

АДАПТИВНЫЕ И
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

А. Пегат

Нечеткое МОДЕЛИРОВАНИЕ и управление

Теория нечетких множеств

Нечеткая математика

Нечеткие модели

Методы нечеткого
моделирования

Нечеткое управление

Устойчивость систем
с нечетким управлением



ИЗДАТЕЛЬСТВО

БИНОМ

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

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



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний

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 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 |

Предисловие редактора перевода

В последние два десятилетия резко возрос интерес к различным аспектам проблемы интеллектуального управления. Одно из основных направлений, связанных с решением этой проблемы, состоит в использовании аппарата нечетких систем: нечетких множеств, нечеткой логики, нечеткого моделирования и т. п. Применение этого аппарата приводит к построению нечетких систем управления различных классов, позволяющих решать задачи управления в ситуациях, когда традиционные методы неэффективны или даже вообще неприменимы из-за отсутствия достаточно точного знания об объекте управления.

Литература по нечетким системам, вышедшая с 1965 г., даты публикации первой статьи Л. Заде по этой тематике, огромна. Только книг насчитывается несколько сотен. Например, с 1993 г. издательством «Шпрингер» выпускается серия «Исследования по нечетким системам и мягким вычислениям» (Studies in Fuzziness and Soft Computing), редактором которой является Януш Кацпшик (Janusz Kasprzyk). В этой серии, одним из томов которой является и книга Анджея Пегата «Нечеткое моделирование и управление», по состоянию на середину 2008 г. издано более 230 томов.

На русском языке к числу первых серьезных публикаций по нечетким системам относится перевод двух больших статей Лотфи Заде [6] и [7] (вторая из них в соавторстве с Ричардом Беллманом), и книги [8], также написанной Л. Заде. Ряд книг, в частности, [1]–[22], [27], [28] был издан в дальнейшем.

Эффективность применения методов нечеткого моделирования и управления существенно повышается, если их использовать совместно и во взаимодействии с методами, основанными на искусственных нейронных сетях (см., например, [23]–[31]) и генетических алгоритмах (см. [28], [32], [33]).

Именно этот круг вопросов и рассматривается в книге «Нечеткое моделирование и управление». Ее автор, Анджей Пегат, профессор Щецинского технического университета (Польша) — видный специалист в области мягких вычислений и теории управления.

В книге дается расширенное введение в теорию нечетких множеств, затем обстоятельно рассматриваются вопросы нечеткого моделирования систем. На этой основе излагаются проблемы построения нечетких систем управления динамическими объектами. Большое внимание уделено гибридным методам моделирования и управления, в которых сочетается применение нечетких систем, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. Одна из интересных и нетипичных особенностей книги состоит в том, что методы мягких вычислений излагаются и трактуются с позиций специалиста по системам управления.

Книга будет полезна научным работникам, инженерам, аспирантам, студентам старших курсов, интересующимся математическим моделированием, мягкими вычислениями, системами управления, а также применением этого аппарата к решению задач в разнообразных прикладных областях.

Работа по переводу книги распределилась следующим образом: главы с 1 по 6 — А. Г. Подвесовский, вступление, предисловие, главы 7 и 8, предметный указатель — Ю. В. Тюменцев.

Список литературы

- [1] *Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф., Силов В. Б., Тарасов В. Б.* Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М.: Наука, 1986. — 312 с. — (Серия «Проблемы искусственного интеллекта»)
- [2] *Алиев Р. А., Церковный А. Э., Мамедова Г. А.* Управление производством при нечеткой исходной информации / Ред.: В. Н. Вагин, В. И. Петухова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 240 с.
- [3] *Батыршин И. З., Недосекин А. О., Стецко А. А., Тарасов В. Б., Язенин А. В., Ярушкина Н. Г.* Нечеткие гибридные системы: Теория и практика / Под ред. Н. Г. Ярушкиной. — М.: Физматлит, 2007. — 208 с.
- [4] *Борисов А. Н., Алексеев А. В., Меркурьева Г. В., Слядзь Н. Н., Глушков В. И.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. — М.: Радио и связь, 1989. — 304 с.
- [5] *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей: Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с франц. В. Б. Тарасова под ред. С. А. Орловского. — М.: Радио и связь, 1990. — 288 с.
- [6] *Заде Л.* Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // В сб.: Математика сегодня: Пер. с англ. — М.: Знание, 1974. — С. 5–21. — (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика». Вып. 7, 1974)

