

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

принципы разработки и программирование

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗДАНИЕ

EXPERT SYSTEMS

principles and programming

FOURTH EDITION

Joseph C. Giarratano
University of Houston-Clear Lake

Gary D. Riley
PeopleSoft, Inc.

THOMSON

COURSE TECHNOLOGY™

ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

принципы разработки и программирование

ЧЕТВЕРТОЕ ИЗДАНИЕ

Джозеф Джарратано
Университет Хьюстон-Клиэр-Лэйк

Гари Райли
PeopleSoft, Inc.



Издательский дом "Вильямс"
Москва • Санкт-Петербург • Киев
2007

ББК 32.973.26–018.2.75

Д40

УДК 681.3.07

Издательский дом “Вильямс”

Зав. редакцией *С.Н. Тригуб*

Перевод с английского и редакция *К.А. Птицына*

По общим вопросам обращайтесь в Издательский дом “Вильямс” по адресу:

info@williamspublishing.com, http://www.williamspublishing.com

115419, Москва, а/я 783; 03150, Киев, а/я 152

Джаррагано, Джозеф, **Райли**, Гари.

Д40 Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. : Пер. с англ. — М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2007. — 1152 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978–5–8459–1156–8 (рус.)

Данное четвертое издание представляет собой результат существенно-го пересмотра известного во всем мире учебника по экспертным системам и разработке программного обеспечения с помощью инструментария языка экспертных систем CLIPS. Книга включает сведения, относящиеся к двум основным направлениям: в первой половине книги излагается теория экспертных систем и показано, какое место занимают экспертные системы во всем объеме компьютерных наук, а во второй приведены сведения по программированию с помощью языка CLIPS. Еще одним новым средством, описанным в данном издании, является объектно-ориентированный язык COOL. В начале книги содержится отдельное введение в тематику искусственного интеллекта, объем которого достаточен для изучения экспертных систем.

Теоретический материал изложен на уровне, доступном для восприятия студентов старших курсов и аспирантов, интересующихся экспертными системами, которые специализируются в области компьютерных наук, информационных управленческих систем, в программной технике и других областях. Книга может оказаться полезной для широкого круга читателей, желающих применить экспертные системы в своей работе.

ББК 32.973.26–018.2.75

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства Course Technology.

Authorized translation from the English language edition published by Course Technology, a division of Thomson Learning, Inc. Copyright © 2005

All rights reserved. No part of this book shall be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from the publisher. No patent liability is assumed with respect to the use of the information contained herein.

ISBN 978–5–8459–1156–8 (рус.)
ISBN 0–534–38447–1 (англ.)

© Издательский дом “Вильямс”, 2007
© Course Technology, 2005

Оглавление

Предисловие	18
Глава 1. Введение в экспертные системы	27
Глава 2. Представление знаний	127
Глава 3. Методы логического вывода	193
Глава 4. Рассуждения в условиях неопределенности	295
Глава 5. Нестрогие рассуждения	389
Глава 6. Проектирование экспертных систем	505
Глава 7. Введение в CLIPS	551
Глава 8. Развитые средства сопоставления с шаблонами	625
Глава 9. Модульное проектирование, управление выполнением и эффективность правил	693
Глава 10. Процедурное программирование	779
Глава 11. Классы, экземпляры и обработчики сообщений	851
Глава 12. Примеры проектов экспертных систем	949
Приложение А. Некоторые широко применяемые эквивалентности	1015
Приложение Б. Некоторые элементарные кванторы и их значение	1017
Приложение В. Некоторые свойства множеств	1019
Приложение Г. Информация о поддержке CLIPS	1021
Приложение Д. Общие сведения о командах и функциях CLIPS	1023
Приложение Е. Определение языка в нормальной форме Бэкуса–Наура	1059
Приложение Ж. Программные ресурсы	1069
Приложение З. Литература	1119
Предметный указатель	1125

