

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И АЛГОРИТМА СИНТЕЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНФИГУРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ В 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-wciiitft@yandex.ru, kmmk@mail.ru

Предложены новый метод и алгоритм синтеза статистической модели конфигурационного пространства сборочно-сварочных роботов-манипуляторов, предложен метод поиска оптимальных траекторий с применением нейронной сети. Эффективность предложенных методов и алгоритмов проверена программно.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в Республике Беларусь существует необходимость в техническом переоснащении сборочно-сварочных процессов на промышленных предприятиях с применением промышленных роботов-манипуляторов для выполнения вредных или опасных для здоровья человека технологических операций. Стоит так же отметить, что на данный момент на большинстве предприятий для автоматического управления роботами-манипуляторами применяется метод ручного обучения, однако это приводит к тому, что процесс записи необходимой траектории в память становится довольно длительным. Кроме того, качество данного процесса зависит непосредственно от навыков оператора, что повышает риск совершения ошибок. В связи с этим целесообразно будет производить моделирование и идентификацию РТК с последующей разработкой алгоритмов управления. Это призвано сократить время программирования траекторий промышленных роботов-манипуляторов, а также увеличить надежность. В данной работе предложен метод синтеза статистической модели конфигурационного пространства на основе точных трехмерных САД-моделей сборочно-сварочного робота-манипулятора и препятствий. Такой подход, позволяет обеспечить необходимую точность позиционирования при выполнении тестов столкновений робота с препятствиями и эффективно учесть форму звеньев робота и препятствий.

I. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕПЯТСТВИЙ

Технологическая оснастка, а также конструкции в сборочно-сварочных РТК характеризуются сложной геометрической формой, поэтому аналитический расчет векторной модели препятствий представляет значительную трудность. Поэтому предложено использовать численный подход, позволяющий рассчитать поверхности препятствий с заданной точностью. Предложенный метод расчета включает аппрок-

симацию препятствий примитивами и наложение сетки заданной дискретности на поверхность каждого примитива и задание модели в виде множества векторов, определяющих координаты узлов на сетке, наложенной на поверхность каждого примитива.

В качестве примитивов, используемых для аппроксимации препятствий могут выступать параллелепипеды, цилиндры, а также шарообразные примитивы. Число примитивов, а также их размеры выбираются исходя из критерия реализации заданной ошибки аппроксимации, зависящей от точности позиционирования робота, а именно – не превосходящей ее. Геометрический смысл ошибок аппроксимации поверхности препятствия примитивами поясняется на рис. 1.

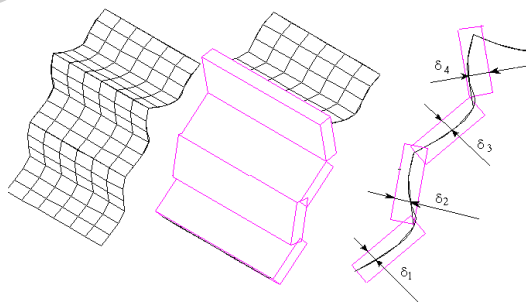


Рис. 1 – Аппроксимация препятствия примитивами с использованием САД-модели

II. МОДЕЛЬ КОНФИГУРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Для поиска оптимальной траектории робота-манипулятора необходимо вычисление свободного от столкновений конфигурационного пространства C_f , однако в связи с трудностью аналитического расчета, для приближенного описания C_f используются его статистические модели [1]. Свободное от столкновений пространство будет рассматриваться в виде графа $R=(V, E)$, где V – множество свободных от столкновений конфигураций, а E – множество прямолинейных траекторий соединяющих сво-

бодные от столкновения конфигурации. Вычисление данного графа производится в следующей последовательности: на первом этапе производится формирование множества вершин графа путем генерации случайных конфигураций робота q . Для каждой из этих случайных конфигураций выполняются: решение задачи теста столкновения между векторными моделями робота и препятствий; решение прямой задачи кинематики и проверка выполнения технологических ограничений на ориентацию инструмента. В случае если столкновения отсутствуют и технологические ограничения удовлетворяются, то в граф R добавляется новая вершина.