- [7] *Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях // В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений / Под ред. *И. Ф. Шахнова*, с предисл. *Г. С. Поспелова*. — М.: Мир, 1976. — С. 172–215.
- [8] *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. *Н. И. Ринго* под ред. *Н. Н. Моисеева* и *С. А. Орловского*. — М.: Мир, 1976. — 165 с. — (Серия «Новое в зарубежной науке: Математика», вып. 3 / Ред. серии *А. Н. Колмогоров* и *С. П. Новиков*)
- [9] Классификация и кластер / Под ред. *Дж. Вэн Райзина*: Пер. с англ. *П. П. Кольцова* под ред. *Ю. И. Журавлева*. — М.: Мир, 1980. — 389 с.
- [10] *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. С предисл. *Л. А. Заде*: Пер. с франц. *В. Б. Кузьмина* под ред. *С. И. Травкина*. С предисл. *М. А. Айзермана*. — М.: Радио и связь, 1982. — 432 с.
- [11] *Кузьмин В. Б.* Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений. — М.: Наука, 1982. — 168 с. — (Серия «Теория и методы системного анализа»)
- [12] *Лю Б.* Теория и практика неопределенного программирования: Пер. с англ. *Ю. В. Тюменцева* и *Ю. Т. Каганова* под ред. *Ю. В. Тюменцева*. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 416 с. — (Серия «Адаптивные и интеллектуальные системы»)
- [13] *Малышев Н. Г., Бернштейн Л. С., Боженюк А. В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 136 с.
- [14] *Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. — М.: Наука, 1990. — 272 с.
- [15] Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения / Под ред. *Р. Р. Ягера*: Пер. с англ. *В. Б. Кузьмина* под ред. *С. И. Травкина*. — М.: Радио и связь, 1986. — 408 с.
- [16] *Новак В., Перфильева И., Мочкорж И.* Математические принципы нечеткой логики: Пер. с англ. под ред. *А. Н. Аверкина*. — М.: Физматлит, 2006. — 352 с.
- [17] *Орлов А. И.* Задачи оптимизации и нечеткие переменные. — М.: Знание, 1980. — 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Математика, кибернетика». Вып. 8, 1980)
- [18] *Орловский С. А.* Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. — М.: Наука, 1981. — 208 с. — (Серия «Оптимизация и исследование операций»)
- [19] Прикладные нечеткие системы / Под ред. *Т. Тэрано, К. Асаи* и *М. Сугэно*: Пер. с япон. *Ю. Н. Чернышова*. — М.: Мир, 1993. — 368 с.
- [20] *Пытьев Ю. П.* Возможность: Элементы теории и применения. — М.: Эдиториал УРСС, 2000. — 192 с.
- [21] *Пытьев Ю. П.* Возможность как альтернатива вероятности: Математические и эмпирические основы, применение. — М.: Физматлит, 2007. — 464 с.

