*Болотин Юрий Владимирович. Вырожденные задачи оптимального управления и оценивания в робототехнике, навигации и аэрогравиметрии : диссертация ... доктора физико-математических наук : 01.02.01.- Москва, 2002.- 287 с.: ил. РГБ ОД, 71 02-1/287-3*

*МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ*

*имени М.В. ЛОМОНОСОВА*

*Механико-математический факультет*

*Кафедра прикладной механики и управления*

*Болотин Юрий Владимирович*

*Вырожденные задачи оптимального управления и оценивания*

*в робототехнике, навигации и аэрогравиметрии*

*01.02.1 — теоретическая механика*

*Диссертация на соискание ученой степени*

*доктора физико-математических наук*

*Москва - 2002*

*Оглавление*

*Введение 6*

*1 Инвариантная стабилизация статически неуправляемых систем 26*

*1.1 Реализация движения с заданной синергией 26*

*1.1.1 Определение статической управляемости 27*

*1.1.2 Определение синергии 28*

*1.1.3 Алгоритм реализации синергии 29*

*1.1.4 Требование инвариантности условий устойчивости ...... 36*

*1.1.5 Примеры условий инвариантности 39*

*1.1.6 Инвариантный алгоритм реализации синергии 40*

*1.2 Стабилизация статически неустойчивых походок шагающих роботов*

*методом заданной синергии 43*

*1.2.1 Уравнения движения 44*

*1.2.2 Индекс статической неуправляемости походки 46*

*1.2.3 Походки с индексом статической неуправляемости, равным*

*единице 48*

*1.2.4 Определение синергии по программной траектории 49*

*1.2.5 Условия геометрической устойчивости синергии 51*

*1.2.6 Примеры геометрически устойчивых походок 52*

*1.2.7 Построение периодической походки с заданной синергией . . 53*

*1.2.8 Реализация движения с заданной синергией 53*

*1.3 Обсуждение результатов 56*

*2 Оптимальная стабилизация статически управляемых систем 57*

*2.1 Задача инвариантной оптимальной стабилизации статически управ¬ляемых систем с переменными связями . 58*

*2.1.1 Постановка задачи инвариантной стабилизации 58*

*2.1.2 Условия оптимальности распределения усилий 63*

*2.1.3 Условия инвариантности 64*

*2.1.4 Условия асимптотически оптимальной инвариантной стаби¬лизации: случай быстрого выхода на синергию 64*

*2.1.5 Условия асимптотически оптимальной инвариантной стаби¬лизации: случай медленного выхода на синергию 68*

*2.1.6 Замечания 71*

*2.2 Задача управления многоногим шагающим аппаратом 74*

*2.2.1 Общий критерий оптимального распределения усилий ... 74*

*2.2.2 Минимизация квадратичного критерия качества распределе¬ния опорных реакций 77*

*2.2.3 Минимизация максимального значения опорных реакций . . 77*

*2.2.4 Реализация условий непроскальзывания Кулона в точках*

*опоры 78*

*2.3 Гипотеза инвариантности Фельдмана в биомеханике 80*

*2.3.1 Постановка задачи оптимального инвариантного распределе¬ния усилий 80*

*2.3.2 Решение задачи оптимального распределения усилий .... 82*

*2.3.3 Стретч-функция Фельдмана 82*

*2.4 Обсуждение результатов 83*

*3 Оптимизация робототехнических систем по критерию минимума биомеханической работы 84*

*3.1 Общие свойства задачи минимизации энергозатрат 85*

*3.1.1 Определение функционала биомеханической работы 85*

*3.1.2 Оценки энергозатрат снизу 86*

*3.1.3 Энергетически оптимальные траектории статически управ¬ляемых систем 89*

*3.2 Оптимизация конструкции и траекторий движения манипулятора . 92*

*3.2.1 Задача минимизации энергозатрат при перемещении грузов 93*

*3.2.2 Оптимальные траектории движения манипулятора 94*

*3.2.3 Условия оптимальности конструкции манипулятора 96*

*3.2.4 О корректности предельного перехода к модели манипулято¬ра с невесомыми звеньями 99*

