

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

1	Введение	3
2	Постановка задачи управления неопределенными объектами	4
3	Управление по состоянию	5
4	Методы непосредственной (адаптивной) компенсации	6
4.1	Метод адаптивной стабилизации	7
4.2	Метод адаптивной робастной стабилизации	7
5	Метод нелинейной робастной стабилизации	8
5.1	Типы неопределенностей класса нелинейных объектов . . .	8
5.2	Унифицированный метод нелинейной робастной стабилизации	9
6	Новый класс робастно-адаптивных законов стабилизации	10
7	Заключение	11

1 Введение

В современной теории управления одной из наиболее актуальных проблем является разработка эффективных методов управления сложными нелинейными системами в условиях неопределенности. Эта задача приобретает особую важность в связи с растущей сложностью технических систем и увеличением требований к их производительности и надежности. В данном реферате рассматриваются передовые методы управления нелинейными системами, включая адаптивное, адаптивное робастное и нелинейное управление, с особым акцентом на методы непосредственной (адаптивной) компенсации.

Адаптивное управление представляет собой подход, при котором система управления способна изменять свои параметры или структуру в ответ на изменения в динамике объекта управления или внешней среды. Это позволяет системе поддерживать оптимальную производительность даже в условиях значительной неопределенности.

Адаптивное робастное управление объединяет преимущества адаптивного и робастного подходов, обеспечивая способность системы адаптироваться к изменениям, сохраняя при этом устойчивость в широком диапазоне условий работы.

Нелинейное управление, в свою очередь, предоставляет инструменты для работы с системами, чье поведение не может быть адекватно описано линейными моделями. Это особенно важно для многих реальных систем, которые проявляют существенно нелинейное поведение.

В данном реферате мы рассмотрим методы непосредственной (адаптивной) компенсации, которые позволяют эффективно справляться с неопределенностями в системе путем их прямой оценки и компенсации. Особое внимание будет уделено методам адаптивной и адаптивной робастной стабилизации, а также новому классу робастно-адаптивных за-

конов стабилизации.

2 Постановка задачи управления неопределенными объектами

Задача управления неопределенными объектами является одной из ключевых проблем в теории автоматического управления. Она возникает в ситуациях, когда параметры объекта управления не известны точно или могут изменяться во времени. В общем виде эту задачу можно сформулировать следующим образом:

Рассмотрим нелинейную систему, описываемую уравнением:

$$\dot{x} = f(x, u, \theta, t) \quad (1)$$

где:

- $x \in \mathbb{R}^n$ - вектор состояния системы,
- $u \in \mathbb{R}^m$ - вектор управляющих воздействий,
- $\theta \in \mathbb{R}^p$ - вектор неизвестных параметров системы,
- t - время,
- $f(\cdot)$ - нелинейная функция, описывающая динамику системы.

Задача управления заключается в разработке закона управления $u = u(x, t)$, который обеспечивает достижение заданных целей управления (например, стабилизация системы, слежение за заданной траекторией) при наличии неопределенностей в параметрах θ и, возможно, в структуре функции $f(\cdot)$.

Основные сложности при решении этой задачи связаны с:

1. Нелинейностью системы, что затрудняет применение классических методов линейной теории управления.
2. Наличием неопределенностей в параметрах системы, что требует разработки адаптивных механизмов.
3. Возможным наличием внешних возмущений и шумов измерений, что требует обеспечения робастности системы управления.

В контексте данного реферата мы сосредоточимся на методах управления по состоянию, предполагая, что вектор состояния x доступен для измерения. Это предположение позволяет разрабатывать более эффективные законы управления, но на практике может потребовать использования наблюдателей состояния для оценки недоступных для прямого измерения компонент вектора x .

3 Управление по состоянию

Управление по состоянию является одним из фундаментальных подходов в теории управления, который предполагает, что закон управления формируется на основе полной информации о текущем состоянии системы. В контексте нелинейных систем с неопределенностями, управление по состоянию предоставляет ряд преимуществ:

1. Возможность прямого влияния на динамику системы: имея доступ ко всем компонентам вектора состояния, можно более точно корректировать поведение системы.
2. Потенциально более высокое быстродействие: в отличие от управления по выходу, нет необходимости в оценке недоступных переменных состояния, что может снизить задержки в контуре управления.

3. Упрощение синтеза законов управления: наличие полной информации о состоянии системы позволяет применять более широкий класс методов синтеза, включая методы, основанные на функциях Ляпунова.

Рассмотрим общую форму закона управления по состоянию для нелинейной системы:

$$u = k(x, t, \hat{\theta}) \quad (2)$$

где $k(\cdot)$ - нелинейная функция, зависящая от текущего состояния системы x , времени t , и оценки неизвестных параметров $\hat{\theta}$.

Основная задача при синтезе такого закона управления заключается в выборе функции $k(\cdot)$ таким образом, чтобы обеспечить желаемые свойства замкнутой системы (устойчивость, качество переходных процессов, робастность к неопределенностям) при различных значениях неизвестных параметров θ .

4 Методы непосредственной (адаптивной) компенсации

Методы непосредственной (адаптивной) компенсации представляют собой класс подходов к управлению нелинейными системами с неопределенностями, основанных на прямой оценке и компенсации неизвестных параметров или нелинейностей системы. Эти методы позволяют эффективно справляться с неопределенностями, обеспечивая высокое качество управления.

4.1 Метод адаптивной стабилизации

Рассмотрим нелинейную систему вида:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u + \theta^T \phi(x) \quad (3)$$

где $x \in \mathbb{R}^n$ - вектор состояния, $u \in \mathbb{R}$ - управляющее воздействие, $f(x)$ и $g(x)$ - известные нелинейные функции, $\theta \in \mathbb{R}^p$ - вектор неизвестных параметров, $\phi(x) \in \mathbb{R}^p$ - известная векторная функция.