- [22] *Шапиро Д. И.* Принятие решений в системах организационного управления: Использование расплывчатых категорий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 184 с.
- [23] *Головкин В. А.* Нейронные сети: Обучение, организация и применение / Под общ. ред. *А. И. Галушкина*. — М.: ИПРЖР, 2001. — 256 с. — (Серия «Нейрокомпьютеры и их применения». Кн. 4)
- [24] *Горбань А. Н., Дунин-Барковский В. Л., Кирдин А. Н.* и др. Нейроинформатика / Отв. ред. *Е. А. Новиков*. — Новосибирск: Наука, 1998. — 296 с.
- [25] *Горбань А. Н., Россиев Д. А.* Нейронные сети на персональном компьютере / Отв. ред. *В. И. Быков*. — Новосибирск: Наука, 1996. — 276 с.
- [26] *Ежов А. А., Шумский С. А.* Нейрокомпьютинг и его приложения в экономике и бизнесе. — М.: Изд-во МИФИ, 1998. — 224 с.
- [27] *Круглов В. В., Дли М. М., Голунов Р. Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.
- [28] *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. *И. Д. Рудинского*. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 452 с.
- [29] *Сигеру О., Марзуки К., Рубия Ю.* Нейроуправление и его приложения: Пер. с англ. *Н. В. Батина* под общ. ред. *А. И. Галушкина* и *В. А. Птичкина*. — М.: ИПРЖР, 2000. — 272 с. — (Серия «Нейрокомпьютеры и их применения». Кн. 2)
- [30] *Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю.* Нейросетевые системы управления. — М.: ИПРЖР, 2002. — 480 с. — (Серия «Нейрокомпьютеры и их применения». Кн. 8)
- [31] *Хайкин С.* Нейронные сети: Полный курс: Пер. с англ. *Н. Н. Куссуль* и *А. Ю. Шелестова* под ред. *Н. Н. Куссуль*. — М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
- [32] *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы. Изд. 2-е, испр. и доп. / Под ред. *В. М. Курейчика* — М.: Физматлит, 2006. — 320 с.
- [33] *Емельянов В. В., Курейчик В. М., Курейчик В. В.* Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Физматлит, 2003. — 432 с. — (Серия «Проблемы искусственного интеллекта»)

Вступление

Концепция нечетких множеств, введенная в середине 1960-х гг. проф. Лотфи Заде из Калифорнийского университета в Беркли, вызвала неоднозначную реакцию в научном сообществе. С одной стороны, постоянно росло число сторонников этой концепции, осознавших потенциальные возможности нечетких множеств для решения разнообразных прикладных задач. Но, с другой стороны, имелось и весьма значительное число противников этого подхода — и достаточно часто из числа известных ученых и специалистов — которые резко выступали против этого нарождавшегося класса средств моделирования. Одним из их аргументов было отсутствие прикладных результатов.

Ситуация изменилась с середины 1980-х гг., когда начался так называемый «бум нечеткости». Первоначально он возник в Японии, затем в Корее и Европе, в существенно меньшей степени — в США. Решающую роль в этом процессе сыграло появление на рынке разнообразных устройств, основанных на использовании нечеткой логики, применявшихся для решения задач управления поездами метрополитена, подъемными кранами, лифтами и т. д. Они были первыми успешными примерами применения методов нечеткого управления, основы которого заложили такие исследователи, как Мамдани, Сугено, Такаги и др.

С тех пор задачи нечеткого управления стали играть роль эталонных тестовых проблем для нечетких множеств, а многими эти задачи и вообще воспринимаются как синоним приложений нечетких множеств. По данной теме опубликовано множество прекрасных книг. Многие из них, однако, были написаны авторами, не принадлежащими к сообществу специалистов по системам управления. Одним из следствий такого положения дел было то, что в этих книгах слишком большой, на мой взгляд, акцент делается на логические, реляционные и тому подобные аспекты нечеткого управления, и при этом слишком мало внимания уделяется вопросам, связанным с управленческой спецификой.

Одним из таких вопросов является *моделирование* как основа управления. На самом деле, значимость моделирования, скорее всего, существенно выше, чем значимость собственно управления, поскольку область применения моделирования несравненно шире как общего средства и метода для решения проблем практически во всех областях. К сожалению, проблемы моделирования не нашли должного освещения в лите-

ратуре по нечетким системам, хотя исследования в области *нечеткого моделирования* и ведутся достаточно широким фронтом.

