

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Кожевников М. М., Илюшин И. Э.

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

Современные системы управления промышленными роботами-манипуляторами обеспечивают перемещение технологического инструмента в декартовых координатах с линейной, круговой либо сплайновой интерполяцией [1-4]. Это приводит к необходимости разбиения любого сложного контура лазерной резки на небольшие участки с обеспечением необходимой точности построения траектории. С учетом этого предлагаемый подход к планированию траектории предполагает реализацию этапов сегментации контура резки и формирования узловых точек траектории, поиска допустимых локаций режущего инструмента в узловых точках, сглаживания траектории в окрестности узловых точек.

Исходный контур для лазерной резки можно достаточно эффективно описать в виде так называемой «обобщенной полилинии»

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_k\},$$

где  $\omega_i = \{p_i, a_i\}$ ,  $p_i = (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi})$  – радиус-вектор соответствующий точке с номером  $i$ ,  $a_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$  – вектор ориентации режущего инструмента в точке с номером  $i$ . Расстояние между двумя соседними точками контура равно  $\Delta s_{\min}$ :

$$|p_i - p_{i-1}| = \Delta s_{\min}.$$

Целью сегментации контура для лазерной резки является формирование новой последовательности  $\Omega'$ , образованной минимальным количеством точек  $m$  и соответствующей граничным условиям

$$\Omega'_0 = \Omega_0; \quad \Omega'_m = \Omega_k.$$

с учетом ограничения на точность:

$$\max_{0 \leq \mu \leq 1} \rho[\mu p'_{i-1} + (1 - \mu)p'_i, \Omega] \leq \delta,$$

где  $\rho(p, \Omega) = \min_i \|p_i - p\|$ ,

$$\frac{S_T}{2} \cdot \sqrt{\frac{(p_i - p_{i-1}) \cdot (p_{i+1} - p_i)}{|p_i - p_{i-1}| \cdot |p_{i+1} - p_i|}}{2}} \leq \delta.$$

где  $\delta$  - предельно допустимое отклонение сегментированной траектории  $\Omega'$  от исходного контура.

Для введения ограничения на точность обозначим через  $\rho(\Omega, \Omega')$  функцию вычисления максимального расстояния исходным и сегментированным контуром. Тогда ограничение на точность сегментации будет иметь вид

$$\rho(\Omega, \Omega') \leq \delta.$$

Предложен алгоритм сегментации контура резки, основанный на аппроксимации исходного избыточного множества точек линейными и дугowymi участками максимальной длины, причем начальная точка участка фиксируется. На первом этапе предполагается, что необходим дуговой сегмент и через точки с номерами  $i$ ,  $m = i + 1$ ,  $j = i + 2$  строится окружность. Радиус этой окружности

сравнивается с предельно допустимым значением. Если радиус меньше предельно допустимого значения, то конечная точка участка передвигается в точку с номером  $j = i + 2$ , а также вычисляется номер средней точки  $m = \text{int}((i + j)/2)$ , где  $\text{int}()$  – символическое обозначение функции округления до целого числа. Повторно вычисляется радиус окружности и сравнивается с предельным значением. Помимо этого вычисляется расстояние между промежуточными точками  $p_k$  (значение  $k$  изменяется в диапазоне от  $k=i+1$  до  $j-1$ ) и окружностью. Сдвиг конечной точки дугового участка продолжается до тех пор, пока радиус окружности не превышает предельное значение и расстояние между окружностью и промежуточными точками меньше допустимого значения.

Формирование линейного сегмента начинается с точек с номерами  $i, j = i + 1$ , при этом выполняются перемещение конечной точки линейного участка и выполняется контроль соответствия расстояния между промежуточными точками  $p_k$  (значение  $k$  изменяется в диапазоне от  $k=i+1$  до  $j-1$ ) и линией допустимому значению. Если данное расстояние превысило допустимое значение, процесс формирования линейного сегмента закончен. Пример сегментации контура лазерной резки, образованного сплайном, приведен на рисунке 1.

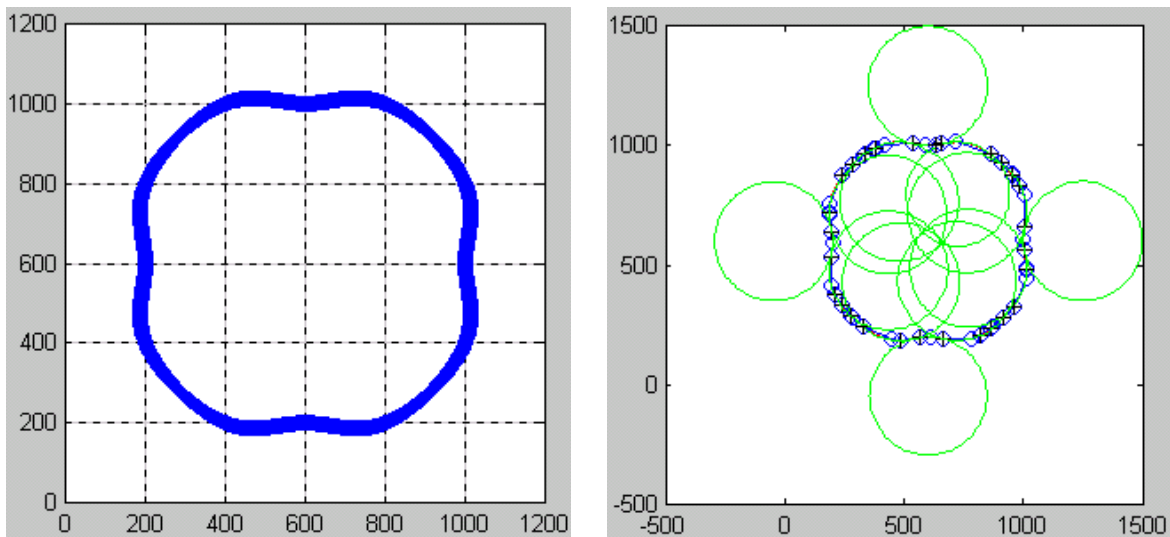


Рисунок 1 – Сегментация контура лазерной резки образованного сплайном

#### Список использованных источников

- 1 Dolgui, A. Multiobjective optimisation of robot motion for laser cutting application / A. Dolgui, A. Pashkevich, O. Chumakov // International Journal Of Computer Integrated Manufacturing. – Taylor and Francis, London, 2004. – Vol.17, №2. – P. 171-183.
- 2 Dolgui, A. Manipulator motion planning for high speed robotic laser cutting / A. Dolgui A. Pashkevich// International Journal of Production Research. – Taylor and Francis, London, 2009. – Vol.47, №20. – P. 5691-5715.
- 3 Moharana B. Optimization and Design of a Laser-Cutting Machine using Delta Robot / B. Moharana, R. Gupta, B. K. Kushawaha // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2014. -Vol. 10 №4. – P. 176-179.
- 4 Dolgui, A. Manufacturing process planning for laser cutting robotic systems /A. Dolgui, A. Pashkevich // Proceedings of the 17th World Congress the International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008. – P. 14822-14827.