Метод адаптивной стабилизации основан на использовании закона управления вида:

$$u = -k(x) - \hat{\theta}^T \phi(x) \quad (4)$$

где $k(x)$ - стабилизирующая функция обратной связи, а $\hat{\theta}$ - оценка неизвестного вектора параметров θ .

Закон адаптации параметров может быть представлен в виде:

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma \phi(x) x^T P B \quad (5)$$

где $\Gamma > 0$ - матрица коэффициентов усиления адаптации, P - положительно определенная матрица, удовлетворяющая уравнению Ляпунова $A^T P + P A = -Q$, A и B - матрицы линеаризованной системы.

4.2 Метод адаптивной робастной стабилизации

Для повышения робастности адаптивной системы к неопределенностям и внешним возмущениям используется метод адаптивной робастной стабилизации. Рассмотрим систему:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u + \theta^T \phi(x) + d(x, t) \quad (6)$$

где $d(x, t)$ представляет ограниченное внешнее возмущение.

Закон управления в этом случае может быть модифицирован следующим образом:

$$u = -k(x) - \hat{\theta}^T \phi(x) - \rho(x) \text{sign}(s(x)) \quad (7)$$

где $s(x)$ - поверхность скольжения, а $\rho(x)$ - функция, обеспечивающая робастность к ограниченным возмущениям.

Закон адаптации параметров модифицируется для обеспечения робастности:

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma \phi(x) s(x) - \sigma \Gamma \hat{\theta} \quad (8)$$

где $\sigma > 0$ - параметр, обеспечивающий ограниченность оценок параметров.

5 Метод нелинейной робастной стабилизации

5.1 Типы неопределенностей класса нелинейных объектов

При рассмотрении нелинейных систем можно выделить следующие типы неопределенностей:

1. Параметрические неопределенности: неизвестные или изменяющиеся параметры системы.
2. Структурные неопределенности: неточности в модели системы.
3. Внешние возмущения: неизвестные входные сигналы, действующие на систему.

Рассмотрим нелинейную систему с неопределенностями:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u + \Delta f(x) + \Delta g(x)u + d(t) \quad (9)$$

где $\Delta f(x)$ и $\Delta g(x)$ представляют структурные неопределенности, а $d(t)$ - внешнее возмущение.

5.2 Унифицированный метод нелинейной робастной стабилизации

Унифицированный метод нелинейной робастной стабилизации основан на комбинации адаптивного управления и методов скользящего режима. Рассмотрим закон управления вида:

$$u = u_n(x) + u_a(x) + u_s(x) \quad (10)$$

где $u_n(x)$ - номинальная составляющая управления, $u_a(x)$ - адаптивная составляющая, $u_s(x)$ - скользящая составляющая.

Номинальная составляющая определяется как:

$$u_n(x) = -g^+(x)(f(x) + k(x)) \quad (11)$$

где $g^+(x)$ - псевдообратная матрица к $g(x)$, а $k(x)$ - стабилизирующая функция.

Адаптивная составляющая:

$$u_a(x) = -\hat{\theta}^T \phi(x) \quad (12)$$

с законом адаптации:

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma \phi(x) s^T(x) \quad (13)$$

Скользящая составляющая:

$$u_s(x) = -\rho(x)\text{sign}(s(x)) \quad (14)$$

где $s(x)$ - поверхность скольжения, а $\rho(x)$ выбирается для обеспечения робастности.

6 Новый класс робастно-адаптивных законов стабилизации

Новый класс робастно-адаптивных законов стабилизации объединяет преимущества адаптивного и робастного подходов, обеспечивая высокую эффективность управления в условиях различных типов неопределенностей.

Рассмотрим закон управления вида:

$$u = -k(x) - \hat{\theta}^T \phi(x) - \beta(x) \tanh(\alpha s(x)) \quad (15)$$

где $\beta(x)$ - функция, обеспечивающая робастность, $\alpha > 0$ - параметр, определяющий скорость перехода к скользящему режиму, $\tanh(\cdot)$ - гиперболический тангенс, используемый для сглаживания разрывной функции sign .

Закон адаптации параметров:

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma \phi(x) s^T(x) - \sigma \Gamma \hat{\theta} - \Gamma \phi(x) \beta(x) \tanh(\alpha s(x)) \quad (16)$$

Этот подход обеспечивает:

1. Адаптацию к параметрическим неопределенностям.
2. Робастность к структурным неопределенностям и внешним возмущениям.

3. Сглаженное управляющее воздействие, снижающее эффект чаттеринга.
4. Гарантированную ограниченность оценок параметров.

7 Заключение

В данном реферате были рассмотрены современные методы адаптивного, адаптивного робастного и нелинейного управления нелинейными системами по состоянию, с особым акцентом на методы непосредственной (адаптивной) компенсации. Были представлены основные подходы к решению задачи управления неопределенными объектами, включая методы адаптивной и адаптивной робастной стабилизации, метод нелинейной робастной стабилизации и новый класс робастно-адаптивных законов стабилизации.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и ограничения, и выбор конкретного подхода зависит от специфики решаемой задачи, характера неопределенностей в системе и требований к качеству управления. Объединение различных подходов, как показано в новом классе робастно-адаптивных законов стабилизации, позволяет создавать более эффективные и универсальные системы управления, способные справляться с широким спектром неопределенностей и возмущений.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку методов, сочетающих преимущества рассмотренных подходов с современными методами машинного обучения и искусственного интеллекта, что потенциально может привести к созданию еще более эффективных и адаптивных систем управления нелинейными объектами.