

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Илюшин И. Э.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
г. Могилев, Республика Беларусь

Для резки материалов на сегодняшний день используются несколько технологий, среди которых следует выделить лазерную резку. Она позволяет с одинаковым успехом обрабатывать твердые и мягкие материалы, отличные по своим физико-механическим свойствам: сталь, титан, латунь, оргстекло, пластик, дерево и древесные материалы, керамические материалы, камень. Предлагаемая работа посвящена задачам поиска оптимальных траекторий роботов-манипуляторов (РМ) для лазерной резки; такие задачи возникают при оптимизации компоновок роботизированных технологических комплексов (РТК) в процессе модернизации автоматизированных производств на предприятиях. Робот-манипулятор рассматривается как кинематическая цепь из звеньев и поворотных сочленений, при этом поиск траектории выполняется в конфигурационном пространстве РМ – пространстве, в котором в качестве условных координат выступают углы поворота звеньев и ориентации технологического инструмента. Это пространство конфигураций разбито на два подпространства: в первое входят все конфигурации, достижимые для промышленного робота (оно же – свободное пространство), во второе – конфигурации, недостижимые для РМ (занятое пространство). При оптимизации компоновок РТК осуществляется дискретизация области допустимых значений координат базы робота-манипулятора, после чего для каждого полученного значения осуществляется поиск траектории с минимальным объемом движений робота-манипулятора

$$\sum_{m=1}^{g-1} (\mathbf{q}_{m+1} - \mathbf{q}_m) \rightarrow \min,$$

где  $\mathbf{q} = [q_i]^T$  – конфигурация манипулятора, определяемая как вектор, для которого  $q_i$  – значения углов в сочленениях РМ, рад;  $i = 1..n$ ,  $n$  – число степеней свободы робота-манипулятора;  $\mathbf{q}_1$  и  $\mathbf{q}_g$  – стартовая и целевая конфигурации робота. Кроме того, при поиске траектории учитываются технологические ограничения, накладываемые на ориентацию рабочего инструмента (резака) в процессе обхода контура резки: лазер необходимо ориентировать строго перпендикулярно (рисунок 1) и осуществлять вращение на угол  $\gamma \in (-\pi, \pi]$  относительно нормали к обрабатываемой поверхности.

Пространство свободных конфигураций РМ описано при помощи модели, которая представляет собой неориентированный граф  $\mathbf{R} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ . Вершины  $\mathbf{V}$  рассматриваемого графа – это множество свободных от столкновений конфигураций манипулятора. Формирование множества вершин графа  $\mathbf{V}$  производится за счет генерации случайных конфигураций робота и проверки их на столкновение. Если столкновение отсутствует, то конфигурация включается в множество вершин  $\mathbf{V}$ , в противном случае она исключается. Ребрам графа  $\mathbf{E}$  соответствуют прямолинейные фрагменты траекторий от одной вершины из множества  $\mathbf{V}$  к соседней. Зона, в которой расположено большое количество препятствий, дискретизируется при помощи топологически упорядоченной решетки ввиду того, что вероятность

выявления такой зоны случайным методом крайне мала. В результате вершины и ребра полученной решетки включаются в граф **R**.

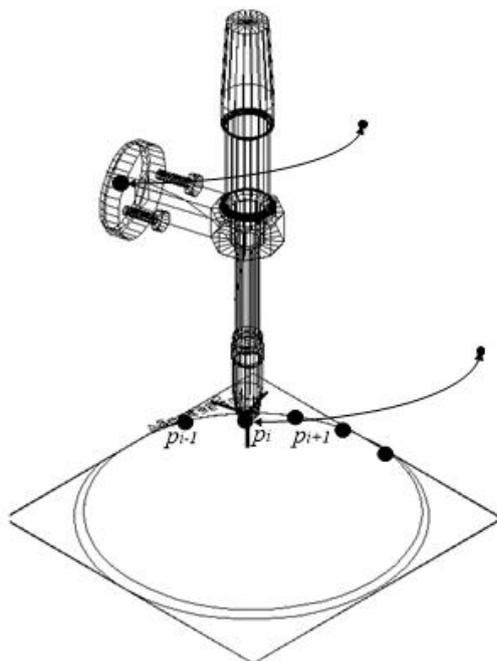


Рисунок 1 – Перпендикулярная ориентация лазера

Таким образом, метод поиска оптимальных траекторий роботоманипуляторов в процессе лазерной резки предполагает реализацию следующих этапов:

1. Формируется множество **V**, которое включает  $N_{max}$  конфигураций РМ, свободных от столкновений и удовлетворяющих технологическим ограничениям, накладываемым на ориентацию лазера.

2. Осуществляется поиск прямолинейных фрагментов траекторий между соседними конфигурациями  $\mathbf{q}_i$ ,  $\mathbf{q}_j$ , и эти фрагменты включаются в множество **E**.

3. В случае, когда между соседними конфигурациями  $\mathbf{q}_i$ ,  $\mathbf{q}_j$  не существует прямолинейного фрагмента траектории и рассматриваемые конфигурации лежат в области, насыщенной препятствиями, осуществляется поиск криволинейного фрагмента траектории между  $\mathbf{q}_i$  и  $\mathbf{q}_j$ , который дискретизирован при помощи решетки **G**. В случае нахождения такого участка он включается в граф **R**.

4. Создание множества ребер **E** осуществляется при помощи циклического повтора шагов 2, 3 в количестве  $K_{max}$  раз.

5. Производится поиск траектории минимальной длины на графе **R**.

Для исследования эффективности разработанного метода был проведен ряд экспериментов. В качестве объекта исследования выступал РТК для лазерной резки на базе манипулятора Fanuc M-710iC/50 (6 степеней свободы). Программная реализация предложенного метода использована совместно с системой моделирования ROBOGUIDE фирмы FANUC для автоматического формирования траекторий движения робота-манипулятора относительно линий контура резки. Показано, что предложенный подход позволяет эффективно учесть геометрические характеристики роботизированных комплексов, технологические ограничения, накладываемые на ориентацию режущего технологического инструмента, а также позволяет найти траекторию робота, при которой режущий инструмент будет перемещаться по контуру резки с минимальным объемом движений.