Из всей имеющейся на данный момент литературы представляемая книга, по всей видимости, дает наиболее полное освещение проблем нечеткого моделирования и управления. Прежде всего, глубоко рассмотрена критически важная область нечеткого моделирования, с попыткой вникнуть во все ее аспекты. В книге обсуждаются все наиболее известные методы, в частности, моделирование на основе правил, логические модели, а также гибридные модели, к примеру, нейронечеткие. Подходы к нечеткому моделированию излагаются автором просто и ясно, но в то же время достаточно строго, с применением соответствующего формального аппарата, что привлечет, несомненно, внимание как тех читателей, которые интересуются теоретическими аспектами рассматриваемой области, так и тех, для кого важнее ее практические применения.

Затем, после подробного изложения нечеткого моделирования, автор переходит к рассмотрению проблем нечеткого управления. Начинает это рассмотрение он с более традиционного подхода, который можно было бы назвать управлением на основе использования только средств нечеткой логики, без применения нечетких моделей. После этого, автор переходит к рассмотрению современного подхода, потенциально намного более многообещающего, основанного на применении нечетких моделей объектов управления и управляемых систем, а также более развитых схем управления, включая адаптивное управление и многоконтурное управление.

В завершение автор рассматривает вопросы, относящиеся к устойчивости нечетких систем управления. И опять, трудно указать другие публикации, сопоставимые с данной книгой по широте охвата материала.

По моему мнению, это выдающаяся книга, равной которой в существующей литературе практически нет. Она дает всестороннее описание нечеткого моделирования и управления, причем написана в стиле, приемлемом для специалистов по системам управления. Написание такой книги требует не просто хорошего знания соответствующей области, но глубокой эрудиции и исследовательской зрелости, чтобы отобрать из обширнейшей литературы наиболее многообещающие методы и средства.

Профессор Пегат заслуживает благодарности и признательности всего сообщества специалистов и исследователей в области нечетких систем за подготовку такой исключительной книги, которую должны прочитать все интересующиеся современными подходами к нечеткому моделированию и управлению.

Предисловие

Традиционная математика обеспечивает работу с данными точного характера, например:

- температура 39.7°C ,
- скорость 90 км/ч,
- коммерческий платеж 12317 долл.,
- высота морской волны 1.75 м.

Однако в окружающем нас мире мы очень часто встречаемся и с неточной информацией, например:

- высокая температура,
- высокая скорость,
- небольшой коммерческий платеж,
- спокойное (штилевое) море,
- приятный продавец,
- значительный покупательский интерес,
- небольшое помутнение жидкости,
- высокое качество стали, и т. д.

Неточная информация используется людьми уже тысячи лет. Однако до совсем недавнего времени ее никак нельзя было употреблять в рамках методов, основанных на обычной математике, и она терялась. По этой причине эффективность многих методов проектирования, управления, моделирования, прогнозирования и принятия решений была весьма ограниченной, особенно в случаях, когда об исследуемой системе не было никакой другой информации, кроме неточной. Кроме того, каждая порция «точной» информации измеряется с определенной (часто значительной) погрешностью, так что на самом деле также является неточной.

Область математики, имеющая дело с неточной информацией, получила наименование теории нечетких множеств. Эта теория, во взаимодействии с обычной математикой, позволяет обрабатывать и использовать информацию любого вида. Она открывает новые и очень интересные возможности и перспективы для науки и техники.

Эта книга предоставляет читателю основную информацию, относящуюся к теории нечетких множеств, нечеткому моделированию и управлению. Она основывается на публикациях в данной области, а также на результатах исследований, проводившихся автором.

Хорошее понимание теории — это основное условие ее применения, а также база для развития и совершенствования собственных идей и концепций. Чтобы упростить ее освоение, автор иллюстрирует представляемые методы большим числом рисунков и примеров. Автор надеется, что читатели извлекут для себя много пользы из информации, содержащейся в данной книге.

