

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра систем автоматического управления

РЕФЕРАТ
по дисциплине «Нелинейное и адаптивное
управление в технических системах»
ТЕМА №17

Студент гр. 9492

Викторов А.Д.

Преподаватель

Путов В.В.

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1.Основная структура адаптивного управления многостепенным нелинейным механическим объектом, построенного по методу вычисленного момента | 4 |
| 2.Упрощение адаптивных алгоритмов вычисленного момента в управлении нелинейным механическим объектом..... | 6 |
| 3.Примеры расчета и исследование адаптивной робастной системы управления трехстепенным манипуляционным роботом типовой конструкции | 9 |
| Заключение | 10 |

ВВЕДЕНИЕ

При выполнении данной работы рассмотрим следующие темы:

- Основная структура адаптивного управления многостепенным нелинейным механическим объектом, построенного по методу вычисленного момента.
- Упрощение адаптивных алгоритмов вычисленного момента в управлении нелинейным механическим объектом.
- Примеры расчета и исследование адаптивной робастной системы управления трехстепенным манипуляционным роботом типовой конструкции.

1. Основная структура адаптивного управления многостепенным нелинейным механическим объектом, построенного по методу вычисленного момента

Рассматривается подход к построению приближенных законов и алгоритмов адаптивного управления многостепенными механическими объектами с функционально-параметрической неопределенностью описывающих их уравнений Лагранжа. Будем опираться непосредственно на их строение, не прибегая к процедурам предварительного приведения их к форме Коши. Он состоит в упрощении известных адаптивных алгоритмов управления многостепенными нелинейными механическими объектами, построенных на основе метода вычисленного момента, для которых структура дифференциальных уравнений объекта изначально полностью определена с точностью до конечного числа числовых параметров, т.е. имеет точно известное нелинейное строение, а сами исходные адаптивные алгоритмы вычисления момента рассчитаны на полную компенсацию известных нелинейностей и независимость заданного динамического поведения адаптируемого механического объекта от его неизвестных параметров. Описывается системой многостепенный нелинейный механический объект, который состоит из n ДУ второго порядка в форме Лагранжа:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = r \quad (4.19)$$

где $q \in R^m$ – вектор обобщенных координат, $r \in R^m$ – вектор управляющих сил (моментов), $H(q)$ – $n \times n$ -матрица инерции, $C(q, \dot{q})$ – $n \times n$ -матрица центробежных и кориолисовых сил, $G(q) \in R^n$ – вектор гравитационных сил.

Данное векторно-матричное уравнение допускает (квази)линейную параметризацию относительно вектора специально подобранных неизвестных массоинерционных параметров объекта в виде:

$$Y(q, \dot{q}, \ddot{q})\theta = r \quad (4.20)$$

Обозначим через вектор s линейную комбинацию ошибок по обобщенным скоростям и обобщенным положениям вида:

$$s = (\dot{q} - \dot{q}_{эм}) + \Lambda(q - q_{эм}) \quad (4.21)$$

Введем виртуальную переменную («задающую траекторию»): $\dot{q}_s = \dot{q} - s$ (4.22). В силу определения регрессора из (4.19) и (4.20) следует тождество вида:

$$H(q)\ddot{q}_\gamma + C(q, \dot{q})\dot{q}_\gamma + G(q) = Y_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)\theta \quad (4.23)$$

Адаптивный закон управления будет иметь вид:

$$r = Y_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)\hat{\theta} - K_d s \quad (4.24)$$

Регуляризованные алгоритмы параметрической настройки выражены ДУ вида:

$$\dot{\hat{\theta}} = -\Gamma Y_\gamma^T(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)s - K\hat{\theta} \quad (4.25)$$

Показано, что адаптивное управление (4.24), (4.25) обеспечивает диссипативность (предельную ограниченность решений) в целом системы (4.19) - (4.25) по переменным (4.26). Адаптивный закон (4.24) вычисленного момента τ с алгоритмами параметрической настройки (4.25), как и алгоритмы

скоростного градиента, рассчитаны на полное знание нелинейной структуры уравнений объекта (4.19) и предполагают точное “копирование” всех нелинейностей в построении регрессора (4.20), а также точный учет конечного числа m неизвестных параметров θ объекта, причем полагаемых постоянными.

2. Упрощение адаптивных алгоритмов вычисленного момента в управлении нелинейным механическим объектом

В данном разделе рассматриваются методы упрощения адаптивных алгоритмов вычисленного момента в условиях допущения функциональной неопределенности нелинейного механического объекта (4.19), когда регрессор, используемый в алгоритмах (4.24), (4.25) вычисленного момента, не может быть точно вычислен.

