

УДК 518+519.4

Интернет-магазин

MATHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - нефтегазовые технологии
-

Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э.

Прикладной интервальный анализ. — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. — 468 с.

Книга посвящена теории и численным методам гарантированного оценивания и аппроксимации множеств. Техника и математический аппарат интервального анализа строго обобщаются на процедуры работы с множествами. В монографической литературе это одна из первых книг, где детально рассматривается приложение разработанных методов к большому кругу проблем: решению систем нелинейных уравнений и неравенств, задачам оптимизации, оценивания параметров и состояний, робастного управления и робототехники. Приводится подборка примеров и упражнений.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, студентов, аспирантов, инженеров и научных работников, занятых исследованием и проектированием систем обработки информации и систем управления, а также на математиков, вычислителей и программистов.

ISBN 5-93972-585-6

Translation from the English language edition:

Applied Interval Analysis by Luc Jaulin, Michel Kieffer, Olivier Didrit and Éric Walter

Copyright © Springer-Verlag London Limited 2001

All Rights Reserved

© Институт компьютерных исследований, 2007

<http://rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

Оглавление

Предисловие	11
Обозначения	13

РАЗДЕЛ I. ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. Введение	19
1.1. Основные идеи	20
1.2. Предыстория	21
1.3. О сложности вычислений	22
1.4. Структура книги	22

РАЗДЕЛ II. АППАРАТ ИНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛИЗА

ГЛАВА 2. Основные понятия интервального анализа	27
2.1. Введение	27
2.2. Операции над множествами	27
2.2.1. Теоретико-множественные операции	27
2.2.2. Расширенные операции	29
2.2.3. Свойства операторов над множествами	30
2.2.4. Оболочки	32
2.3. Интервальный анализ	34
2.3.1. Интервалы	35
2.3.2. Интервальные вычисления	37
2.3.3. Замкнутые интервалы	38
2.3.4. Интервальные векторы	42
2.3.5. Интервальные матрицы	44
2.4. Функции включения	47
2.4.1. Определения	47
2.4.2. Естественные функции включения	50
2.4.3. Центрированные функции включения	54
2.4.4. Смешанные центрированные функции включения	55
2.4.5. Тейлоровские функции включения	57

2.4.6.	Сравнение	57
2.5.	Проверки включения	61
2.5.1.	Интервальные булевские переменные	61
2.5.2.	Проверки	63
2.5.3.	Проверки включений для множеств	65
2.6.	Выводы	66
ГЛАВА 3.	Покрытия	68
3.1.	Введение	68
3.2.	Топология множеств	69
3.2.1.	Расстояние между компактными множествами	69
3.2.2.	Помещение компактных множеств между покрытиями	72
3.3.	Регулярные покрытия	73
3.3.1.	Покрытия и подпокрытия	74
3.3.2.	Представление регулярного покрытия в виде двоичного дерева	76
3.3.3.	Основные операции на регулярных покрытиях	77
3.4.	Выполнение вычислений с множествами	80
3.4.1.	Обращение множества	81
3.4.2.	Оценивание образа	85
3.5.	Выводы	90
ГЛАВА 4.	Сжимающие операторы	92
4.1.	Введение	92
4.2.	Основные сжимающие операторы	94
4.2.1.	Конечные разрешающие операторы	95
4.2.2.	Интервальные конечные разрешающие операторы	98
4.2.3.	Метод неподвижной точки	101
4.2.4.	Метод вперед-назад	107
4.2.5.	Подход на основе линейного программирования	112
4.3.	Внешняя аппроксимация	113
4.3.1.	Основная идея	114
4.3.2.	Предобуславливание	115
4.3.3.	Ньютоновский сжимающий оператор	117
4.3.4.	Параллельная линеаризация	118
4.3.5.	Использование формальных преобразований	120
4.4.	Взаимодействие между сжимающими операторами	123
4.4.1.	Основная идея	123
4.4.2.	Сжимающие операторы и функции включения	127
4.5.	Сжимающие операторы на множествах	130
4.5.1.	Определения	130
4.5.2.	Множества, определяемые ограничениями в виде равенств и неравенств	133

4.5.3.	Улучшение операторов сжатия при использовании локального поиска	134
4.6.	Выводы	134
ГЛАВА 5.	Разрешающие операторы	138
5.1.	Введение	138
5.2.	Решение квадратных систем нелинейных уравнений	139
5.3.	Описание свойств множеств, определяемых неравенствами	142
5.4.	Интервальная оболочка множества, задаваемого неравенствами	148
5.4.1.	Первый подход	148
5.4.2.	Второй подход	149
5.5.	Глобальная оптимизация	154
5.5.1.	Алгоритм Мура–Скелбо	158
5.5.2.	Алгоритм Хансена	159
5.5.3.	Использование метода вперед-назад	165
5.6.	Минимаксная оптимизация	166
5.6.1.	Случай отсутствия ограничений	167
5.6.2.	Случай наличия ограничений	171
5.6.3.	Работа с кванторами	175
5.7.	Множества уровня целевой функции	177
5.8.	Выводы	178

РАЗДЕЛ III. ПРИЛОЖЕНИЯ

ГЛАВА 6.	Оценивание	183
6.1.	Введение	183
6.2.	Оценивание параметров с помощью оптимизации	186
6.2.1.	Оценивание параметров методом наименьших квадратов при моделировании структур	188
6.2.2.	Минимаксное оценивание параметров	192
6.3.	Гарантированное оценивание параметров	200
6.3.1.	Введение	200
6.3.2.	Случай известных независимых переменных	204
6.3.3.	Защита от выбросов	206
6.3.4.	Случай неопределенности независимых переменных	211
6.3.5.	Вычисление интервальной оболочки апостериорного допустимого множества	214
6.4.	Гарантированное оценивание состояний	216
6.4.1.	Введение	216

