

УДК 664.012  
РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ПЛАНИРОВАНИЯ  
ТРАЕКТОРИЙ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

И. Э. ИЛЮШИН, М. М. КОЖЕВНИКОВ, А. В. СТАРОВОЙТОВ

Учреждение образования  
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»  
Могилев, Беларусь

Для планирования траекторий движения робота-манипулятора удобно использовать его конфигурационное пространство (С-пространство), где в качестве координат выступают углы в сочленениях звеньев. Тогда задача планирования сводится к нахождению непрерывной траектории в конфигурационном пространстве, при условии, что стартовая и целевая конфигурации заданы заранее.

Наиболее общим подходом в решении задачи планирования траектории робота-манипулятора в среде с препятствиями является алгоритм классического поиска по сетке, основанный на переборе возможных конфигураций, однако, он характеризуется экспоненциальным увеличением количества используемых дискретных конфигураций, при увеличении количества степеней свободы, что приводит к возникновению проблемы размерности.

В связи с этим, было решено применить алгоритм на основе карты вероятных траекторий (probabilistic roadmap, PRM), который позволяет эффективно решить проблему размерности, возникающую при управлении роботом в избыточном конфигурационном пространстве.

При данном подходе, модель свободного конфигурационного пространства робота-манипулятора представляется в виде неориентированного графа  $R=(V, E)$ . Вершины  $V$  такого графа представляют собой множество свободных от столкновений конфигураций робота, координаты которых являются случайными величинами. Формирование множества  $V$  осуществляется следующим образом: генерируется случайная конфигурация робота-манипулятора и выполняется тест столкновения робота с препятствиями. Если столкновения нет, то конфигурация добавляется в множество  $V$ , в противном случае она отбрасывается. Ребрам графа  $E$  ставятся в соответствие простые (прямолинейные либо дуговые) участки траекторий между свободными от столкновений конфигурациями.

Несмотря на то, что данный алгоритм хорошо подходит для решения проблемы размерности, он характеризуется нерегулярной структурой поиска, не обладает оптимальной дисперсией и оптимальной величиной отклонения. Такой алгоритм не обеспечивает свойство «полноты» решения, поскольку при неудачном выборе случайно заданных точек может оказаться, что нельзя найти ни одной траектории от начального положения до

целевого, особенно в случае выявления «проблемных зон» в конфигурационном пространстве робота, таких как, например, «узкий коридор».

Для решения данной проблемы предлагается модификация алгоритма 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». Если такой фрагмент траектории найден, то все принадлежащие ему конфигурации включаются во множество вершин  $V$  графа  $R$ .

Эффективность разработанного алгоритма исследована с использованием подсистемы автономного программирования в САПР ROBOBOX. Разработанные алгоритмы синтеза конфигурационного пространства сборочно-сварочных роботов-манипуляторов реализованы программно в среде Visual C++. Визуализация вычислений проводилась с использованием пакета MatLab. В качестве объекта исследования рассмотрен РТК, включающий робот-манипулятор KR125, оснащенный сварочными клещами; деталь задней стенки кабины автомобиля ГАЗель и технологическую оснастку. В качестве препятствий, в данном случае, рассматриваются конструкция, технологическая оснастка, а также кондукторная плита. Методика тестирования состояла в задании различных (стартовой и целевой) локаций робота, поиске траекторий между ними и тестировании этих траекторий на адекватность в подсистеме автономного программирования САПР ROBOBOX. Под адекватностью траектории, в данном случае, понимается отсутствие столкновений и выхода за технологические ограничения при движении по этой траектории. Результаты тестирования подтверждают эффективность алгоритма.