

Нечеткое моделирование и управление

Andrzej Piegat

Fuzzy Modeling and Control

With 680 Figures
and 96 Tables



Physica-Verlag

A Springer-Verlag Company

АДАПТИВНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

А. Пегат

Нечеткое моделирование и управление

2-Е ИЗДАНИЕ (ЭЛЕКТРОННОЕ)

Перевод с английского
А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева
под редакцией Ю. В. Тюменцева



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2013

УДК 517.11+519.92
 ББК 22.18
 П23

Электронный аналог печатного издания: Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат ; пер. с англ. — 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 798 с. : ил. — (Адаптивные и интеллектуальные системы).

Серия основана в 2005 г.

Пегат А.

П23 Нечеткое моделирование и управление [Электронный ресурс] / А. Пегат ; пер. с англ. — 2-е изд. (эл.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 798 с. : ил. — (Адаптивные и интеллектуальные системы).

ISBN 978-5-9963-1319-8

Дается развернутое введение в проблемы нечеткого и нейронечеткого моделирования применительно к задаче управления системами. Материал основан на новейших результатах в данной области и иллюстрируется многочисленными примерами.

Для специалистов в области нечеткого и нейронечеткого моделирования и управления, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

УДК 517.11+519.92
ББК 22.18

По вопросам приобретения обращаться:
«БИНОМ. Лаборатория знаний»
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

ISBN 978-5-9963-1319-8

Translation from the English language edition:
Fuzzy Modeling and Control by Andrzej Piegat
 Copyright © Physica-Verlag Heidelberg 2001
 All Rights Reserved
 © БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009

Интерактивное оглавление

Предисловие редактора перевода	5
Вступление	9
Предисловие	11
Глава 1. Введение	13
1.1. Сущность теории нечетких множеств	13
1.2. Развитие теории нечетких множеств	19
Глава 2. Основные понятия теории нечетких множеств	25
2.1. Нечеткие множества	25
2.2. Характеристические параметры (показатели) нечеткого множества	37
2.3. Лингвистические модификаторы нечетких множеств	43
2.4. Типы функций принадлежности нечетких множеств	50
2.5. Нечеткие множества типа 2	70
2.6. Два вида неопределенности— нечеткость и вероятность	74
Глава 3. Нечеткая арифметика	78
3.1. Принцип обобщения	79
3.2. Сложение нечетких чисел	87
3.3. Вычитание нечетких чисел	95
3.4. Умножение нечетких чисел	100
3.5. Деление нечетких чисел	116
3.6. Особенности нечетких чисел	121
3.7. Различия между нечеткими числами и лингвистическими значениями	128
Глава 4. Нечеткая математика	131
4.1. Основные операции над нечеткими множествами	131
4.1.1. Оператор пересечения (логическое произведение) нечетких множеств	132
4.1.2. Объединение (логическая сумма) нечетких множеств	148
4.1.3. Компенсирующие операторы	155
4.2. Нечеткие отношения	158
4.3. Импликация	172
Глава 5. Нечеткие модели	179
5.1. Структура, основные элементы и операции в нечетких моделях	179
5.1.1. Фаззификация	182
5.1.2. Вывод	183
5.1.2.1. Оценка степени выполнения условия	186

5.1.2.2.	Определение активизированных функций принадлежности заключений отдельных правил при заданных входных значениях нечеткой модели	190
5.1.2.3.	Определение результирующей функции принадлежности вывода из базы правил	196
5.1.3.	Дефаззификация результирующей функции принадлежности вывода из базы правил	208
5.1.4.	Пример нечеткого моделирования	223
5.2.	Важные свойства правил, баз правил и нечетких моделей	225
5.2.1.	Локальный характер правил	227
5.2.2.	Зависимость числа правил от числа входных параметров и нечетких множеств	229
5.2.3.	Полнота нечеткой модели	233
5.2.4.	Непротиворечивость базы правил	241
5.2.5.	Связность базы правил	246
5.2.6.	Избыточность базы правил	248
5.3.	Рекомендации по построению базы правил	249
5.4.	Сокращение базы правил	254
5.5.	Нормирование (масштабирование) входов и выхода нечеткой модели	270
5.6.	Экстраполяция в нечетких моделях	277
5.7.	Типы нечетких моделей	311
5.7.1.	Модели Мамдани	311
5.7.2.	Модели Такаги—Сугено	332
5.7.3.	Реляционные модели	343
5.7.4.	Глобальные и локальные нечеткие модели	349
5.7.5.	Нечеткие мультимодели	356
5.7.6.	Нейронечеткие модели	362
5.7.7.	Альтернативные модели	365
5.7.8.	Принципы подобия систем и моделей систем	373
5.7.9.	Нечеткая классификация	374
Глава 6.	Методы нечеткого моделирования	399
6.1.	Нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе	402
6.2.	Построение самоадаптирующихся нечетких моделей на основе измеренных данных о входах и выходах системы	409
6.2.1.	Применение нейронечетких сетей для настройки параметров нечеткой модели	411
6.2.1.1.	Структуризация и обучение нейронных сетей	412
6.2.1.2.	Преобразование нечеткой модели Мамдани в нейронечеткую сеть	427
6.2.1.3.	Преобразование в нейронечеткую сеть нечеткой модели Такаги—Сугено	436
6.2.2.	Настройка параметров нечеткой модели с помощью генетического алгоритма	439

