

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФФЕОМОРФНОГО РЕГУЛЯТОРА С НЕЛИНЕЙНОЙ ОС

Анимица А.В., группа СУА-06м

Руководитель доц. каф. АТ Рафиков Г.Ш.

Особенностью современного развития производства является широкое применение средств роботизации. Поэтому в последние годы быстро расширяется использование роботов, особенно в промышленной сфере, где первостепенным является требование большой производительности и более строгого контроля качества в связи с интенсивной международной конкуренцией. Следствием такого бурного развития стали весьма активные исследования в этой области, и на их основе были выработаны несколько подходов к созданию систем управления.

В настоящее время быстро развивается автоматизация дуговой сварки (сварка плавлением) с применением промышленных роботов, которая может применяться во всех отраслях при изготовлении металлоконструкций. Сваркой плавлением можно соединять практически все используемые для изготовления конструкций металлы и сплавы любой толщины. Этот процесс очень вреден для человека, связан с сильным шумом, воздействием дыма и интенсивного света (искрение), а автоматизация обеспечивает высокое качество швов, большую стабильность и скорость работы.

Основной проблемой управления дуговой сваркой является проблема точного позиционирования, т.е. точного отслеживания заданной траектории в пространстве и времени, при непрерывном контурном управлении для выполнения относительно сложных манипуляционных задач. Основными факторами, порождающими эту проблему, является существенная нелинейность динамической и кинематической модели, динамическая взаимосвязь между отдельными системами, а также

незапланированные факторы: изменение программы траектории или неожиданное изменение полезной нагрузки.

Для устранения этих проблем применён новый общий метод компенсации взаимосвязей и нелинейностей дифференциальных уравнений динамики. Данный подход основан на идее получения «внешней линеаризации» сложной нелинейной системы с использованием диффеоморфного преобразования координат и нелинейной обратной связи по состоянию. Этот метод позволяет обеспечить поблочную развязку выхода; конструктивный алгоритм нахождения нелинейной обратной связи для подсистем, в которых число выходов может быть меньше или равно числу входов; развязку выходов нелинейной обратной связью с точки зрения состояния системы; для обеспечения устойчивости системы управления нелинейная обратная связь соединяется с контролером оптимальной коррекции ошибок.

Для применения этого метода уравнение динамики промышленного робота типа PUMA-560 преобразовано к специальному виду:

$$\begin{cases} \dot{X} = f(X) + g(X) \cdot \tau_i; \\ Y = h(X). \end{cases} \quad (1)$$

Затем произведено диффеоморфное преобразование координат уравнения (1) с использованием производных Ли, определяемое согласно выражению:

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ z_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1(\tilde{X}) \\ L_f h_1(\tilde{X}) \\ h_2(\tilde{X}) \\ L_f h_2(\tilde{X}) \\ h_3(\tilde{X}) \\ L_f h_3(\tilde{X}) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где L_f — производные Ли ($L_f h = [f, h] = \frac{\partial h}{\partial x} f - \frac{\partial f}{\partial x} h$).

В результате получена динамическая модель в канонической форме Brunovsky с декомпозицией по выходным переменным:

$$\begin{cases} \dot{z} = Az + Bz = \widehat{f}(z) + \widehat{g}(z)v; \\ y = Cz = \widehat{h}(z), \end{cases} \quad (3)$$

где

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \\ z_6 \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Динамическая система (3) состоит из трех независимых подсистем следующей формы:

$$\begin{aligned} \dot{z}_i &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} z_i + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} v_i, \\ y_i &= [1 \ 0] z_i. \end{aligned} \quad (5)$$

Данная система с развязанным выходом показана на рис. 1 как блок BCLS (Броуновская каноническая линейная система).

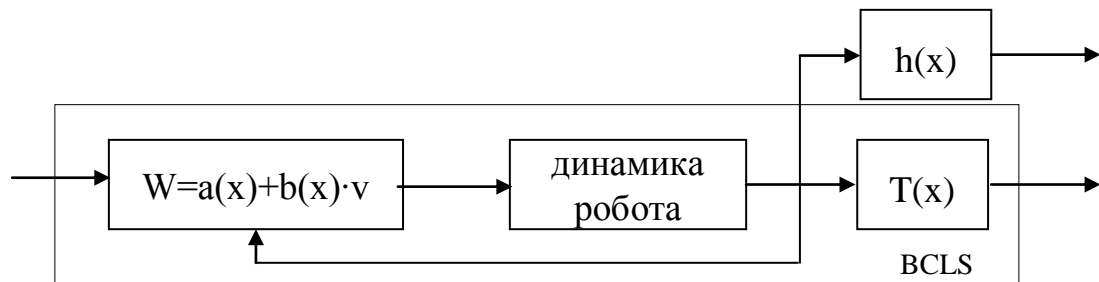


Рисунок 1 — Система управления с диффеоморфным регулятором

Решена задача синтеза алгоритмов стабилизации и оптимальной коррекции для обеспечения достаточно точного отслеживания заданной траектории движения сварочной головкой в пространстве и во времени.

Стабилизация осуществляется с использованием контура линейной обратной связи F в системе и желаемым установлением полюсов замкнутой системы. Выражение входного воздействия со стабилизацией имеет вид:

$$v_i = \bar{v}_i - F_i \cdot z_i. \quad (6)$$

Затем для обеспечения устойчивости стабилизированной системы к неопределённостям в значениях параметров робота и задания, добавлен контур оптимальной коррекции ошибок для каждой линейной подсистемы с разомкнутым выходом, обеспечивающий минимизацию целевой функции вида:

$$J(\Delta \bar{v}_i) = \int_0^t \Delta \bar{v}_i^T R \Delta \bar{v}_i dt + \int e_i(t)^T Q e_i(t) dt + e_i(t)^T S e_i(t). \quad (7)$$

Оптимальная коррекция определяется следующим выражением:

$$\Delta \bar{v}_i^0 = -R^{-1} b_i^T P(t) e_i(t), \quad (8)$$

где $P(t)$ — положительно-определённая матрица решения уравнения Риккати:

$$\dot{P}(t) = -P(t)A_i - A_i^T P(t) + P(t)b_i R^{-1} b_i^T P(t) - Q, \quad P(t) = S. \quad (9)$$

Произведена экспериментальная проверка работоспособности синтезированного алгоритма по выше изложенному методу в двух режимах при отсутствии и наличии параметрических возмущений.

Моделирование диффеометрического регулятора при отсутствии и при наличии возмущений показало, что ошибка отслеживания траектории не превышает 0.1мм. При значительном увеличении массы нагрузки и изменении параметров модели манипулятора ошибка отслеживания траектории (ошибка позиционирования) не превысила предельно допустимого значения 0.1мм. При отклонении параметров модели объекта на 50% диффеометрический регулятор сохранил устойчивость и требуемую точность позиционирования.

Перечень ссылок

1. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 527 с.
2. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер с англ. — М.: Мир, 1989. — 621 с.
3. Броккет Р.У. Алгебры Ли и группы в теории управления. Математические методы в теории систем. — М.: Мир, 1979.