Первый способ упрощения алгоритмов (4.24), (4.25) основан на исключении из используемой в адаптивном законе (4.24) матрицы регрессора (4.20') заведомо ограниченных членов, какими являются члены, попадающие в матрицу $Y_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)$ из вектора $G(q)$. Для этого случая введем соотношение:

$$H(q)\ddot{q}_\gamma + C(q, \dot{q})\dot{q}_\gamma = W_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)\theta = [Y_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)\theta - G(q)\theta] \quad (4.27)$$

Запишем адаптивный закон управления

$$r = W_\gamma(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)\theta - K_d s \quad (4.28)$$

и алгоритмы настройки его параметров

$$\dot{\hat{\theta}} = -\Gamma W_\gamma^T(q, \dot{q}, \dot{q}_\gamma, \ddot{q}_\gamma)s - \hat{K}\theta \quad (4.29)$$

Далее в лекции рассматривается утверждение 1 о диссипативности адаптивной системы (4.19), (4.27), (4.28), (4.29) в целом по переменным вида (4.8) (без доказательства).

Замечание: Для уравнений многостепенного нелинейного механического объекта (4.19) наиболее рациональная параметризация

приводит зачастую к тому, что инерционные параметры, входящие в вектор $G(q)$, не входят в остальную часть уравнений (4.19). И применение адаптивных алгоритмов (4.28), (4.29) позволяет не только упростить нелинейную структуру матрицы $Y_r(q, \dot{q}, \ddot{q}_r)$, но и уменьшить и число настраиваемых параметров.

Второй способ упрощения адаптивных алгоритмов (4.24), (4.25) связан с аппроксимацией нелинейных членов, отвечающих матрице инерции $H(q)$.

Выберем некоторую постоянную матрицу H^* так, чтобы матрица $\hat{H}(q) = (H^* - H(q))$ была положительно определенной. В силу свойства глобальной ограниченности $H(q)$ такой выбор возможен всегда. Для этого случая вводится соотношение (4.30).

Далее рассматривается утверждение 2 о глобальной диссипативности по переменным (4.26) в случае выполнения условия (4.33) для объекта (4.19) с законом управления (4.31) и алгоритмами настройки (4.32).

Третий способ упрощения адаптивных алгоритмов (4.24), (4.25) вычисления момента основан на применении метода мажорирующих функций и состоит в замене матричной функции регрессора $Y_r(q, \dot{q}, \ddot{q}_r)$ в алгоритмах адаптивного управления (4.24), (4.25) на соответствующую ей мажорирующую матричную функцию. Такая функция может быть построена с помощью замены ограничительных членов, входящих мультипликативно по отношению к остальным членам соответствующего элемента $Y_r(q, \dot{q}, \ddot{q}_r)$, их верхними по модулю гранями. Таким способом можно избавиться от тех тригонометрических функций, которые могут быть вынесены за скобку в соответствующем элементе матрицы $Y_r(q, \dot{q}, \ddot{q}_r)$.

Далее рассматривается утверждение 3 о диссипативности в целом по переменным (4.26) (без доказательства) адаптивной системы управления (4.19), (4.34), (4.35). Это утверждение можно использовать для упрощения нелинейной структуры членов, соответствующих матрице центробежных и кориолисовых сил $C(q, \dot{q})$.

Все высказанные выше утверждения 1-3 о диссипативности упрощенных адаптивных систем, обосновывающие описанные способы упрощения алгоритмов адаптивного управления (4.24), (4.25), синтезированных методом вычисленного момента, могут быть доказаны путем построения функций Ляпунова по переменным (4.26), удовлетворяющих оценкам, характерным для квадратичных форм, что доставляет и экспоненциальную диссипативность построенных упрощенных адаптивных систем типа вычисленного момента.

3. Примеры расчета и исследование адаптивной робастной системы управления трехстепенным манипуляционным роботом типовой конструкции

Далее в лекции рассматривается исследование построенных адаптивных систем на примере жесткого трехстепенного манипуляционного робота.

Адаптивная система управления трехстепенным жестким манипулятором, построенная на основе метода вычисленного момента и на основе метода мажорирующих функций. Построена нелинейная система уравнений Лагранжа (4.36).

Расчет адаптивных систем, построенных методом вычисленного момента, трудоемок, и осуществляется для каждого конкретного механического объекта, следовательно, построение этих адаптивных систем носят индивидуальный характер. Адаптивные системы, построенные по методу мажорирующих функций, не требуют никакого знания о конкретном математическом описании объекта, кроме задания числа его степеней подвижности, и поэтому носят универсальный характер, обслуживая целый класс механических объектов с фиксированным числом степеней свободы. Оба рассмотренных адаптивных подхода близки по эффективности применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены следующие темы:

- Основная структура адаптивного управления многостепенным нелинейным механическим объектом, построенного по методу вычисленного момента.
- Рассмотрены три метода упрощения адаптивных алгоритмов вычисленного момента в управлении нелинейным механическим объектом.
- Примеры расчета и исследование адаптивной робастной системы управления трехстепенным манипуляционным роботом типовой конструкции.

Рассмотренные способы упрощения адаптивных систем управления многостепенными нелинейными механическими объектами, построенных методом вычисленного момента, позволяют допустить функционально-параметрическую неопределенность математического описания нелинейных механических объектов и снизить сложность предлагаемых адаптивных систем по сравнению с исходными системами.

Рассмотренные методы помогут в изучении дальнейших вопросов теории управления, анализе и синтезе систем управления.