На втором этапе формируется множество ребер E графа R . Для этого прямолинейные отрезки, соединяющие соседние конфигурации, дискретизируются с некоторым разрешением и для каждой из дискретных конфигураций выполняется тест столкновения и проверка технологических ограничений. В случае, если столкновения отсутствуют и технологические ограничения удовлетворяются для всех дискретных конфигураций, принадлежащих соответствующему прямолинейному отрезку, то в граф R добавляется ребро.

На третьем этапе производится включение стартовой и целевой конфигураций в граф R . Для этого из множества V выделяются два подмножества конфигураций соседних со стартовой и целевой конфигурациями, соответственно. Далее, по аналогии со вторым этапом, производится поиск прямолинейных траекторий соединяющих стартовую и целевую конфигурации с соответствующими соседними конфигурациями и в граф R добавляются соответствующие ребра. Необходимо отметить, что существенно нерегулярная форма препятствий в конфигурационном пространстве сборочно-сварочных роботов приводит в ряде практических случаев к тому, что сходимость алгоритмов синтеза статистических моделей не достигается за приемлемое для практики время. Это обусловлено потерей свойства «полноты» статистической модели по сравнению с ее реализациями в виде сети фиксированной размерности [2].

Для решения данной проблемы предлагается модификация алгоритма синтеза статистической модели конфигурационного пространства, в которой генерация конфигураций робота производится с использованием метода решетчатой карты траекторий (LRM) [3]. Конфигурации робота, сгенерированные по методу LRM целесообразно вводить в граф R , в случае выявления «проблемных зон» в конфигурационном пространстве робота [4].

III. ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Задача планирования траектории в дискретном конфигурационном пространстве может

быть сформулирована следующим образом: среди всех последовательностей дискретных конфигураций свободного от столкновений пространства C_f (причем начальная и конечная конфигурации известны заранее), координаты которых лежат внутри области, ограниченной предельно допустимыми значениями углов в сочленениях, найти оптимальную последовательность конфигураций. Для достижения поставленной задачи применялась топологически упорядоченная нейронная сеть [5]: каждой дискретной конфигурации робота ставился в соответствие нейрон с индексом a , соединенный с d соседними нейронами, имеющими индексы b_k , $k=1\dots d$. Таким образом, расположение нейрона в системе координат нейронной сети соответствует некоторой конфигурации робота. Каждому прямолинейному участку траектории между двумя соседними конфигурациями ставилась в соответствие величина весовой связи между нейронами a и b , равная T_{ab} . При поиске траектории производилось суммирование весовых коэффициентов, а оптимизация траектории достигалась путем минимизации данной суммы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной работе разработаны новый метод и алгоритм синтеза статистической модели конфигурационного пространства сборочно-сварочных роботов-манипуляторов для планирования оптимальных траекторий. Предложенный метод и алгоритм синтеза, в отличие от известных, основаны на точных трехмерных САД-моделях сборочно-сварочного робота-манипулятора и препятствия и учитывают ограничения на точность позиционирования технологического инструмента и ограничения на его ориентацию. Кроме того, экспериментально было показано, что алгоритм сходится за приемлемое для практики время при дискретности трехмерного конфигурационного пространства 8000, 25000 и 100000 узлов.

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. Latombe, J.-C. Robot Motion Planning / J.-C. Latombe. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1991. – 651p.
3. Cheng, P. Improving the performance of sampling-based motion planning with symmetry-based gap reduction / P. Cheng, E. Frazzoli, S. M. LaValle // IEEE Transactions on Robotics. – 2008. – №24(2). – P. 488-494.
4. 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.
5. Althoefer, K. Neuro-Fuzzy Motion Planning / K. Althoefer. London: University of London, 1996. – 120 p.