

И. Э. ИЛЮШИН, М. М. КОЖЕВНИКОВ

Учреждение образования  
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»  
Могилев, Беларусь

В современной промышленности довольно широкое распространение получают роботизированные технологические комплексы, особенно это касается машиностроительной отрасли, поскольку выполнение ряда технологических операций считается вредным или опасным для здоровья человека (роботы-манипуляторы используются для автоматизации технологических процессов точечной контактной и дуговой сварки, сборки под сварку на фиксирующих приспособлениях, сборки узлов автомобилей). Однако высокая технологическая сложность таких операций существенно ограничивает применение роботов в этой области: основная сложность заключается в планировании траектории движения роботов-манипуляторов. Однако существующие коммерческие CAD/CAM системы не позволяют решить данную задачу в полном объеме. В большинстве случаев приходится прибегать к применению типовых решений, которые проверяются путем геометрического моделирования. Это решает некоторые проблемы, однако создает и новые: подход очень трудоемкий, а те ошибки, которые появляются в результате наладки, приводят к застою производства, ведь на их устранение и повторное перепрограммирование комплекса уходит немало времени. Поэтому зачастую для планирования траекторий роботов-манипуляторов на производстве применяется так называемый метод ручного обучения, однако это приводит к тому, что процесс записи необходимой траектории в память становится довольно длительным и не всегда надежным, ведь качество напрямую зависит от навыков оператора, осуществляющего запись.

Рассмотрим конфигурационное пространство робота-манипулятора, а точнее множество свободных от столкновений конфигураций робота, то есть свободное от столкновений конфигурационное пространство  $C_f$ . Если задана пара конфигураций  $q_s$  и  $q_g$ , которые являются стартовой и целевой конфигурацией, соответственно, то задача планирования траектории состоит в следующем: необходимо найти непрерывную траекторию  $\tau: [0,1] \rightarrow C_f$  такую, что  $\tau(0)=q_s$  и  $\tau(1)=q_g$ . И поскольку вычисление  $C_f$  представляет значительную трудность, то для приближенного описания данного множества используются его статистические модели.

Задача синтеза статистической модели конфигурационного пространства может быть сформулирована следующим образом: в

свободном конфигурационном пространстве робота  $C_f$  необходимо определить подмножество случайных конфигураций и множество соединяющих их траекторий при ограничениях на точность позиционирования  $\delta$  и ограничениях на ориентацию инструмента.

В данной работе предложен метод синтеза статистической модели конфигурационного пространства на основе точных трехмерных CAD-моделей сборочно-сварочного робота-манипулятора и препятствий. Предложенный метод синтеза основан на задании модели конфигурационного пространства в виде графа  $R=(V, E)$ , где  $V$  – множество свободных от столкновений конфигураций робота манипулятора,  $E$  – множество прямолинейных траекторий соединяющих свободные от столкновения конфигурации. Задача синтеза решается путем последовательной дискретизации  $n$ -мерного конфигурационного пространства робота и выполнением теста на допустимость для каждой дискретной конфигурации. Если дискретная конфигурация проходит тест, то в граф  $R$  добавляется новая вершина.

Для решения задачи планирования траектории предлагается использовать метод, основанный на топологически упорядоченной нейронной сети. В отличие от известных моделей такого типа, предложенная нейронная сеть представляет собой множество, состоящее из  $N^n$  нейронов, которые распределены над областью  $n$ -мерного конфигурационного пространства. Таким образом, каждой дискретной конфигурации робота  $q_a$  ставится в соответствие нейрон, соединенный с  $d$  соседними нейронами. Расположение нейрона в системе координат нейронной сети соответствует некоторой конфигурации робота. Каждому прямолинейному участку траектории между двумя соседними конфигурациями  $q_a$  и  $q_b$  ставится в соответствие величина весовой связи между нейронами  $a$  и  $b$  равная  $T_{ab}$ .

Таким образом, была проведена оптимизация траекторий роботов-манипуляторов, для чего предложена новая статистическая модель для описания свободного от столкновений конфигурационного пространства робота-манипулятора, а также новый алгоритм планирования оптимальных траекторий на основе нейронных сетей. Эффективность предложенного алгоритма планирования оптимальных траекторий роботов подтверждается результатами тестирования в экспериментальной системе моделирования движения роботов.