Содержание

Предисловие	18
Глава 1. Введение в экспертные системы	27
1.1 Введение	27
1.2 Определение понятия экспертной системы	27
1.3 Преимущества экспертных систем	38
1.4 Общие понятия экспертных систем	39
1.5 Характеристики экспертной системы	43
1.6 Разработка технологии экспертных систем	47
Решение задач человеком и продукционные правила	48
Широкое распространение систем, основанных на знаниях	54
1.7 Приложения и предметные области экспертных систем	57
Приложения экспертных систем	57
Наиболее подходящие области применения экспертных систем	61
1.8 Языки, командные интерпретаторы и инструментальные средства	65
1.9 Элементы экспертной системы	69
1.10 Продукционные системы	77
Продукционные системы Поста	78
Марковские алгоритмы	81
Rete-алгоритм	82
1.11 Процедурные подходы	85
Императивное программирование	86
Функциональное программирование	89
1.12 НеPROCEDурные подходы	94
Декларативное программирование	94
Объектно-ориентированное программирование	94
Логическое программирование	96

Экспертные системы	100
Недекларативное программирование	102
Программирование на основе индукции	102
1.13 Искусственные нейронные системы	103
Задача коммивояжера	105
Элементы искусственной нейронной системы	106
Характеристики искусственной нейронной системы	108
Новейшие достижения в технологии искусственных нейронных систем	110
Приложения технологии искусственных нейронных систем	113
1.14 Коннекционистские экспертные системы и индуктивное обучение	114
1.15 Современное состояние разработок в области искусственного интеллекта	115
1.16 Резюме	122
Задачи	124
Глава 2. Представление знаний	127
2.1 Введение	127
2.2 Смысл знаний	131
2.3 Продукции	139
2.4 Семантические сети	144
2.5 Тройки “объект–атрибут–значение”	149
2.6 Язык PROLOG и семантические сети	150
Основные сведения о языке PROLOG	151
Обеспечение поиска в языке PROLOG	153
2.7 Трудности, связанные с использованием семантических сетей	157
2.8 Схемы	159
2.9 Фреймы	162
2.10 Трудности, связанные с использованием фреймов	167
2.11 Логика и теория множеств	169
2.12 Пропозициональная логика	172
2.13 Логика предикатов первого порядка	181
2.14 Квантор всеобщности	181
2.15 Квантор существования	184
2.16 Кванторы и множества	185
2.17 Ограничения логики предикатов	187
2.18 Резюме	187
Задачи	188
Глава 3. Методы логического вывода	193
3.1 Введение	193

3.2	Деревья, решетки и графы	194
3.3	Пространства состояний и пространства задач	199
	Примеры пространств состояний	199
	Пространства слабо структурированных задач	205
3.4	Деревья AND–OR и цели	206
3.5	Дедуктивная логика и силлогизмы	211
3.6	Правила вывода	220
3.7	Ограничения пропозициональной логики	231
3.8	Логика предикатов первого порядка	233
3.9	Логические системы	235
3.10	Резолюция	241
3.11	Системы резолюции и дедукция	245
3.12	Поверхностные и причинные рассуждения	248
3.13	Резолюция и логика предикатов первого порядка	254
	Преобразование в форму с логическими выражениями	255
	Унификация и правила	259
3.14	Прямой и обратный логический вывод	262
3.15	Другие методы логического вывода	271
	Аналогия	271
	Метод формирования и проверки	274
	Абдукция	275
	Немонотонный вывод	278
3.16	Метазнания	284
3.17	Скрытые марковские модели	285
3.18	Резюме	288
	Задачи	289
	Глава 4. Рассуждения в условиях неопределенности	295
4.1	Введение	295
4.2	Неопределенность	296
4.3	Типы ошибок	301
4.4	Ошибки и индукция	304
4.5	Классическая вероятность	308
	Определение классической вероятности	308
	Выборочные пространства	312
	Теория вероятностей	314
4.6	Экспериментальные и субъективные вероятности	315
4.7	Сложные вероятности	317
4.8	Условные вероятности	321
	Мультипликативный закон	321
	Теорема Байеса	326

