

УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫМ РОБОТОМ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ПОМЕХ И ВОЗМУЩЕНИЙ

Е. А. Паршева, Ю. А. Снегирева
Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет

Основной задачей управления манипуляционным роботом является генерация внешних моментов таким образом, чтобы движение робота осуществлялось по выбранной траектории. Главная трудность управления манипулятором обусловлена тем фактом, что в результате эффектов динамического взаимовлияния степеней подвижности и изменения эффективной инерции звеньев динамические уравнения движения манипулятора существенно нелинейны и включают перекрестные связи между различными входами и выходами. В случае использования в роботах традиционной следящей техники, нелинейности и взаимодействия, присущие динамике системы, не могут быть скомпенсированы на стадии грубого движения. Поэтому задача разработки эффективных алгоритмов управления многосвязными системами остается актуальной. В настоящей работе рассмотрена задача робастного управления с компенсацией возмущений антропоморфным роботом типа Puma. При формировании управляющих воздействий предложено использовать только измеряемые переменные локальных подсистем. Таким образом система управления является децентрализованной.

Ключевые слова: *децентрализованное управление, локальные подсистемы, вспомогательный контур, наблюдатель состояния, многосвязные системы.*

The main objective of the management of industrial robot is to generate external moments so that the movement of the robot was carried out on the chosen path. The main difficulty of manipulator control is due to the fact that as a result of the effects of dynamic interaction of degrees of mobility and changes in the effective inertia of the links, the dynamic equations of motion of the manipulator are essentially non-linear and include cross-connections between different inputs and outputs. In the case of robots using traditional tracking technology, the nonlinearities and interactions inherent in the dynamics of the system can not be compensated at the stage of rough motion. Therefore, the task of developing effective algorithms for managing multi-link systems remains relevant. In this paper we consider the problem of robot control with perturbation compensation by an anthropomorphic robot of Puma type. At the same time, only measured variables of local subsystems are used to form control actions, i.e. completely decentralized control is carried out.

Keywords: *decentralized control, local subsystems, auxiliary circuit, state observer, multi-link systems.*

1. Постановка задачи

Манипуляционная система состоит из механической части и приводов, обеспечивающих работу отдельных степеней подвижности [1]. Используя уравнения Лагранжа II рода, динамические уравнения движения в кинематических парах робота можно представить системой нелинейных дифференциальных уравнение общего вида:

$$\tau(t) = D(\theta)\ddot{\theta}(t) + h(\theta, \dot{\theta}) + c(\theta), \quad (1)$$

где $\tau(t)$ – n -мерный вектор обобщенных сил, создаваемых силовыми приводами; $\theta(t) = \text{col}(q_1, \dots, q_n)$, $\dot{\theta}(t) = \text{col}(\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n)$, $\ddot{\theta}(t) = \text{col}(\ddot{q}_1, \dots, \ddot{q}_n)$ – n -мерные векторы присоединенных переменных, обобщенных скоростей и ускорений манипулятора соответственно; $D(\theta)$, $h(\theta, \dot{\theta})$, $c(\theta)$ – матрица инерции, вектор кориолисовых и центробежных сил и вектор гравитационных сил соответственно.

Для замыкания системы уравнений (1) получим выражения для обобщенных моментов в шарнирах, которые определены типом и параметрами двигателя, механической передачи, а также особенностями системы управления робота. Нами были выбраны электромеханические приводы с двигателями постоянного тока.

Рассмотрим i -ый шарнир манипулятора. Баланс моментов для него имеет вид:

$$\begin{cases} d_{i1}\ddot{q}_1 + \dots + d_{in}\ddot{q}_n + h_i + c_i = \tau_i \\ J_i^{enj}\ddot{q}_i = M_i^{enj} - \tau_i \end{cases} \quad (2)$$

В этих уравнениях: $J_i^{enj} = J_i^{enj}/k_i^2$, $M_i^{enj} = c_i^M I_i/k_i^2$ – момент инерции якоря двигателя и развиваемый двигателем электромагнитный момент, приведенные к выходу редуктора, где k_i – передаточное число редуктора, равное отношению угловых скоростей звена и двигателя, c_i^M – коэффициент пропорциональности момента, I_i – ток в двигателе; d_{ij} – коэффициенты матрицы инерции манипулятора; h_i – компоненты вектора кориолисовых и центробежных сил; c_i – компоненты вектора гравитационных сил.