6.3. Построение самоорганизующихся и самонастраивающихся нечетких моделей на основе измеренных данных о входах и выходах системы	445
6.3.1. Выявление существенных и несущественных входов модели	446
6.3.2. Определение нечетких кривых	451
6.3.3. Самоорганизация и самонастройка параметров нечеткой модели	458
6.3.3.1. Самоорганизация и настройка нечеткой модели с применением геометрического метода точек максимума абсолютной ошибки	461
6.3.3.2. Самоорганизация и самонастройка нечетких моделей методами кластеризации	494
6.3.3.3. Самоорганизация и самонастройка нечетких моделей методом поиска	530
Глава 7. Нечеткое управление	539
7.1. Статические нечеткие регуляторы	539
7.2. Динамические нечеткие регуляторы	542
7.3. Формирование структур и настройка параметров нечетких регуляторов	555
7.3.1. Проектирование нечетких регуляторов на основе экспертного знания об объекте управления	556
7.3.2. Разработка нечеткого регулятора на основе модели эксперта, управляющего объектом	561
7.3.3. Разработка нечеткого регулятора на основе модели объекта управления	567
7.3.3.1. Некоторые замечания относительно идентификации моделей динамических объектов	568
7.3.3.2. Некоторые замечания относительно идентификации инвертированных моделей динамических объектов	571
7.3.3.3. Настройка нечеткого регулятора с заранее выбранной структурой	603
7.3.3.4. Нечеткое управление, основанное на структуре с внутренней моделью	611
7.3.3.5. Нечеткое управление, основанное на структуре с инверсной моделью объекта (ИМ-структура)	635
7.3.3.6. Адаптивное нечеткое управление	652
7.3.3.7. Многомерное нечеткое управление (ММО)	656
Глава 8. Устойчивость нечетких систем управления	663
8.1. Устойчивость нечетких систем управления с неизвестными моделями объектов	669
8.2. Круговой критерий устойчивости	674

8.3. Применение теории гиперустойчивости для анализа устойчивости нечетких систем	681
8.3.1. Представление условий гиперустойчивости в частотной области для систем управления со стационарной нелинейной частью	684
8.3.2. Условия во временной области для гиперустойчивости непрерывных нелинейных систем управления, включающих стационарную нелинейную часть	714
8.3.3. Условия гиперустойчивости в частотной области для дискретных нелинейных систем управления, содержащих стационарную нелинейную часть	716
Список литературы	767
Предметный указатель	786

Оглавление

Предисловие редактора перевода	5
Вступление	9
Предисловие	11
Глава 1. Введение	13
1.1. Сущность теории нечетких множеств	13
1.2. Развитие теории нечетких множеств	19
Глава 2. Основные понятия теории нечетких множеств	25
2.1. Нечеткие множества	25
2.2. Характеристические параметры (показатели) нечеткого множества	37
2.3. Лингвистические модификаторы нечетких множеств	43
2.4. Типы функций принадлежности нечетких множеств	50
2.5. Нечеткие множества типа 2	70
2.6. Два вида неопределенности — нечеткость и вероятность	74
Глава 3. Нечеткая арифметика	78
3.1. Принцип обобщения	79
3.2. Сложение нечетких чисел	87
3.3. Вычитание нечетких чисел	95
3.4. Умножение нечетких чисел	100
3.5. Деление нечетких чисел	116
3.6. Особенности нечетких чисел	121
3.7. Различия между нечеткими числами и лингвистическими значениями	128
Глава 4. Нечеткая математика	131
4.1. Основные операции над нечеткими множествами	131
4.1.1. Оператор пересечения (логическое произведение) нечетких множеств	132
4.1.2. Объединение (логическая сумма) нечетких множеств	148
4.1.3. Компенсирующие операторы	155
4.2. Нечеткие отношения	158
4.3. Импликация	172

