

• ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ •

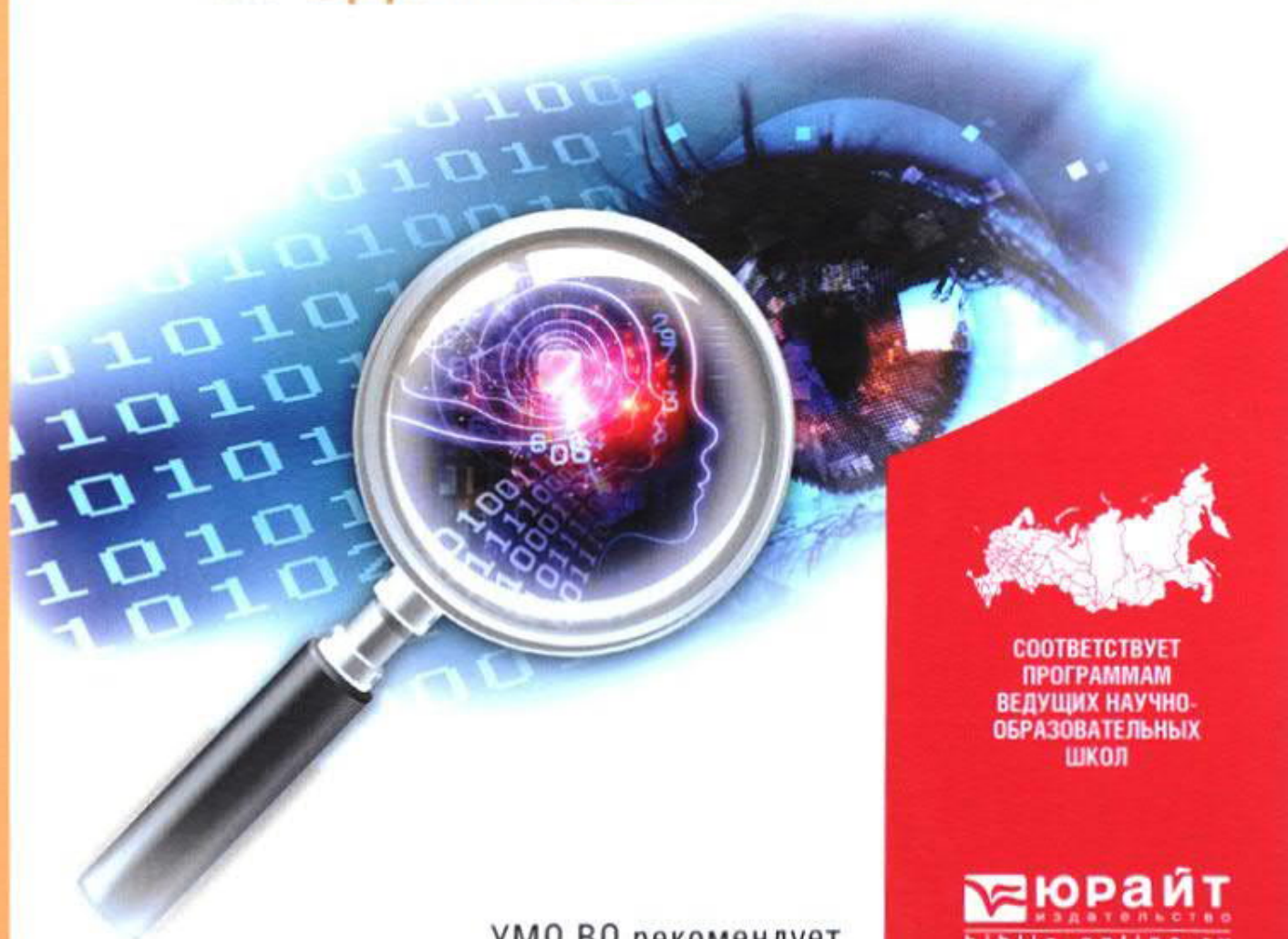
МОДУЛЬ • БАКАЛАВР



Ф. А. Новиков

СИМВОЛИЧЕСКИЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

УМО ВО рекомендует

Юрайт
ИЗДАТЕЛЬСТВО
biblio-online.ru

Ф. А. Новиков

СИМВОЛИЧЕСКИЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 004.8(075.8)

ББК 32.813я73

Н73

Автор:

Новиков Федор Александрович — доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Новиков, Ф. А.

Н73

Символический искусственный интеллект: математические основы представления знаний : учеб. пособие для академического бакалавриата / Ф. А. Новиков. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 278 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс. Модуль.

ISBN 978-5-9916-7969-5

Учебное пособие содержит исчерпывающее, но в то же время лаконичное изложение основных способов представления знаний в компьютере и методов решения прикладных задач символического искусственного интеллекта. Рассмотрено представление знаний системами продукций и формулами логических исчислений. Изучены методы синтеза программ по непроцедурным спецификациям. Основу книги составляет материал лекционного курса, который автор читает в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. Изложение сопровождается примерами, описанием алгоритмов и необходимыми сведениями из дискретной математики.

Содержание учебного пособия соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших и средних учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим и естественнонаучным направлениям.

