

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНФИГУРАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

И. Э. Илюшин, М. М. Кожевников

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Могилевский государственный университет продовольствия  
Могилев, Республика Беларусь

E-mail: CRUSH-wciiitft@yandex.ru, kmmk@mail.ru

*Разработана система управления сварочным роботом-манипулятором, предложен новый эффективный алгоритм управления на основе статистической модели конфигурационного пространства, который, в отличие от известных, позволяет эффективно учесть сложную форму элементов роботизированного комплекса, а также ограничения, накладываемые на угловые скорости движения звеньев манипулятора. Эффективность разработанного алгоритма подтверждается результатами тестирования в экспериментальной среде моделирования роботов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Большинство промышленных роботов представляют собой манипуляторы, управляемые микропроцессорным контроллером. Для реализации управления промышленным роботом-манипулятором необходимо решить ряд задач, в частности важной задачей является планирование движений: необходимо выбрать траекторию движения технологического инструмента, при этом не только траектория движения, но и законы изменения скоростей должны, с одной стороны, соответствовать требованиям технологического процесса, а с другой – возможностям робота [1]. В сварочных роботизированных технологических комплексах (РТК) используются, в основном, позиционно-контурные системы управления, обеспечивающие реализацию траекторий, заданных последовательностью опорных точек. В процессе управления вычисляются промежуточные точки траектории и формируются задающие воздействия для исполнительных приводов. В результате реализуется согласованное движение степеней подвижности, приводящее к требуемым изменениям положения и ориентации технологического инструмента.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим робот-манипулятор (см. рис. 1), который описывается как кинематическая цепь из  $n$  поворотных сочленений  $g_i$  и звеньев  $l_i$  ( $i = 1:n$ ), в его рабочей зоне расположено некоторое множество препятствий  $\mathbf{B} = \{\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_m\}$ .

Конфигурацию этого робота зададим в виде вектора  $\mathbf{q} = [q_i]^T$ , где  $q_i$  – величины углов в сочленениях. Ограничения на изменения углов в сочленениях зададим в виде

$$\mathbf{q}_{\min} \leq \mathbf{q} \leq \mathbf{q}_{\max}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{q}_{\min}, \mathbf{q}_{\max}$  – векторы, определяющие нижнее и верхнее конструктивные ограниче-

ния на значения углов в сочленениях робота-манипулятора.

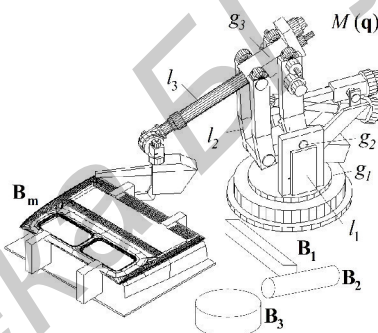


Рис. 1 – Робот-манипулятор в среде с препятствиями

Каждой конфигурации ставится в соответствие вектор скоростей  $\dot{\mathbf{q}} = [\dot{q}_i]^T$ , где  $q_i$  – величины угловых скоростей движения звеньев. На скорости накладываются ограничения

$$\|\dot{\mathbf{q}}\| \leq \dot{\mathbf{q}}_{\max}, \quad (2)$$

где  $\dot{\mathbf{q}}_{\max}$  – вектор, определяющий ограничения на значения угловых скоростей движения звеньев робота-манипулятора.

Геометрическую модель робота-манипулятора, установленного в конфигурацию  $\mathbf{q}$ , зададим в виде множества  $M(\mathbf{q})$ . Тогда свободное от столкновений конфигурационное пространство определяется как

$$C_f = \{\mathbf{q} \in C | M(\mathbf{q}) \cap \mathbf{B}\}.$$

Задача определения пересечения множеств  $M(\mathbf{q})$  и  $\mathbf{B}$  решается путем проведения теста столкновения [2] между роботом и препятствиями по соотношению:

$$\min \|M(\mathbf{q}) - \mathbf{B}\| \leq \delta,$$

где  $\delta$  – точность позиционирования робота-манипулятора.