Глава 5. Нечеткие модели	179
5.1. Структура, основные элементы и операции в нечетких моделях	179
5.1.1. Фаззификация	182
5.1.2. Вывод	183
5.1.2.1. Оценка степени выполнения условия	186
5.1.2.2. Определение активизированных функций принадлежности заключений отдельных правил при заданных входных значениях нечеткой модели	190
5.1.2.3. Определение результирующей функции принадлежности вывода из базы правил	196
5.1.3. Дефаззификация результирующей функции принадлежности вывода из базы правил	208
5.1.4. Пример нечеткого моделирования	223
5.2. Важные свойства правил, баз правил и нечетких моделей	225
5.2.1. Локальный характер правил	227
5.2.2. Зависимость числа правил от числа входных параметров и нечетких множеств	229
5.2.3. Полнота нечеткой модели	233
5.2.4. Непротиворечивость базы правил	241
5.2.5. Связность базы правил	246
5.2.6. Избыточность базы правил	248
5.3. Рекомендации по построению базы правил	249
5.4. Сокращение базы правил	254
5.5. Нормирование (масштабирование) входов и выхода нечеткой модели	270
5.6. Экстраполяция в нечетких моделях	277
5.7. Типы нечетких моделей	311
5.7.1. Модели Мамдани	311
5.7.2. Модели Такаги—Сугено	332
5.7.3. Реляционные модели	343
5.7.4. Глобальные и локальные нечеткие модели	349
5.7.5. Нечеткие мультимодели	356
5.7.6. Нейронечеткие модели	362
5.7.7. Альтернативные модели	365
5.7.8. Принципы подобия систем и моделей систем	373
5.7.9. Нечеткая классификация	374
Глава 6. Методы нечеткого моделирования	399
6.1. Нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе	402
6.2. Построение самонастраивающихся нечетких моделей на основе измеренных данных о входах и выходах системы	409
6.2.1. Применение нейронечетких сетей для настройки параметров нечеткой модели	411
6.2.1.1. Структуризация и обучение нейронных сетей	412

6.2.1.2.	Преобразование нечеткой модели Мамдани в нейронечеткую сеть	427
6.2.1.3.	Преобразование в нейронечеткую сеть нечеткой модели Такаги—Сугено.	436
6.2.2.	Настройка параметров нечеткой модели с помощью генетического алгоритма.	439
6.3.	Построение самоорганизующихся и самонастраивающихся нечетких моделей на основе измеренных данных о входах и выходах системы.	445
6.3.1.	Выявление существенных и несущественных входов модели	446
6.3.2.	Определение нечетких кривых.	451
6.3.3.	Самоорганизация и самонастройка параметров нечеткой модели.	458
6.3.3.1.	Самоорганизация и настройка нечеткой модели с применением геометрического метода точек максимума абсолютной ошибки	461
6.3.3.2.	Самоорганизация и самонастройка нечетких моделей методами кластеризации	494
6.3.3.3.	Самоорганизация и самонастройка нечетких моделей методом поиска.	530
Глава 7.	Нечеткое управление	539
7.1.	Статические нечеткие регуляторы	539
7.2.	Динамические нечеткие регуляторы.	542
7.3.	Формирование структур и настройка параметров нечетких регуляторов.	555
7.3.1.	Проектирование нечетких регуляторов на основе экспертного знания об объекте управления	556
7.3.2.	Разработка нечеткого регулятора на основе модели эксперта, управляющего объектом	561
7.3.3.	Разработка нечеткого регулятора на основе модели объекта управления	567
7.3.3.1.	Некоторые замечания относительно идентификации моделей динамических объектов.	568
7.3.3.2.	Некоторые замечания относительно идентификации инвертированных моделей динамических объектов.	571
7.3.3.3.	Настройка нечеткого регулятора с заранее выбранной структурой	603
7.3.3.4.	Нечеткое управление, основанное на структуре с внутренней моделью.	611
7.3.3.5.	Нечеткое управление, основанное на структуре с инверсной моделью объекта (ИМ-структура).	635

7.3.3.6.	Адаптивное нечеткое управление.	652
7.3.3.7.	Многомерное нечеткое управление (MIMO).	656
Глава 8.	Устойчивость нечетких систем управления	663
8.1.	Устойчивость нечетких систем управления с неизвестными мо- делями объектов.	669
8.2.	Круговой критерий устойчивости	674
8.3.	Применение теории гиперустойчивости для анализа устойчи- вости нечетких систем	681
8.3.1.	Представление условий гиперустойчивости в частотной области для систем управления со стационарной нели- нейной частью	684
8.3.2.	Условия во временной области для гиперустойчивости непрерывных нелинейных систем управления, включаю- щих стационарную нелинейную часть	714
8.3.3.	Условия гиперустойчивости в частотной области для дис- кретных нелинейных систем управления, содержащих стационарную нелинейную часть.	716
Список литературы		767
Предметный указатель		786