

УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ

Опейко О. Ф.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Промышленные роботы широко применяются для обработки поверхностей, а именно, для окраски, очистки, шлифования поверхностей и других подобных операций. Обычно для этого применяют режим контурного управления, и требуется стабилизация либо изменение по заданному закону нескольких величин, таких, как абсолютное положение рабочего органа, модуль линейной скорости рабочего органа (при окраске, сварке, шлифовании поверхности) нормальное давление рабочего органа на поверхность [1].

Промышленный робот с m звеньями является нелинейным объектом с m входами, m выходами, m степенями подвижности и в обобщенных координатах описывается уравнениями

$$\begin{aligned} a_{i2}(\mathbf{q})\dot{q}_i + a_{i1}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{q}_i + a_{i0}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})q_i &= Q_i, \\ y_i &= g_i(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}), \quad (i = 1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

Здесь $a_{ij}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $(i = 1, 2, \dots, m, j = 0, 1, 2)$ - коэффициенты дифференциального уравнения, в общем случае зависящие от обобщенных координат $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)^T$ и скоростей $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_m)^T$. Каждая из обобщенных координат является координатой одного из звеньев робота в его относительном движении.

Вектор обобщенных сил $\mathbf{Q} = (Q_1, Q_2, \dots, Q_m)^T$ может рассматриваться как управляющее воздействие. Вектор обобщенных сил \mathbf{Q} должен быть сформирован таким образом, чтобы вектор $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ выходных величин с требуемой точностью воспроизводил вектор $\mathbf{y}^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)^T$ сигналов на задающем входе, а динамические свойства системы удовлетворяли требованиям устойчивости и качества.

Простейший способ управления [2] предполагает использование одной из m степеней подвижности, q_j для управления одной из выходных величин, y_i , для которой производная $\partial y_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$, $(i, j = 1, \dots, m)$ принимает наибольшее значение на данной части траектории. Этот способ требует переключения регуляторов в функции производных $\partial y_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$, $(i, j = 1, \dots, m)$ при переходе от одного участка траектории к другому. Очевидный недостаток способа в наличии переключений структуры, что вызывает переходные процессы и

дополнительные динамические погрешности. Способ целесообразен для отработки простых траекторий с малым количеством переключений.

Другой возможный способ заключается в формировании нелинейного [3] линеаризующего управления либо применении линейного регулятора. В обоих случаях управление с неизбежностью формируется как адаптивное, учитывая изменение $\partial u_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$ вдоль траектории. Преимущество этого способа заключается в плавности отработки траектории и, кроме того, повышается точность, то есть уменьшается ошибка $\mathbf{e} = \mathbf{y}^* - \mathbf{y} = (e_1, e_2, \dots, e_m)^T$ регулирования каждой из выходных величин по сравнению со способом [2], предполагающим переключения в структуре управления.

Наибольшие возможности для обеспечения точности и качества динамики открываются при применении в качестве устройства управления искусственной нейронной сети (ИНН) [4].

Сигнал управления m степенями подвижности формируется в искусственной нейронной сети в результате обучения с учетом значений производных $\partial u_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$. Обычно ИНН обладает значительной функциональной избыточностью и требует дополнительных затрат времени на обучение. Поэтому применение ИНН оправдано, если одновременно с формированием траектории ИНН решает и другие задачи управления.

Таким образом, синтез адаптивного управления звеньями промышленного робота является актуальной задачей, а формирование нелинейного линеаризующего либо линейного адаптивного управления позволит эффективно управлять движением робота вдоль траектории без применения ИНН.

1. A Force/Motion Control Approach Based on Trajectory Planning for Industrial Robots With Closed Control Architecture / A. Gutierrez–Giles, L. U. Evangelista–Hernandez, M. A. Arteaga, C. A. Cruz–Villar, and A. Rodriguez–Angeles // IEEE Access. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3085528 - 2021. - vol. 9, - P. 80728-80740.

2. Механика промышленных роботов: Учеб. Пособие для вузов: В 3 кн. / Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева. - М.: Высш. шк., 1988.

3. Isidori A. Nonlinear Control Systems /e-book, Springer. 2013.

4. Aggarwal C. C. Neural Networks and Deep Learning A Textbook / Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.