*3.2.5 Оптимизация конструкции манипулятора с невесомыми зве¬ньями 103*

*3.3 Энергетически оптимальное управление двуногой ходьбой 108*

*3.3.1 Постановка задачи оптимизации ходьбы и бега 108*

*3.3.2 Необходимые условия экстремума 111*

*3.3.3 Классификация участков траекторий ИЗ*

*3.3.4 Случай жестких траекторий 115*

*3.3.5 Классификация типов походок 116*

*3.3.6 Результаты численных расчетов 117*

*3.4 Модельные оценки энергетики двуногой ходьбы и бега 120*

*3.4.1 Энергетика бега . 120*

*3.4.2 Энергетика ходьбы с заданной высотой центра масс 121*

*3.4.3 Маятниковый способ ходьбы 122*

*3.4.4 Сравнение энергетики ходьбы и бега 123*

*3.4.5 Учет энергетики переносимой ноги 124*

*3.4.6 Некоторые численные оценки 125*

*3.4.7 О точности построенной оценки энергозатрат 126*

*3.4.8 Об учете ударных эффектов 128*

*3.5 Обсуждение результатов 129*

*4 Статистические критерии и алгоритмы оценивания по угловым*

*измерениям 131*

*4.1 Сравнение некоторых подходов 131*

*4.1.1 Анализ наблюдаемости цели по угловым измерениям 131*

*4.1.2 Методы оценивания по угловым измерениям 133*

*4.2 Систематические ошибки оценивания координат по данным угловых*

*измерений 137*

*4.2.1 Модель измерений при наличии погрешностей 138*

*4.2.2 Оценивание в декартовых координатах 138*

*4.2.3 Оценивание в угловых переменных 140*

*4.3 Алгоритмы решения вырожденных задач оценивания по угловым*

*измерениям 141*

*4.3.1 Уравнения динамики и измерений 142*

*4.3.2 Анализ наблюдаемости 143*

*4.3.3 Оценивание траекторий 145*

*4.3.4 Редуцированная задача оценивания 147*

*4.3.5 Результаты моделирования 149*

*4.4 Обсуждение результатов 152*

*5 Условия вырожденное™ задачи оценивания по угловым измере¬ниям 153*

*5.1 Наблюдаемость механических систем по угловым измерениям ... 153*

*5.1.1 Проективная наблюдаемость механических систем 154*

*5.1.2 Условия проективной наблюдаемости общей линейной систе¬мы 157*

*5.1.3 Обобщение на случай нескольких проективных измерений . 159*

*5.2 Сферическая наблюдаемость и гладкость границы области дости¬жимости 161*

*5.2.1 Связь геометрии области достижимости и сферической на-блюдаемости 161*

*5.2.2 Связь сферической и проективной наблюдаемости 165*

*5.2.3 Структура оптимального управления 166*

*5.3 Обсуждение результатов 168*

*6 Методы решения задачи авиационной гравиметрии 170*

*6.1 Задача аэрогравиметрии 171*

*6.1.1 Современное состояние аэрогравиметрии 171*

*6.1.2 Описание задачи аэрогравиметрии 176*

*6.2 Модели гравитационного поля 181*

*6.2.1 Определение гравитационной аномалии 181*

*6.2.2 Задача редукции аномалии 184*

*6.3 Стохастическое оценивание аномалии 187*

*6.3.1 Стохастическая модель аномалий 187*

*6.3.2 Стохастическая редукция аномалии 188*

*6.4 Задача оценивания аномалии на галсе полета 192*

*6.4.1 Спектральная плотность аномалии на галсе 192*

*6.4.2 Идеализированное уравнение измерений 193*

*6.4.3 Покомпонентное оценивание поля 194*

*6.4.4 Совместное оценивание компонент поля 194*

*6.5 Некоторые стохастические модели аномалии 195*

*6.5.1 Гауссова модель 195*

*6.5.2 Модель Шварца 196*

*6.5.3 Многослойная массовая модель 196*

*6.5.4 Марковская модель 198*

*6.6 Основное уравнение аэрогравиметрии 200*

*6.6.1 Вывод основного уравнения аэрогравиметрии 200*

*6.6.2 Основное уравнение скалярной аэрогравимерии 203*

*6.6.3 Решение основного уравнения аэрогравиметрии 205*

*6.7 Идентификация динамической модели гравиметра 213*

*6.7.1 Задача определения механических параметров 214*

*6.7.2 Алгоритм адаптивной идентификации 215*

*6.7.3 Передаточная функция гравиметра 217*

*6.8 Построение карт аномалий 218*

*6.8.1 Построение карт аномалий в частотной области 219*

*6.8.2 Согласование галсов в пространственной области 222*

*6.8.3 Построение карт аномалий в пространственной области . . . 226*

*6.9 Обсуждение результатов 228*

*Литература 228*

*Приложения 241*

*А Результаты моделирования локомоционных систем 241*

*А.1 Математическое моделирование антропоморфного шагающего аппа¬рата с электродвигателями постоянного тока 241*

*А. 1.1 Параметры модели 241*

*А. 1.2 Построение синергии 241*

*А. 1.3 Структура системы управления 245*

*А. 1.4 Результаты моделирования 248*

*А.2 Моделирование стояния человека с децентрализованным алгорит¬мом управления 249*

*А.2.1 Уравнения движения 249*

*А.2.2 Модель кинематики мышц 250*

*А.2.3 Результаты моделирования 252*

*А.З Оптимизация двуногой ходьбы: доказательство вспомогательных ре¬зультатов 254*

*А.3.1 Свойства участков оптимальных траекторий 254*

*А.3.2 Условия склейки участков траекторий 257*

*А.3.3 Условия оптимальности траекторий 259*

*В Результаты обработки экспериментальных данных аэрогравимет¬рии 265*

*В.1 Аэрогравиметрическая система АГК 265*

*В.1.1 Испытания 1998.05.15, 1998.05.17 под Вологдой 266*

*В.1.2 Испытания 1999.07.02 в Чехии 267*

*В.1.3 Испытания 2000.05.31-2000.06.02 на Ладоге 269*

*В. 1.4 Оценка работы системы 272*

*В.2 Аэрогравиметрическая система ГРАВИТОН 276*

*В.2.1 Идентификация параметров струнного гравиметра 276*

*В.2.2 Ошибка сходимости гравиметров 278*

*В.2.3 Построение карт гравитационного поля по полетам в августе*

*1999 278*

*В.2.4 Оценка работы системы 279*

*В.З Инерциально - гравиметрический комплекс МАГ-1 283*

*В.3.1 Устройство и программное обеспечение комплекса 283*

*В.3.2 Условия полетов . . . 284*

*В.3.3 Оценка работы системы 285*

*В.4 Пути дальнейшего повышения точности аэрогравиметрии 287*