

УДК 681.5.015

## МЕТОД АВТОНОМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ

М. М. КОЖЕВНИКОВ, О. Б. ГАНАК

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий  
Могилев, Беларусь

Широкое распространение роботов-манипуляторов в современном производстве обусловлено высокой степенью гибкости роботизированных систем, обеспечивающих выполнение ряда технологических операций. Известные методы программирования роботов-манипуляторов основаны на обучении робота движениям и достаточно трудоемки. Это связано, в первую очередь, с необходимостью переобучения роботов при изменении номенклатуры изделий. При этом достаточно эффективным подходом к программированию роботов является подход, основанный на автономной генерации управляющих программ средствами компьютерного моделирования.

Анализ известных подходов к автономному программированию промышленных роботов показал, что обычно такая задача решается в два этапа. Первоначально выполняется поиск допустимой траектории робота-манипулятора между заданными начальной и конечной локациями, а далее выполняется адаптация траектории к возможностям системы управления и формирование на ее основе технологической программы. При этом особую актуальность имеют исследования, связанные с повышением эффективности решения задачи автономного программирования с учетом ограничений, обусловленных геометрическими и кинематическими характеристиками роботизированной системы.

Предлагаемый метод автономного программирования роботов основан на реализации итерационной процедуры поиска допустимой траектории робота относительно остальных элементов роботизированного комплекса, которая использует компьютерные модели всех его элементов. На каждом этапе поиска можно достаточно эффективно учесть как геометрические, так и кинематические ограничения роботизированной системы. Разработанный метод используется в разработанном программном обеспечении для решения задач автоматизации проектирования роботизированных систем.

Траектория движения технологического инструмента может быть представлена в общем виде как множество точек  $\{p_i \in \mathbf{R}^3\}$ ,  $i = 1 \dots N$ . Соответственно, для описания положения и ориентации технологического инструмента при его движении по траектории может быть использована следующая матрица:

$$H_i = \begin{bmatrix} a_i & a_i \times n_i & n_i & p_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $n_i$  – вектор, определяющий ось поворота технологического инструмента,  $n_i \in \mathbf{R}^3$ ;  $a_i$  – вектор, определяющий направление движения технологического инструмента,  $a_i = (p_{i+1} - p_i) / |p_{i+1} - p_i|$ .

Для описания движения робота-манипулятора вдоль заданной траектории применяется следующее уравнение:

$$\mathbf{R}(a_i, \alpha_j) \mathbf{R}(a_i \times n_i, \beta_j) \mathbf{R}(n_i, \gamma_j) \mathbf{H}_i = {}^0L_b(x_k) {}^bL_f(q_{i,j}^k) {}^fL_p, \quad (2)$$

где  ${}^bL_f(q_{i,j}^k)$ ,  ${}^0L_b(x_k)$  – матрицы преобразования, зависящие от параметров роботизированной системы;  $q_{i,j}^k$  – углы в сочленениях манипулятора,  $q_{i,j}^k \in \mathbf{R}^d$ ;  $\mathbf{R}(a_i, \alpha_j)$ ,  $\mathbf{R}(a_i \times n_i, \beta_j)$ ,  $\mathbf{R}(n_i, \gamma_j)$  – матрицы, описывающие повороты технологического инструмента на углы  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$ ;  $d$  – число степеней свободы манипулятора.

В общем виде кинематические и геометрические ограничения записываются в виде

$$\Omega_{kin}(q_{i,j}^k, \mu) = 0; \quad \Omega_{col}(q_{i,j}^k, \mu) = 0, \quad (3)$$

где  $\Omega_{kin}$ ,  $\Omega_{col}$  – функции, не равные нулю в случае нарушения соответствующих ограничений.

Рассматривая (2) и (3) как ограничения на область поиска допустимой траектории движения робота-манипулятора, введен следующий критерий поиска этой траектории:

$$\min_{\alpha_j, \beta_j, \gamma_j} \sum_{n=1}^d w_n \sum_{j=1}^N |q_{n,i,j}^k - q_{n,i-1,l}^k|, \quad (4)$$

где  $w_n$  – весовые коэффициенты.

Алгоритм поиска траектории по критерию (4) и соответствующей ее программы управления роботом реализован в виде среды автономного программирования (рис. 1), эффективность использования которой подтверждается рядом практических примеров.

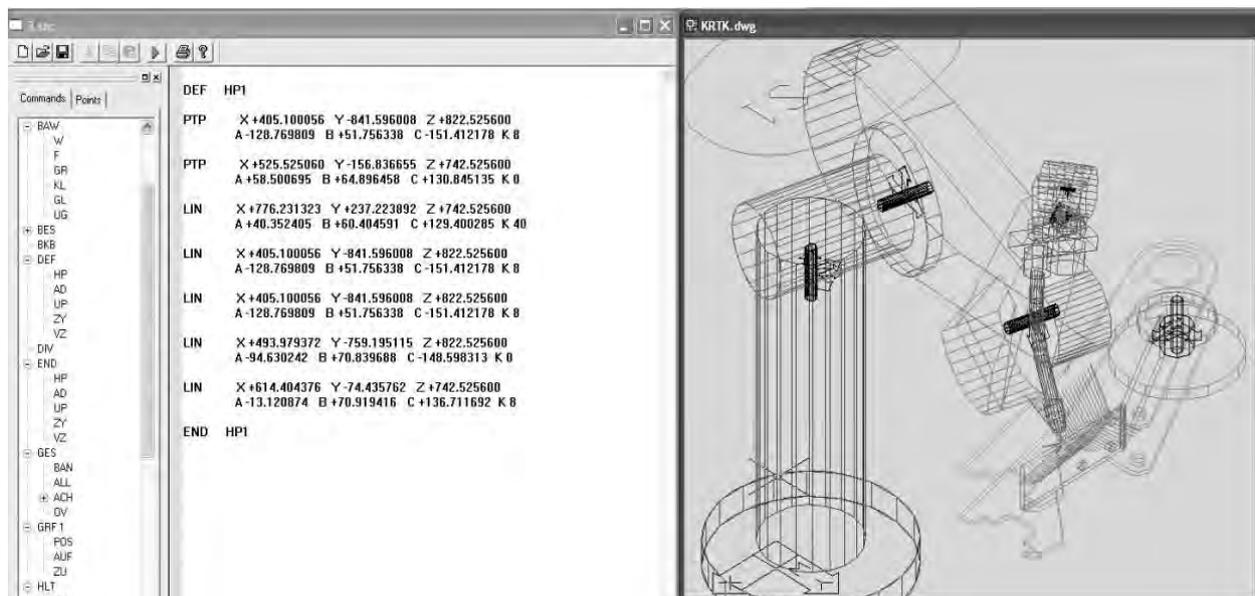


Рис. 1. Среда для автономного программирования