4.9	Гипотетические рассуждения и обратная индукция	328
4.10	Временные рассуждения и марковские цепи	335
4.11	Анализ вероятностных систем на основе понятий шансов и убеждений	341
4.12	Достаточность и необходимость	344
4.13	Применение неопределенности при формировании цепей логического вывода	347
	Несовместимость коэффициентов, заданных экспертом	348
	Неопределенное свидетельство	349
	Исправление недостатков, связанных с неопределенностью	353
4.14	Комбинация свидетельств	354
	Варианты классификации неопределенных свидетельств	354
	Комбинирование свидетельств с использованием нечеткой логики	357
	Логическая комбинация свидетельств	359
	Эффективные значения правдоподобия	359
	Сложности, связанные с использованием условной независимости	361
4.15	Сети логического вывода	362
	Система PROSPECTOR	363
	Сети логического вывода	365
	Отношения логического вывода	368
	Архитектура сети логического вывода	373
4.16	Распространение вероятностей	377
4.17	Резюме	381
	Задачи	383
Глава 5. Нестрогие рассуждения		389
5.1	Введение	389
5.2	Неопределенность и правила	390
	Источники неопределенности в правилах	390
	Отсутствие надежных теоретических оснований	392
	Взаимодействия правил	393
	Разрешение конфликтов	394
	Обобщение и неопределенность	397
5.3	Коэффициенты достоверности	399
	Трудности, связанные с применением байесовского метода	400
	Степени доверия и недоверия	401
	Меры, применяемые для измерения степени доверия и недоверия	404

	Вычисления, проводимые с использованием коэффициентов достоверности	407
	Сложности, связанные с использованием коэффициентов достоверности	412
5.4	Теория Демпстера–Шефера	414
	Рамки различения	414
	Массовые функции и незнание	417
	Комбинирование свидетельств	422
	Нормализация степени доверия	428
	Движущиеся массы и множества	430
	Сложности, связанные с применением теории Демпстера–Шефера	431
5.5	Приближенные рассуждения	432
	Нечеткие множества и естественный язык	434
	Операции с нечеткими множествами	447
	Нечеткие отношения	453
	Лингвистические переменные	459
	Принцип расширения	465
	Нечеткая логика	466
	Нечеткие правила	469
	Композиция max-min	473
	Метод максимума и метод моментов	477
	Возможность и вероятность	482
	Правила преобразования	485
	Неопределенность в нечетких экспертных системах	489
5.6	Состояние неопределенности	492
5.7	Некоторые коммерческие приложения нечеткой логики	495
5.8	Резюме	497
	Задачи	497
	Глава 6. Проектирование экспертных систем	505
6.1	Введение	505
6.2	Выбор соответствующей задачи	506
	Выбор наиболее приемлемого подхода	508
	Выигрыш	509
	Инструментальные средства	509
	Стоимость	512
6.3	Общее описание процесса разработки экспертной системы	514
	Руководство проектом	514
	Проблема доставки	517
	Сопровождение и развитие	519

6.4	Ошибки, возникающие на различных этапах разработки	521
6.5	Разработка программного обеспечения и экспертные системы	529
6.6	Жизненный цикл экспертной системы	533
	Расходы на сопровождение	534
	Модель каскадного развития жизненного цикла	535
	Модель развития жизненного цикла на основе “кодирования и исправления”	537
	Инкрементная модель жизненного цикла	537
	Модель спирального развития жизненного цикла	538
6.7	Подробная модель жизненного цикла	538
	Планирование	541
	Определение знаний	542
	Проектирование знаний	544
	Разработка кода и отладка	546
	Верификация знаний	546
	Оценка системы	547
6.8	Резюме	548
	Задачи	549
Глава 7. Введение в CLIPS		551
7.1	Введение	551
7.2	Язык CLIPS	552
7.3	Система обозначений	554
7.4	Поля	556
7.5	Вход и выход из системы CLIPS	559
7.6	Факты	561
	Конструкция <code>deftemplate</code>	562
	Многозначные слоты	563
	Упорядоченные факты	563
7.7	Добавление и удаление фактов	564
7.8	Модификация и дублирование фактов	568
7.9	Команда <code>watch</code>	570
7.10	Конструкция <code>def facts</code>	571
7.11	Компоненты правила	573
7.12	Рабочий список правил и выполнение программы	576
	Отображение рабочего списка правил	577
	Правила и релаксация правил	578
	Отслеживание активизаций, правил и статистических данных	579
7.13	Команды, применяемые для манипулирования конструкциями	581
	Отображение списка элементов указанной конструкции	581