Автор хотел бы выразить свою признательность следующим лицам:

- проректору по научной работе **Щецинского технического университета**, профессору **Валериану Арабчику** (Walerian Arabczyk) за финансовую поддержку работ по подготовке книги,
- декану факультета вычислительной техники и информационных систем **Щецинского технического университета**, профессору **Ежи Солдеку** (Jerzy Soldek) за финансовую поддержку работ по подготовке книги,
- Фонду поддержки разработок **Щецинского технического университета** и в особенности его директору **Крзисштофу Лещиньскому** (Krzysztof Leszczyński) за финансовую поддержку работ по подготовке книги,
- д-ру **Богдану Гживачу** (Bogdan Grzywacz), **Станиславе Левандовской** (Stanisława Lewandowska) и **Еве Лисек** (Ewa Lisek) за перевод книги на английский язык,
- **Ричарду Старку** (Richard Stark), Великобритания, за помощь в улучшении английского языка данной книги,
- д-ру **Марцину Плуциньскому** (Marcin Pluciński) за выполнение компьютерного набора этой книги.

Щецин, декабрь 2000 г.

Анджей Пегат

Введение

1.1. Сущность теории нечетких множеств

Традиционные математические методы предназначены для обработки точных данных, таких как «скорость автомобиля $v = 111$ км/ч». Представить такие данные графически можно с использованием так называемых одноточечных (одноэлементных) множеств (рис. 1.1).

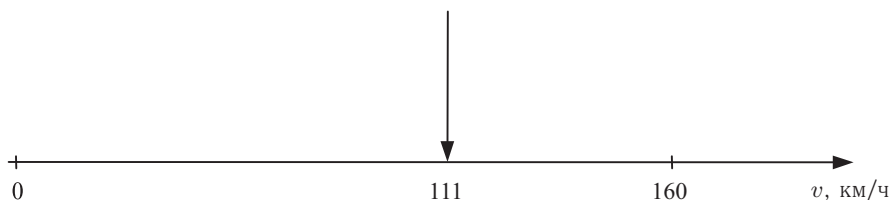


Рис. 1.1. Визуальное представление точного измерения скорости

Точные данные могут быть получены только с помощью высокоточных технических измерительных устройств, в то время как человек способен непосредственно оценивать скорость автомобиля, оперируя такими терминами, как «низкая», «средняя» и «высокая». Эти приближенные оценки также можно представить графически (рис. 1.2).

С помощью функций «низкая», «средняя» и «высокая», называемых **функциями принадлежности**, можно определить, является ли некоторое точное значение скорости соответственно низким, средним или

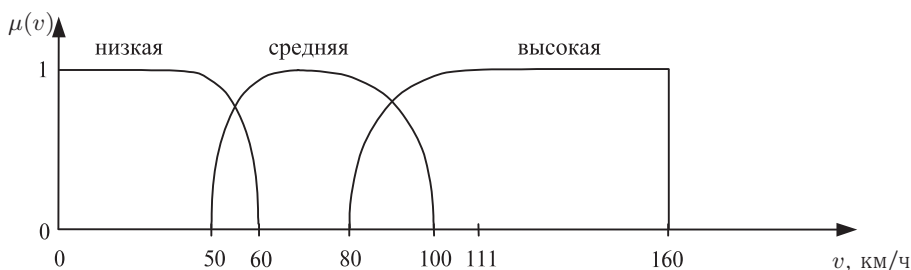


Рис. 1.2. Визуальное представление приближенных оценок скорости

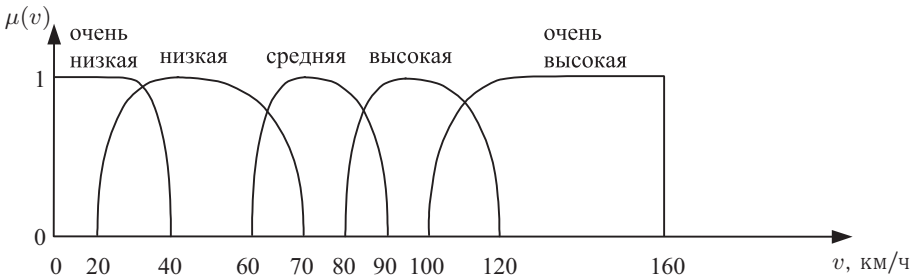


Рис. 1.3. Оценка скорости с использованием пяти информационных гранул

высоким. Человек, наблюдающий автомобиль, движущийся со скоростью $v = 111$ км/ч, не в состоянии оценить это значение точно, но приближенно он может оценить такую скорость как высокую (рис. 1.2).

