

НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



Информатика

*М.В. Бобырь, С.Г. Емельянов,
А.Е. Архипов, Н.А. Милостная*

ПРИКЛАДНЫЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА



Данная книга доступна в цветном
исполнении в электронно-библиотечной
системе Znanium



НАУЧНАЯ МЫСЛЬ

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

**М.В. БОБЫРЬ
С.Г. ЕМЕЛЬЯНОВ
А.Е. АРХИПОВ
Н.А. МИЛОСТНАЯ**

ПРИКЛАДНЫЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

МОНОГРАФИЯ

**Электронно-
Библиотечная**
znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2023

УДК 004.896(075.4)
ББК 32.813.5
Б72

Монография основана на материалах, полученных в ходе научных исследований по Государственному заданию № 0851-2020-0032, и подготовлена в рамках выполнения проекта Российского научного фонда № 23-21-00071. Авторы выражают благодарность Фонду за оказанную поддержку

Рецензенты:

Ронжин А.Л., доктор технических наук, профессор, директор Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра Российской академии наук;

Мещеряков Р.В., доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории № 80 «Киберфизические системы» Института проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук

Бобырь М.В.

Б72 Прикладные нейро-нечеткие вычислительные системы и устройства : монография / М.В. Бобырь, С.Г. Емельянов, А.Е. Архипов, Н.А. Милостная. — Москва: ИНФРА-М, 2023. — 263 с. — DOI 10.12737/1900641.

ISBN 978-5-16-017976-6 (print)

ISBN 978-5-16-110980-9 (online)

Монография посвящена анализу и разработке прикладных нейро-нечетких систем и устройств. Изложены вопросы, связанные с обучением нейро-нечетких систем вывода. Приведено множество примеров и алгоритмов, поясняющих суть функционирования разработанных методов.

Предназначена для студентов, аспирантов, исследователей, инженеров, занимающихся разработкой интеллектуальных систем и устройств управления механизмами.

УДК 004.896(075.4)
ББК 32.813.5



Данная книга доступна в цветном исполнении в электронно-библиотечной системе Znanium

ISBN 978-5-16-017976-6 (print)
ISBN 978-5-16-110980-9 (online)

© Бобырь М.В., Емельянов С.Г.,
Архипов А.Е., Милостная Н.А.,
2023

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. ОСНОВЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	6
1.1. Основные термины теории нечеткой логики	6
1.2. Виды функций принадлежности	18
1.3. Нечеткая арифметика	31
1.3.1. Принцип обобщения Заде	32
1.3.2. SISO-система	35
1.3.3. MISO-система	38
1.3.4. Арифметические операции	41
Глава 2. НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ВЫВОДА	53
2.1. Обобщенная модель нечеткого вывода	53
2.2. Упрощенная модель нечеткого вывода	60
2.3. Традиционные модели нечетко-логического вывода	62
2.3.1. Модель Мамдани	62
2.3.2. Модель Ларсена	67
2.3.3. Модель Тсукамото	70
2.3.4. Модель Сугэно	72
2.3.5. Модель Такаги — Сугэно	75
2.3.6. Мягкая модель нечеткого вывода	76
2.4. Модели дефаззификации	87
2.5. Дефаззификация: модель разности площадей	94
Глава 3. АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ДЕФАЗЗИФИКАТОРОВ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ	106
3.1. Дефаззификация на основе метода отношения площадей	106
3.1.1. Дефаззификатор на основе линейного метода отношения площадей	106
3.1.2. Модифицированный дефаззификатор на основе линейного метода отношения площадей	108
3.1.3. Быстродействующий дефаззификатор на основе линейного метода отношения площадей	110
3.1.4. Дефаззификатор на основе нелинейного метода отношения площадей	111
3.2. Имитационная модель дефаззификатора	112
3.3. Экспериментальные исследования линейного и нелинейного дефаззификаторов	113
Глава 4. НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧЕНИЯ	117
4.1. Модель адаптивной нейро-нечеткой сети	119
4.2. Модель обучения адаптивной нейро-нечеткой сети на основе подхода отношения площадей (MAR-ANFIS)	123
4.2.1. Модель обучения нейро-нечеткой сети	123
4.2.2. Анализ свойств MAR-ANFIS	132
4.2.3. Моделирование MAR-ANFIS	134
4.3. Практическая реализация модели обучения нейро-нечеткой сети	145
4.3.1. Моделирование процесса обучения нейро-нечеткой сети на примере обучения роботизированного комплекса с числовым программным управлением	145

4.3.2.	Структура устройств для управления термоэлементом на основе ПЛИС.....	147
4.3.2.1.	Устройство для управления термоэлементом на основе биполярного транзистора.....	147
4.3.2.2.	Устройство для управления термоэлементом на основе полевого транзистора.....	148
4.3.2.3.	Устройство для преобразования тока в напряжение.....	149
4.3.3.	Нечеткие модели для устройств управления термоэлементом.....	150
4.3.3.1.	Нечеткая модель для устройства управления термоэлементом на основе генератора тока.....	150
4.3.3.2.	Нечеткая модель для устройства управления термоэлементом на основе полевого транзистора.....	156
4.3.4.	Экспериментальные результаты.....	158
4.3.4.1.	Устройство управления термоэлементом, реализованное на ПЛИС.....	158
4.3.4.2.	Моделирование нечетких моделей для устройств управления термоэлементом.....	161

Глава 5. НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ..... 167

5.1.	Распознавание оттенка цветовой метки на основе нечеткой кластеризации.....	167
5.1.1.	Постановка задачи.....	169
5.1.2.	Метод распознавания цветовой метки и вычисления ее смещения.....	171
5.1.3.	Имитационная модель устройства распознавания цветовой метки и ее смещения.....	179
5.1.4.	Экспериментальные результаты.....	183
5.2.	Построение карты глубины с использованием модернизированного фильтра Канни.....	187
5.2.1.	Математическая модель модернизированного фильтра Канни.....	189
5.2.2.	Эксперимент.....	195
5.2.3.	Иерархическая нечетко-логическая модель построения карты глубины.....	197
5.2.4.	Эксперимент.....	204
5.3.	Экспериментальная оценка функционирования устройства управления ориентацией беспилотного транспортного средства.....	208
5.3.1.	Структурно-функциональная организация системы управления ориентацией беспилотного транспортного средства.....	208
5.3.2.	Экспериментальные исследования адекватности математических моделей.....	211
5.3.3.	Расчет достоверности полученных результатов.....	212

Глава 6. НЕЧЕТКИЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОТНОШЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ..... 215

6.1.	Предлагаемый нечеткий фильтр на основе метода соотношения площадей.....	217
6.2.	Численное моделирование.....	224
6.3.	Сравнение с существующими методами.....	228
6.4.	Математическая модель нечеткого цифрового фильтра.....	229
6.5.	Алгоритм нечеткого цифрового фильтра.....	234
6.6.	Экспериментальные исследования нечеткого цифрового фильтра.....	235

Заключение..... 240

Список использованной литературы..... 242