Отображение текстового представления указанного элемента конструкции	582
Удаление указанного элемента конструкции	583
Удаление всех конструкций из среды CLIPS (очистка среды)	584
7.14 Команда <code>printout</code>	585
7.15 Использование нескольких правил	586
Отражение в правиле свойств реального мира	587
Правила с несколькими шаблонами	587
7.16 Команда <code>set-break</code>	589
7.17 Загрузка и сохранение конструкций	590
Загрузка конструкций из файла	590
Отслеживание операций компиляции	591
Сохранение конструкций в файле	592
7.18 Комментирование конструкций	592
7.19 Переменные	593
7.20 Многократное использование переменных	595
7.21 Адреса фактов	596
7.22 Однозначные подстановочные символы	599
7.23 Мир блоков	601
7.24 Многозначные подстановочные символы и переменные	608
Многозначные подстановочные символы	608
Многозначные переменные	609
Применение нескольких различных способов согласования с шаблонами	611
Реализация стека	612
Еще один вариант программы для мира блоков	613
7.25 Резюме	615
Задачи	615
Глава 8. Развитые средства сопоставления с шаблонами	625
8.1 Введение	625
8.2 Ограничения полей	626
Ограничение поля <code>not</code>	626
Ограничение поля <code>or</code>	627
Ограничение поля <code>and</code>	628
Совместное применение ограничений полей с другими конструкциями	628
8.3 Функции и выражения	630
Элементарные математические функции	630
Переменное количество параметров	633
Определение приоритета и уровня вложенности выражений	634

8.4	Суммирование значений с использованием правил	635
8.5	Функция <code>bind</code>	638
8.6	Функции ввода-вывода	639
	Функция <code>read</code>	639
	Функция <code>open</code>	640
	Функция <code>close</code>	642
	Чтение из файла и запись в файл	643
	Функция <code>format</code>	644
	Функция <code>readline</code>	646
8.7	Игра в палочки	648
8.8	Предикативные функции	651
8.9	Условный элемент <code>test</code>	652
8.10	Предикативное ограничение поля	654
8.11	Ограничение поля для возвращаемого значения	656
8.12	Программа <code>Sticks</code>	658
8.13	Условный элемент <code>or</code>	659
8.14	Условный элемент <code>and</code>	662
8.15	Условный элемент <code>not</code>	664
8.16	Условный элемент <code>exists</code>	667
8.17	Условный элемент <code>forall</code>	670
8.18	Условный элемент <code>logical</code>	673
8.19	Резюме	678
	Задачи	679
Глава 9. Модульное проектирование, управление выполнением и эффективность правил		693
9.1	Введение	693
9.2	Атрибуты <code>deftemplate</code>	694
	Атрибут <code>type</code>	694
	Статическая и динамическая проверка ограничений	696
	Атрибуты допустимого значения	698
	Атрибут <code>range</code>	699
	Атрибут <code>cardinality</code>	699
	Атрибут <code>default</code>	700
	Атрибут <code>default-dynamic</code>	702
	Конфликтующие атрибуты слота	704
9.3	Значимость	704
9.4	Фазы и управляющие факты	708
9.5	Неправильное употребление подхода на основе значимости	714
9.6	Конструкция <code>defmodule</code>	717
	Способы задания имен модулей в командах	719

9.7	Импорт и экспорт фактов	722
9.8	Модули и управление выполнением программы	726
	Команда <code>focus</code>	728
	Манипулирование стеком фокусов и его изучение	730
	Команда <code>return</code>	732
	Средство <code>auto-focus</code>	734
	Отказ от фаз и управляющих фактов	735
9.9	Rete-алгоритм сопоставления с шаблонами	737
9.10	Сеть шаблонов	741
9.11	Сеть соединений	744
9.12	Важность правильного выбора порядка расположения шаблонов	748
	Учет характеристик правила <code>match-1</code>	749
	Учет характеристик правила <code>match-2</code>	750
	Команда <code>matches</code>	752
	Наблюдение за изменяющимся состоянием	754
9.13	Упорядочение шаблонов в целях повышения эффективности	755
	Первоочередное размещение наиболее конкретных шаблонов	756
	Размещение в последнюю очередь шаблонов, согласующихся с непостоянными фактами	756
	Первоочередное размещение шаблонов, сопоставляющихся с наименьшим количеством фактов	757
9.14	Многозначные переменные и эффективность	757
9.15	Условный элемент <code>test</code> и эффективность программы	758
9.16	Встроенные ограничения сопоставления с шаблонами	760
9.17	Сравнение общих правил с конкретными правилами	761
9.18	Сравнение простых правил со сложными правилами	763
9.19	Резюме	766
	Задачи	768
Глава 10. Процедурное программирование		779
10.1	Введение	779
10.2	Процедурные функции	779
	Функция <code>if</code>	780
	Функция <code>while</code>	781
	Функция <code>switch</code>	782
	Функция <code>loop-for-count</code>	784
	Функция <code>progn\$</code>	786
	Функция <code>break</code>	787
	Функция <code>halt</code>	787
10.3	Конструкция <code>deffunction</code>	788
	Функция <code>return</code>	790

