

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ В РАБОЧЕЙ СРЕДЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Могилевский государственный университет продовольствия
Могилев, Республика Беларусь

E-mail: CRUSH-wciitft@yandex.ru, kmmk@mail.ru

Предложен комбинированный алгоритм автоматического управления промышленным роботом манипулятором. Данный алгоритм успешно позволяет избежать проблемы размерности, а также учитывает сложную форму препятствий, предотвращая потерю свойства полноты решения.

ВВЕДЕНИЕ

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. Стоит отметить, что данная задача является довольно трудоемкой.

Алгоритмов управления роботами-манипуляторами в среде с препятствиями существует множество, и большинство из них построены на модели конфигурационного пространства – пространства состояний робота, определяемых положением, ориентацией и углами поворота звеньев [1]. А задача управления роботом в конфигурационном пространстве состоит в поиске свободной от столкновений траектории, от одной конфигурации к другой, следовательно, для управления роботом-манипулятором интерес представляет именно его свободное от столкновений конфигурационное пространство. Другими словами, задача управления роботом сводится к поиску траектории на дискретном графе путём выявления свободных от столкновения состояний робота в конфигурационном пространстве.

I. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

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) (см. рис. 1).

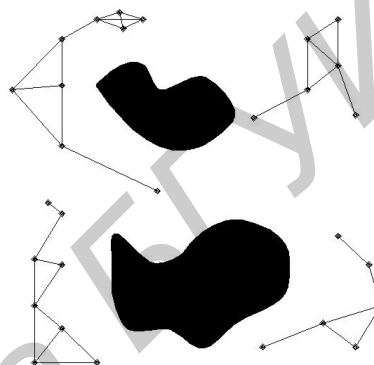


Рис. 1 – Конструирование карты вероятных траекторий

Линии, проведенные на этом рисунке, созданы путем формирования случайным образом большого количества конфигураций и удаления тех из них, которые не проходят тест столкновений. После этого любые два узла соединяются прямой линией. Конечным итогом выполнения всех этих операций становится создание рандомизированного графа в свободном конфигурационном пространстве робота. После того, как к этому графу добавлены позиции начальной и целевой конфигураций робота, задача управления сводится к поиску траектории на дискретном графе.

Таким образом, данный подход состоит в следующем: модель свободного конфигурационного пространства представляется в виде неориентированного графа

$$R = (V, E). \quad (1)$$

Вершины V графа (1) 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 E

графа (1) ставятся в соответствие простые (прямолинейные либо дуговые) участки траекторий между свободными от столкновений конфигурациями. Такой подход к формированию статистической модели позволяет эффективно решить проблему размерности, возникающую при планировании траекторий промышленных роботов-манипуляторов [2].

Однако, существенно 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. Это обусловлено потерей свойства полноты статистической модели по сравнению с ее реализациями в виде сети фиксированной размерности. 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) [3-6]. Решетка представляет собой множество конфигураций робота-манипулятора с регулярной структурой соседних элементов (см. рис. 2).



Рис. 2 – Схема генерации решётки

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 (1) 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 (1).

II. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА

Эффективность предложенного метода планирования исследовалась в экспериментальной системе автономного программирования

РТК. Предложенный алгоритм синтеза реализован на языке программирования C++ и интегрирован в данную САПР. В качестве объекта исследования использовалась роботизированная ячейка для дуговой сварки металлической конструкции состоящей из 9 труб. Ячейка включает робот-манипулятор KR125, оснащенный сварочной горелкой. 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 САПР ROBOMAX 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработан комбинированный алгоритм управления промышленным роботом манипулятором, который успешно позволяет избежать проблемы размерности, а также учитывает сложную форму препятствий, предотвращая потерю свойства полноты решения. Кроме того, данный подход учитывает ограничения на ориентацию технологического инструмента и точность позиционирования. Эффективность алгоритма проверена программно на примере робота-манипулятора KR125.

1. Choset, H. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations / H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun // MIT Press. Boston, 2005. – 680 p.
2. LaValle, S. M. Planning Algorithms / S. M. LaValle // Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2006. – 1023 p.
3. LaValle, S. M. On the relationship between classical grid search and probabilistic roadmaps / S. M. LaValle, M. Branicky, S. R. Lindemann // International Journal of Robotic Research. – 2004. – № 23(7/8). – P. 673-692.
4. Branicky, M. Quasi-randomized path planning / M. Branicky, S. M. LaValle, L. Yang, K. Olsen // International Conference on Robotic and Automation, Seoul, Korea. – 2001. – P. 1481-1487.
5. Yershova, A. Improving motion planning algorithms by efficient nearest-neighbor searching / A. Yershova, S. M. LaValle // IEEE Transactions on Robotics. – 2007. – №23(1). – P. 151-157.
6. Tezuka, S. Quasi-monte carlo: The discrepancy between theory and practice / S. Tezuka // Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods, Springer-Verlag, Berlin. – 2002. – P. 124-140.