6.4.2.	Оценивание начального состояния	219
6.4.3.	Оценивание всех переменных состояния	220
6.4.4.	Гарантированное оценивание на основе метода вперед-назад	224
6.5.	Выводы	235
ГЛАВА 7.	Робастное управление	238
7.1.	Введение	238
7.2.	Устойчивость детерминированных линейных систем	239
7.2.1.	Характеристический полином	240
7.2.2.	Критерий Рауса	241
7.2.3.	Степень устойчивости	242
7.3.	Основные проверки робастной устойчивости	245
7.3.1.	Интервальные полиномы	247
7.3.2.	Аффинное семейство полиномов	249
7.3.3.	Нелинейная зависимость от параметров	250
7.3.4.	Заключение	251
7.4.	Анализ робастной устойчивости	252
7.4.1.	Области устойчивости	252
7.4.2.	Степень устойчивости	255
7.4.3.	Подход на основе множества значений полинома	260
7.4.4.	Запасы робастной устойчивости	268
7.4.5.	Радиус устойчивости	274
7.5.	Синтез регулятора	278
7.6.	Выводы	282
ГЛАВА 8.	Робототехника	283
8.1.	Введение	283
8.2.	Расширенная кинематическая задача для платформ Стюарта–Гофа	284
8.2.1.	Платформы Стюарта–Гофа	284
8.2.2.	Переход от системы координат подвижной платфор- мы к системе координат основания	285
8.2.3.	Решаемые уравнения	287
8.2.4.	Решение	288
8.3.	Планирование маршрута	294
8.3.1.	Графическая дискретизация пространства конфигу- раций	296
8.3.2.	Алгоритмы нахождения допустимого маршрута	298
8.3.3.	Тестовый пример	303
8.4.	Определение местоположения и слежение за мобильным роботом	309

8.4.1.	Формулировка статической задачи определения местоположения робота	311
8.4.2.	Модель процесса измерения	317
8.4.3.	Обращение множеств	321
8.4.4.	Обработка выбросов	322
8.4.5.	Пример статической задачи определения местоположения	324
8.4.6.	Слежение	327
8.4.7.	Пример	330
8.5.	Выводы	331

РАЗДЕЛ IV. РЕАЛИЗАЦИЯ

ГЛАВА 9.	Автоматическое дифференцирование	337
9.1.	Введение	337
9.2.	Прямое и обратное дифференцирование	338
9.2.1.	Прямое дифференцирование	338
9.2.2.	Обратное дифференцирование	340
9.3.	Дифференцирование алгоритмов	342
9.3.1.	Первое предположение	342
9.3.2.	Второе предположение	344
9.3.3.	Третье предположение	346
9.4.	Примеры	348
9.4.1.	Пример 1	349
9.4.2.	Пример 2	352
9.5.	Выводы	353
ГЛАВА 10.	Гарантированные вычисления с числами с плавающей точкой	355
10.1.	Введение	355
10.2.	Числа с плавающей точкой и стандарт IEEE 754	355
10.2.1.	Представление	356
10.2.2.	Округление	358
10.2.3.	Специальные величины	360
10.3.	Интервалы и стандарт IEEE 754	361
10.3.1.	Машинные интервалы	362
10.3.2.	Арифметика замкнутых интервалов	363
10.3.3.	Работа с элементарными функциями	365
10.3.4.	Улучшение интервальных оценок	366
10.4.	Источники программного обеспечения для интервальных вычислений	368
10.5.	Выводы	370

ГЛАВА 11. Материал для самостоятельных упражнений	371
11.1. Введение	371
11.2. Сведения о C++	372
11.2.1. Структура программы	372
11.2.2. Стандартные типы	374
11.2.3. Указатели	374
11.2.4. Передача параметров в функцию	375
11.3. Класс INTERVAL	377
11.3.1. Конструкторы и деструкторы	379
11.3.2. Другие члены-функции	380
11.3.3. Математические функции	385
11.4. Интервалы с использованием библиотеки PROFIL/BIAS	387
11.4.1. BIAS	388
11.4.2. PROFIL	388
11.4.3. Первое знакомство	389
11.5. Упражнения на вычисление интервалов	391
11.6. Интервальные векторы	392
11.6.1. Класс INTERVAL_VECTOR	393
11.6.2. Конструкторы, операторы присваивания и вызова функции	394
11.6.3. Функции-друзья	397
11.6.4. Сервисные процедуры (утилиты)	399
11.7. Векторы с использованием библиотеки PROFIL/BIAS	400
11.8. Упражнения на интервальные векторы	401
11.9. Интервальные матрицы	405
11.10. Матрицы с использованием библиотеки PROFIL/BIAS	407
11.11. Упражнения на интервальные матрицы	408
11.12. Регулярные покрытия с использованием библиотеки PROFIL/BIAS	412
11.12.1. Класс NODE	412
11.12.2. Обращение множеств с покрытиями	415
11.12.3. Оценивание образов с помощью покрытий	419
11.12.4. Моделирование системы и оценивание ее состояния с помощью покрытий	425
11.13. Обработка ошибок	427
11.13.1. Использование оператора Exit	427
11.13.2. Обработка исключений	428
11.13.3. Обработка ошибок математических вычислений	430
Литература	431
Дополнительная литература	454
Предметный указатель	458