Еще один вариант программы <code>Sticks</code>	792
Рекурсия	794
Предварительные объявления	794
Отслеживание работы конструкций <code>deffunction</code>	796
Параметр с подстановочным символом	798
Команды для работы с конструкцией <code>deffunction</code>	799
Функции, определяемые пользователем	801
10.4 Конструкция <code>defglobal</code>	802
Команды, применяемые наряду с конструкциями <code>defglobal</code>	804
Принципы сброса (переустановки) значения переменной <code>defglobal</code>	805
Отслеживание значений переменных <code>defglobal</code>	806
Переменные <code>defglobal</code> и сопоставление с шаблонами	807
Использование конструкций <code>defglobal</code>	808
10.5 Конструкции <code>defgeneric</code> и <code>defmethod</code>	811
Еще один вариант конструкции <code>deffunction</code> с именем <code>check-input</code>	813
Приоритеты методов	817
Ограничения запроса	824
Отслеживание работы универсальных функций и методов	828
Команды <code>defmethod</code>	829
Команды <code>defgeneric</code>	830
Перегруженные функции и команды	831
10.6 Процедурные конструкции и конструкции <code>defmodule</code>	832
10.7 Полезные команды и функции	835
Загрузка и сохранение фактов	835
Команда <code>system</code>	836
Команда <code>batch</code>	837
Команды <code>dribble-on</code> и <code>dribble-off</code>	839
Выработка случайных чисел	839
Преобразование строки в поле	840
Поиск символа	841
Сортировка списка полей	841
10.8 Резюме	843
Задачи	844
Глава 11. Классы, экземпляры и обработчики сообщений	851
11.1 Введение	851
11.2 Конструкция <code>defclass</code>	852
11.3 Создание экземпляров	853
11.4 Обработчики сообщений, определяемые системой	854

11.5	Конструкция <code>definstances</code>	857
11.6	Классы и наследование	858
	Разрешение конфликтов между определениями слотов	862
	Абстрактные и конкретные классы	865
	Команды, относящиеся к конструкции <code>defclass</code>	866
11.7	Сопоставление с шаблоном объекта	869
	Сопоставление с шаблоном объекта и наследование	871
	Ключевые слова <code>is-a</code> и <code>name</code>	872
	Активизация шаблонов объектов	875
	Атрибут сопоставления с шаблонами	877
	Шаблоны объектов и условный элемент <code>logical</code>	878
	Шаблон <code>initial-object</code>	881
11.8	Обработчики сообщений, определяемые пользователем	882
	Сокращенные ссылки на слоты	884
	Отслеживание процесса передачи сообщений и функционирования обработчиков сообщений	887
	Команды <code>defmessage-handler</code>	889
11.9	Доступ к слоту и создание обработчика	890
11.10	Обработчики сообщений <code>before</code> , <code>after</code> и <code>around</code>	894
	Обработчики <code>before</code> и <code>after</code>	896
	Обработчики <code>around</code>	899
	Перекрытие параметров обработчика сообщений	903
	Порядок вызова обработчиков на выполнение	906
11.11	Создание экземпляра, инициализация и удаление обработчиков сообщений	915
	Атрибут <code>storage</code>	917
11.12	Модификация и дублирование экземпляров	919
11.13	Классы и универсальные функции	924
11.14	Функции запроса множества экземпляров	925
	Определение того, успешно ли выполнен запрос	926
	Определение экземпляров, удовлетворяющих запросу	928
	Выполнение действий над экземплярами, удовлетворяющими запросу	929
11.15	Множественное наследование	931
	Конфликты, связанные с множественным наследованием	933
	Сохранение и восстановление значений слотов	935
11.16	Конструкции <code>defclass</code> и <code>defmodule</code>	939
11.17	Загрузка и сохранение экземпляров	942
11.18	Резюме	944
	Задачи	945

