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый подход эффективен при планировании траекторий в сборочно-сварочных РТК.

Эффективность предложенного алгоритма подтверждается также примерами практического применения при планировании траекторий промышленных роботов-манипуляторов РМ-01 и KR-125 в среде автономного программирования.