О подобного рода оценках говорят как об **информационных гранулах** (Zadeh 1979, 1996). Если трех гранул («низкая», «средняя», «высокая») недостаточно, точность оценки скорости можно повысить, введя, например, 5 гранул — «очень низкая», «низкая», «средняя», «высокая», «очень высокая» (рис. 1.3). Точность оценки можно, наоборот, снизить, если использовать только две гранулы — «низкая» и «высокая». Степень гранулированности информации будет определяться потребностями и интеллектуальными способностями использующего ее человека, либо будет зависеть от контекста, в котором он ее использует.

Информация, получаемая от человека, обычно менее точна (более гранулирована), в то время, как информация от измерительных устройств является более точной (менее гранулированной). **Гранулированность информации** можно определить с помощью ширины гранулы (функции принадлежности), и таким образом гранула «средняя» может иметь различную ширину, зависящую от общего количества используемых человеком гранул (рис. 1.4). Как видно из рис. 1.4, уменьшение степени гранулированности дает в пределе **точку** (гранулу бесконечно малой ширины), которая и соответствует точно заданной информации — именно той, с которой оперируют традиционные математические методы.

Информация, представленная в виде гранул, имеющих конечную и ненулевую ширину, называется **нечеткой информацией** — автором данного термина является проф. Лотфи Заде, впервые исследовавший явление информационной гранулированности. Область математики, занимающаяся обработкой такой информации, была названа **теорией нечетких множеств** (Zimmerman 1994). Важнейшим направлением данной теории является **нечеткая логика**, применяемая в нечетком модели-

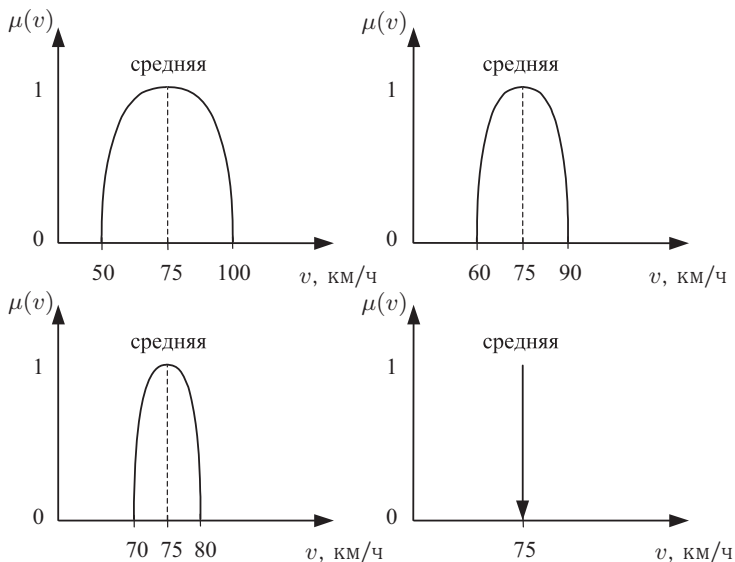


Рис. 1.4. Различная ширина информационной гранулы, соответствующей «средней» скорости

ровании и управлении. Укажем на новые возможности, появившиеся в научно-технических исследованиях благодаря теории нечетких множеств.

1. Возможность создания искусственного интеллекта, сходного с интеллектом человека, и его применения в автоматах и роботах. В настоящее время наблюдается устойчивая и даже растущая тенденция к получению в этом направлении результатов, свидетельствующих о том, что для ряда конкретных приложений искусственный интеллект превосходит человеческий по объему и скорости обработки информации.