Глава 12. Примеры проектов экспертных систем	949
12.1 Введение	949
12.2 Коэффициенты достоверности	949
12.3 Деревья решений	955
Деревья решений с несколькими ребрами	957
Деревья решений, позволяющие проводить обучение	959
Программа для работы с деревом решений, основанная на правилах	961
Пошаговая трассировка программы обучения дерева решений	967
12.4 Обратный логический вывод	972
Алгоритм работы программы обратного логического вывода	972
Представление правил обратного логического вывода в языке CLIPS	975
Машина обратного логического вывода на языке CLIPS	978
Поэтапная трассировка работы программы обратного логического вывода	980
12.5 Задача текущего контроля	986
Формулировка задачи	987
Уточнение деталей, с которого должна начинаться разработка	990
Определения структур представления знаний	992
Управление работой программы	995
Чтение бесформатных показаний датчиков	995
Распознавание тенденций	1004
Формирование предупреждающих сообщений	1008
12.6 Резюме	1011
Задачи	1012
Приложение А. Некоторые широко применяемые эквивалентности	1015
Приложение Б. Некоторые элементарные кванторы и их значение	1017
Приложение В. Некоторые свойства множеств	1019
Приложение Г. Информация о поддержке CLIPS	1021
Приложение Д. Общие сведения о командах и функциях CLIPS	1023
Приложение Е. Определение языка в нормальной форме Бэкуса–Наура	1059
Приложение Ж. Программные ресурсы	1069
Приложение З. Литература	1119
Предметный указатель	1125

Предисловие

Рекомендации по эффективному использованию книги

Данное четвертое издание представляет собой результат существенного пересмотра известного во всем мире учебника по экспертным системам и разработке программного обеспечения с помощью инструментария языка экспертных систем CLIPS. Коммерческое внедрение экспертных систем началось в 1980-х годах; с тех пор непрерывно происходит их беспрецедентное развитие и распространение. В настоящее время экспертные системы широко применяются в бизнесе, науке, технике, сельском хозяйстве, на производстве, в медицине, в видеоиграх, а также практически в любом направлении человеческой деятельности. В действительности трудно представить себе такую область, в которой бы в наши дни не использовались экспертные системы.

Настоящая книга позволяет усвоить значительный объем знаний в области теории и программирования экспертных систем. Теоретический материал изложен на уровне, доступном для восприятия студентов старших курсов и аспирантов, интересующихся экспертными системами, которые специализируются в области компьютерных наук, информационных управленческих систем, в программотехнике и других областях. Новые термины обозначаются полужирным шрифтом и сопровождаются пояснениями. Для поиска пояснений к используемым терминам можно воспользоваться предметным указателем. В книге приведены многочисленные примеры и ссылки, позволяющие уточнить смысл излагаемого материала и получить указания по выбору дополнительной литературы. Кроме того, в новом, 4-м издании в приложении Ж приведены ссылки на многие новые бесплатные и испытательные версии программных инструментальных средств, которые могут служить основой для выполнения дополнительных упражнений, а также указано, где можно найти вспомогательные учебные материалы.

Описание каждой новой темы, как правило, проводится в историческом контексте, что позволяет не просто пользоваться готовыми результатами, но и понять, какова была цель разработки тех или иных методов. Тем самым авторы

стремились поставить в основу обучения подход, позволяющий понять, чем была вызвана необходимость в разработке новых способов решения задач, а не такой подход, при котором обучение напоминает преподавание на курсах, где просто показывают, как использовать то или иное приложение.

Книга *Экспертные системы: принципы разработки и программирование* включает сведения, относящиеся к двум основным направлениям, — теоретический материал излагается в главах 1–6, а сведения по программированию с использованием инструментария языка экспертных систем CLIPS приведены в главах 7–12. Таким образом, в первой половине книги излагается теория экспертных систем и показано, какое место занимают экспертные системы во всем объеме компьютерных наук.