Уравнения для двигателя постоянного тока имеют вид:

$$u_i = I_i R_i + c_i^\varepsilon \dot{q}_i / k_i + L_{ri} \dot{I}_i,$$

где u_i , R_i , L_{ri} – напряжение, сопротивление и индуктивность в обмотках двигателя соответственно; c_i^ε – коэффициент пропорциональности э.д.с. Таким образом, управляющим воздействием u_i является напряжение двигателя постоянного тока, на величину которого наложено амплитудное ограничение, а выходными переменными являются присоединенные координаты, доступные измерению.

Учитывая уравнения двигателя, получим модель замкнутой системы:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + G_i h_i + G_i c_i, \\ y_i = L_i x_i + \xi_i(t), \quad i = \overline{1, M}, \end{cases} \quad (3)$$

где вектор состояния $x_i^T = [q_i, \dot{q}_i, I_i^T]$; $\xi_i(t)$ – ограниченная помеха измерений; M – количество шарниров манипулятора; матрицы A_i , B_i , G_i , L_i имеют вид

$$A_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & c_i^M / H_i k_i \\ 0 & -c_i^E / L_{ri} k_i & -R_r / L_{ri} \end{bmatrix}, B_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 / L_{ri} \end{bmatrix}, G_i = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 / H_i \\ 0 \end{bmatrix}, L_i = [1 \ 0 \ 0]$$

Децентрализованная система управления такими системами определяется как задача нахождения таких M локальных блоков управления, каждому из которых доступна только текущая информация о системе в условиях сигнальной и параметрической неопределенности [2]. При этом качество переходных процессов в подсистемах задается эталонной траекторией. Кроме того, для формирования закона управления не допускается использование производных входных и выходных переменных.

2. Метод решения

В сформулированной задаче локальные подсистемы управления не используют измеряемые величины других подсистем. Решение задачи состоит из следующих этапов:

1) необходимо получить оценку локального вектора состояния, а для этого надо скомпенсировать влияние внешнего возмущения на эту оценку;

2) построить оценку внешнего возмущения;

3) обеспечить выполнение целевого условия.

Для формирования оценки регулируемой переменной требуется наблюдатель [3], на вход которого поступает вспомогательное управляющее воздействие наблюдениями. Составим уравнение для вектора ошибок оценивания, и воспользовавшись методом вспомогательного контура [4] введем подсистему, на вход которой поступает указанное ранее вспомогательное управление. После этого сформируем новый скалярный выходной сигнал, а для получения его производных используются последовательно соединенные реально дифференцирующие звенья. Таким образом получаем оценки сигнала, который является источником возмущений и помех.

И только теперь можно приступить к выбору алгоритма системы слежения. Для этого необходимо сформировать оценку неизмеряемого вектора регулируемых переменных, и только после этого можно определить указанный локальный закон управления.

Список литературы

1. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника : пер. с англ. М. : Мир, 1989. 624 с.
2. Цыкунов А. М., Паршева Е. А. Компенсация возмущений и помех в многосвязных системах с измеряемым вектором состояния // Мехатроника, автоматизация и управление. 2012. № 6. С. 6–15.
3. Цыкунов А. М. Компенсация возмущений при управлении линейным объектом по косвенным измерениям // АиТ. 2010. № 2. С. 120–129.
4. Бобцов А. А. Алгоритм робастного управления неопределенным объектом без измерения производных регулируемой переменной // АиТ. 2003. № 8. С. 82–96.