Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
Кафедра систем автоматического управления

Реферат

по дисциплине

«Нелинейное адаптивное управление в технических системах»

Студент группы 9492 Викторов А.Д.

Преподаватель Путов В.В.

Санкт-Петербург

2024

Содержание

Введение

Адаптивное и робастное управление занимают важное место в современной теории управления, поскольку позволяют обеспечивать устойчивость и качество работы нелинейных систем в условиях неопределенностей. Такие системы часто встречаются в реальных приложениях, включая робототехнику, авиацию и энергетику. Особое внимание уделяется задачам, где функциональные неопределенности и возмущения накладывают ограничения на синтез алгоритмов управления. В данной работе рассматриваются подходы к адаптивному и робастному управлению нелинейными системами в условиях функциональных и секторных ограничений на нелинейность.

1 Адаптивная стабилизация нелинейной системы с ограниченными функциональными неопределенностями

Постановка задачи

Рассматривается нелинейная система в виде:

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) + b(x(t))u(t), \tag{1}$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния, $u(t) \in \mathbb{R}$ — управляющее воздействие, $f(x)$ и $b(x)$ — неизвестные функции. Функция $f(x)$ описывает динамику объекта и может содержать нелинейности, а $b(x)$ — коэффициент при управлении.

Основное ограничение на $f(x)$ выражается в виде:

$$|f(x)| \leq \phi(|x|), \tag{2}$$

где $\phi(|x|)$ — известная ограничивающая функция, а $b(x)$ удовлетворяет условию:

$$|b(x)| \geq b_{\min} > 0. \tag{3}$$

Цель управления — построить алгоритм $u(t)$, который стабилизирует состояние системы $x(t)$ к нулю.

Синтез алгоритма управления

Для стабилизации используется подход, основанный на адаптивной оценке параметров $f(x)$. Закон управления имеет вид:

$$u(t) = -k(x) - \hat{f}(x), \tag{4}$$

где $k(x)$ — линейный стабилизатор, а $\hat{f}(x)$ — оценка неизвестной функции $f(x)$.

Адаптация параметров выполняется с использованием следующего уравнения:

$$\dot{\hat{\theta}} = -\gamma e(t)\phi(x), \tag{5}$$

где $e(t)$ — ошибка, $\phi(x)$ — базисная функция, $\gamma > 0$ — скорость адаптации. Этот алгоритм позволяет корректировать оценку $\hat{f}(x)$ в процессе управления.

Для доказательства устойчивости применяется метод Ляпунова с функцией:

$$V(x, \hat{\theta}) = \frac{1}{2}x^T x + \frac{1}{2\gamma}(\hat{\theta} - \theta)^2, \tag{6}$$

где θ — истинное значение параметра.

2 Адаптивное управление нелинейной системой с ограниченными функциональными неопределенностями в условиях действия возмущающих воздействий

Постановка задачи

Модель системы дополняется внешним возмущением $d(t)$:

$$\dot{x}(t) = f(x(t)) + b(x(t))u(t) + d(t), \tag{7}$$

где $d(t)$ удовлетворяет условию:

$$|d(t)| \leq d_{\max}. \tag{8}$$

Задача управления — разработать алгоритм, который стабилизирует систему и минимизирует влияние возмущений $d(t)$.

Синтез алгоритма адаптивного управления

Закон управления состоит из двух частей:

$$u(t) = u_0(t) + u_d(t), \tag{9}$$

где $u_0(t)$ — адаптивное управление для стабилизации, а $u_d(t)$ — корректирующий сигнал для компенсации возмущений.

Корректирующий сигнал определяется как:

$$u_d(t) = -k_d \text{sign}(d(t)), \tag{10}$$

где k_d — коэффициент компенсации.

Для адаптации параметров функции $f(x)$ используется модифицированный градиентный метод:

$$\dot{\hat{\theta}} = -\gamma e(t)\phi(x) + \lambda\hat{\theta}, \tag{11}$$

где λ — коэффициент регуляризации.

Устойчивость системы подтверждается с использованием обобщенного критерия Ляпунова.

3 Адаптивное и робастное управление по выходу нелинейными системами в условиях секторных ограничений на нелинейность

Постановка задачи

Система рассматривается с ограничениями на нелинейность в секторе:

$$k_1 y(t)^2 \leq y(t)u(t) \leq k_2 y(t)^2, \tag{12}$$

где k_1, k_2 — коэффициенты, определяющие сектор ограничения.

Цель управления — обеспечить устойчивость системы и подавление неопределенностей.

Алгоритм управления

Управление формируется в виде:

$$u(t) = -k_0 y(t) - \mu \mathrm{sign}(y(t)), \tag{13}$$

где k_0 обеспечивает стабилизацию, а μ подавляет неопределенности.

Коэффициенты выбираются из следующих условий:

$$k_0 > \frac{k_2}{b_{\min}}, \quad \mu > d_{\max}. \tag{14}$$

Настройка коэффициентов регулятора

Коэффициенты k_0 и μ подбираются с использованием численных методов, обеспечивая выполнение условий устойчивости и удовлетворение ограничениям.

Заключение

Адаптивное и робастное управление в условиях ограничений на нелинейность позволяет эффективно стабилизировать системы при наличии неопределенностей и возмущений. В работе рассмотрены основные подходы к синтезу и настройке алгоритмов управления для различных классов задач.