2. Создание компьютеров, программируемых с помощью естественного языка (Zadeh 1996). Применение таких компьютеров в автоматах и роботах делает возможным управление ими и «общение» с ними на естественном языке с использованием нечетких понятий. В настоящее время имеются устройства, способные распознавать ограниченное число слов и словосочетаний.

3. Использование информации любой степени гранулированности в задачах моделирования, управления, оптимизации и диагностики. Более высокая степень гранулированности может привести к сокращению объемов обрабатываемой и хранимой информации и к повышению скорости действия алгоритмов.

4. Возможность подстройки уровня гранулированности информации под требуемую точность моделирования, управления, оптимизации, диагностики и т. д. Такая подстройка выполняется человеком, как показано на рис. 1.5–1.7.

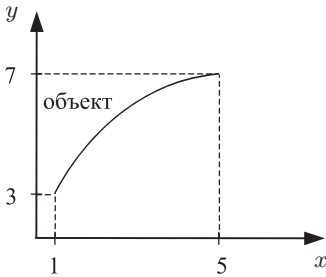
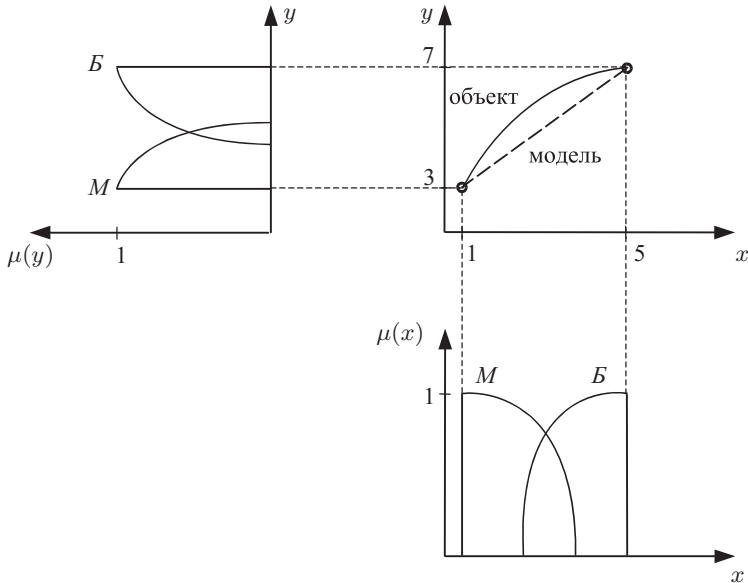


Рис. 1.5. Зависимость выхода от входа для объекта управления

Предположим, что на первом этапе управления объектом взаимосвязь между входными и выходными параметрами которого представлена на рис. 1.5, принимаются во внимание только предельные состояния объекта и на основе этого формируется модель, основанная на двух правилах (рис. 1.6). Для определенности, под моделью объекта будем понимать некоторое его приближенное представление, обладающее необходимой точностью.



$R1$: ЕСЛИ (значение x малое) ТО (значение y малое)
 $R2$: ЕСЛИ (значение x большое) ТО (значение y большое)

Рис. 1.6. Модель объекта, основанная на двух информационных гранулах: «малое» и «большое»

При отсутствии достаточно точного знания об объекте управления традиционные методы решения задач управления оказываются неэффективными или могут быть вообще неприменимы. В этом случае можно строить нечеткие системы управления с применением аппарата нечетких множеств, нечеткой логики, нечеткого моделирования. Еще большая эффективность достигается сочетанием указанных методов с аппаратом искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Именно этот круг вопросов рассматривается в книге «Нечеткое моделирование и управление». Ее автор, Анджей Пегат, профессор Щецинского технического университета (Польша) – видный специалист в области мягких вычислений и теории управления.

Одна из интересных особенностей книги состоит в том, что методы мягких вычислений излагаются и трактуются с позиций специалиста по системам управления.

Книга будет полезна студентам старших курсов, аспирантам, научным работникам и инженерам, специалистам по системам управления при решении задач моделирования в различных прикладных областях.