## II. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Рассмотрим систему управления сборочно-сварочным роботом-манипулятором (см. рис. 2). Она состоит из следующих структурных элементов: элемент, формирующий заданную траекторию, контроллер, обеспечивающий её реализацию, то есть вырабатывающий управляющие воздействия для привода робота, датчики положения и скорости, а также робот-манипулятор. Принцип работы системы следующий: текущие векторы углов в сочленениях  $\mathbf{q}_i$  и угловых скоростей  $\dot{\mathbf{q}}_i$  определяются с помощью датчиков положения и датчиков скорости соответственно, после чего сравниваются с заданными значениями  $\mathbf{q}_{si}$  и  $\dot{\mathbf{q}}_{si}$  соответственно ( $i = 1:g$ ). Таким образом происходит формирование сигналов рассогласования по положению  $\Delta\mathbf{q}_i$  и по угловой скорости  $\Delta\dot{\mathbf{q}}_i$ , и в зависимости от их значения контроллер вырабатываются соответствующие управляющие воздействия  $\tau_i$  на приводы сочленений робота.

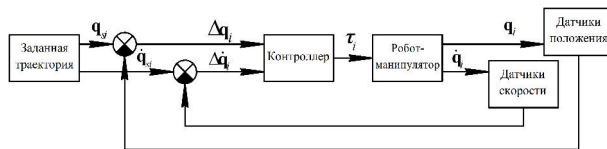


Рис. 2 – Обобщенная блок-схема системы управления роботом-манипулятором

Поскольку контроллер, датчики скоростей и положений, а так же роботы-манипуляторы имеют ряд готовых реализаций [3-5], основной интерес представляет именно поиск траектории с учетом ограничений (1), (2), поскольку это наиболее сложная и трудоемкая задача.

## III. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ

Исходной информацией для алгоритмов управления сварочными роботами-манипуляторами является геометрическая модель РТК –  $M(\mathbf{q})$  и  $\mathbf{V}$ , а также координаты стартовой и целевой точек. Используя эти данные, осуществляется поиск заданной траектории робота-манипулятора. Для описания конфигурационного пространства робота применена статистическая модель, которая представляется в виде неориентированного графа  $\mathbf{R} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ . Вершины  $\mathbf{V}$  этого графа представляют собой множество свободных от столкновений конфигураций робота  $\mathbf{q}_i$ , а также векторов допустимых угловых скоростей движения звеньев  $\dot{\mathbf{q}}_i$ , соответствующих этим конфигурациям. Формирование множества  $\mathbf{V}$  осуществляется следующим образом: генерируется случайная конфигурация робота-манипулятора и выполняется тест столкновения робота с препятствиями. Если столк-

новения нет, то генерируется соответствующий вектор допустимых скоростей  $\dot{\mathbf{q}}_i$ , координаты которого также случайные величины, после чего конфигурация  $\mathbf{q}_i$  и соответствующий ей вектор добавляются в множество  $\mathbf{V}$ . Если же столкновение есть, то конфигурация отбрасывается. Ребрам  $\mathbf{E}$  графа ставятся в соответствие прямые участки траекторий между свободными от столкновений конфигурациями.

## IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА

Исследование эффективности проводилось в экспериментальной среде моделирования РТК с применением эмулятора систем управления типа RCM (Robot Control Multiprocessor). Предложенный алгоритм управления реализован на языке программирования C++ и интегрирован в систему моделирования РТК. В качестве объекта исследования использовалась роботизированная ячейка для дуговой сварки металлической конструкции состоящей из 9 труб. Ячейка включает робот-манипулятор KR125 со сварочной горелкой. На трехмерную модель металлоконструкции нанесено 14 сварных швов имеющих форму эллипса изогнутого в пространстве. Предложенный алгоритм позволил обеспечить управление движением сварочной горелки вдоль каждого из 14 швов. Заданные траектории реализованы на основе технологического языка программирования роботов SRCL (Siemens Robot Control Language) и отлажены с использованием эмулятора RCM. Тестирование предложенного алгоритма управления показало, что он обеспечил свободное от столкновений движение робота-манипулятора. Анализ результатов данных экспериментов позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый подход эффективен при управлении сварочными роботами-манипуляторами в рабочей среде с препятствиями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкевич, С. Л. Управление Роботами. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. для вузов / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.
2. Choset, H. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations / H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun // MIT Press. Boston, 2005. – 680 p.
3. Lewis, F. L. Robot Manipulator Control: Theory and Practice / F. L. Lewis, D. M. Dawson, Ch. T. Abdallah. – NY.: Mercel Deccer, Inc., 2004. – 607 p.
4. Dutta, A. Robotic Systems – Applications, Control and Programming / A. Dutta [et al.]. – InTech, 2012. – 628 p.
5. Юревич, Е. И. Основы робототехники: 2-е изд., перераб. и доп. / Е. И. Юревич – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 416 с.