Безусловно, предварительное знакомство с областью искусственного интеллекта может оказаться полезным, но настоящая книга содержит отдельное введение в тематику искусственного интеллекта, приведенное в главе 1, объем которого достаточен для изучения экспертных систем. Разумеется, в одной главе невозможно изложить все, чему посвящены целые книги по искусственному интеллекту. Но данная глава поможет получить общее представление и об искусственном интеллекте, и о том, для чего предназначены экспертные системы. В целом в первых шести главах книги рассматриваются логика, теория вероятностей, структуры данных, основные понятия искусственного интеллекта и другие темы, которые лежат в основе теории экспертных систем.

Авторы стремились изложить теорию, на которой базируются экспертные системы, чтобы дать возможность читателю принять обоснованное решение по выбору подходящего направления использования технологии экспертных систем. Мы хотели подчеркнуть важную мысль, что экспертные системы следует рассматривать как одно из инструментальных средств в арсенале разработчика, и поэтому постараться понять, в чем состоят их преимущества и недостатки. В излагаемых теоретических сведениях дано также описание того, как экспертные системы связаны с другими методами программирования, такими как процедурное программирование. Еще одной причиной повышенного внимания к изложению теоретических сведений было стремление подготовить читателя к тому, чтобы он мог самостоятельно изучать современные научно-исследовательские статьи по экспертным системам. Но следует отметить, что экспертные системы создаются в соответствии с потребностями многих разных теоретических и практических направлений, поэтому на первых порах при чтении таких статей для достижения полного понимания придется преодолевать трудности.

Вторая половина данной книги представляет собой вводное описание инструментария языка экспертных систем CLIPS. В этих главах дано практическое введение в программирование экспертных систем, позволяющее объяснить и закрепить теоретические знания, изложенные в первых главах книги. Но так же, как не лишней окажется предварительная подготовка при изучении теоретических сведений,

изложенных в данной книге, сведения о программировании будут более доступными для читателей, имеющих некоторый опыт работы на языке высокого уровня. Процесс разработки экспертных систем, предназначенных для решения практических задач, демонстрируется с использованием языка CLIPS — современного мощного инструментального средства создания экспертных систем.

Еще одним новым средством, описанным в данном издании, является язык COOL (CLIPS Object-Oriented Language — объектно-ориентированный язык CLIPS). Язык COOL позволяет разрабатывать экспертные системы исключительно с использованием объектов или осуществлять гибридный подход на основе применения и правил, и объектов. Преимуществом объектно-ориентированного подхода является то, что объекты позволяют более легко группировать множества структур представления знаний в крупные коллекции, чем при использовании отдельных правил. Язык COOL предоставляет все общепринятые возможности работы с объектами (в том числе множественное наследование), что позволяет легко дополнять объекты более специализированными структурами представления знаний, а не “изобретать колесо” и каждый раз разрабатывать код с нуля, как при использовании систем, основанных исключительно на правилах. Кроме того, в настоящем издании обсуждаются средства процедурного программирования языка CLIPS, включая глобальные переменные, функции, а также универсальные функции.

Первая версия языка CLIPS была разработана NASA в Космическом центре Джонсона. В ходе этой разработки один из авторов данной книги, Гэри Райли (Gary Riley), выполнял функции ведущего программиста по разработке компонентов системы CLIPS, основанных на правилах, а другой автор, Джозеф К. Джарратано (Joseph C. Giarratano), работал в качестве консультанта и подготавливал официальные версии руководств пользователя языка CLIPS для NASA. В настоящее время язык CLIPS используется для реализации важных проектов в сфере государственного управления, в бизнесе, промышленности и буквально повсеместно. Поиск сведений об экспертных системах, написанных на языке CLIPS, проведенный с помощью любой машины поиска в Интернете, приводит к обнаружению сотен и даже тысяч ссылок. Кроме того, этот поиск позволяет обнаружить, что язык CLIPS входит в программу обучения многих университетов во всем мире.

Исходный код программного обеспечения языка CLIPS является переносимым, поэтому система CLIPS может эксплуатироваться практически на любом компьютере и под управлением любой операционной системы, которая поддерживает компилятор ANSI C или C++. К данной книге прилагается компакт-диск, содержащий исполняемые файлы CLIPS для Windows и MacOS, руководства *CLIPS Reference Manual* и *CLIPS Users Guide*, а также хорошо документированный полный исходный код C для CLIPS.