УДК 004.8(075.8)

ББК 32.813я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-7969-5

© Новиков Ф. А., 2016

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

Оглавление

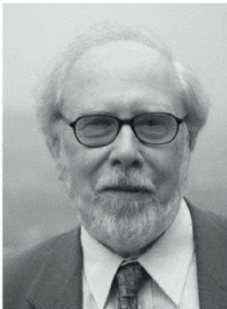
Предисловие	6
Глава 1. Прикладные системы искусственного интеллекта.....	14
1.1. Обзор приложений символического искусственного интеллекта	17
1.1.1. Понимание естественного языка и машинный перевод.....	18
1.1.2. Интеллектуальные базы данных и вопросно-ответные системы.....	26
1.1.3. Экспертные системы и автоматическое доказательство теорем	28
1.1.4. Автоматическое управление роботом и распознавание образов.....	31
1.1.5. Интеллектуальные игры	36
1.2. Место представления знаний в символическом искусственном интеллекте.....	38
1.2.1. Итеративный характер решения задач.....	38
1.2.2. Знание и незнание	40
1.2.3. Алгоритмы поиска решения и представление знаний.....	42
1.3. История искусственного интеллекта.....	46
1.3.1. Предыстория искусственного интеллекта.....	47
1.3.2. Пионерские исследования.....	49
1.3.3. Становление и развитие	55
1.3.4. Научная консолидация и промышленное внедрение	58
1.4. Классификации прикладных систем искусственного интеллекта.....	61
1.4.1. Виды знаний	62
1.4.2. Классификация по степени использования различных видов знаний	63
1.4.3. Классификация по форме представления знаний	64
1.4.4. Классификация по виду ответа при решении задач.....	65
1.4.5. Классификация по степени универсальности.....	66
1.4.6. Классификация по архитектуре и инструментальным средствам	69
<i>Практикум</i>	71
Глава 2. Представление знаний системами продукций.....	79
2.1. Системы продукций.....	79
2.1.1. Терминологические соглашения и содержательная интерпретация	80
2.1.2. Структура системы неоднородных продукций	83
2.1.3. Алгоритм работы системы неоднородных продукций	87
2.1.4. Система продукций как логическое исчисление	89
2.1.5. Игра в «восемь»	92
2.1.6. Крестьянин, волк, коза и капуста.....	93
2.1.7. Ход конем	95

2.2. Стратегии управления	98
2.2.1. Критерии сравнения стратегий.....	99
2.2.2. Безвозвратный поиск	101
2.2.3. Поиск с возвратами.....	103
2.2.4. Поиск на графе.....	105
2.3. Специальные системы продукций.....	110
2.3.1. Обратные и двусторонние системы продукций.....	111
2.3.2. Коммутативные системы продукций.....	114
2.3.3. Разложимые системы продукций	117
<i>Практикум</i>	121
Глава 3. Алгоритмы поиска решения	128
3.1. Эвристический поиск.....	130
3.1.1. Общий алгоритм	131
3.1.2. Эвристические алгоритмы.....	133
3.1.3. Оценочная функция	135
3.2. Свойства алгоритма A^*	139
3.2.1. Теорема о состоятельности	139
3.2.2. Сравнение оценочных функций	142
3.2.3. Монотонное ограничение	144
3.2.4. Область применимости алгоритма A^*	145
3.3. Алгоритмы сопоставления с образцом.....	146
3.3.1. Неформальное обсуждение проблемы	147
3.3.2. Структуры данных алгоритма <i>Rete</i>	149
3.3.3. Соображения по эффективности и реализации.....	156
3.4. Поиск на графах И/ИЛИ.....	159
3.4.1. Граф И/ИЛИ.....	159
3.4.2. Алгоритм поиска на графе И/ИЛИ	161
3.4.3. Пример применения процедуры поиска на графе И/ИЛИ	163
3.5. Поиск на игровых деревьях.....	166
3.5.1. Игровые деревья	166
3.5.2. Минимакс	167
3.5.3. α - β -отсечение	170
3.5.4. Эффективность α - β -отсечения	173
<i>Практикум</i>	175
Глава 4. Представление знаний формулами исчисления предикатов... 190	
4.1. Метод резолюций.....	191
4.1.1. Формальные теории	191
4.1.2. Выводимость, интерпретация и логическое следование	193
4.1.3. Язык исчисления предикатов первого порядка.....	199
4.1.4. Приведение формулы к стандартному виду	202
4.1.5. Правило резолюции	206
4.1.6. Унификация	208
4.1.7. Опровержение методом резолюций.....	212
4.1.8. Программная реализация метода резолюций.....	213

4.2. Стратегии поиска опровержения методом резолюций	217
4.2.1. Полные и неполные стратегии	218
4.2.2. Хорновские предложения и язык Пролог	220
4.2.3. Извлечение результата (да/нет)	222
4.2.4. Извлечение результатов (факты)	224
4.2.5. Извлечение результатов (термы)	224
4.3. Системы дедукции на основе правил	225
4.3.1. Потеря импликативности	225
4.3.2. Размножение литералов	226
4.3.3. Естественное направление дедукции	227
4.3.4. Форма И/ИЛИ	228
4.3.5. Прямая система дедукции	229
4.3.6. Обратная система дедукции	232
4.3.7. Комбинация прямой и обратной систем	234
4.3.8. Метазнания в системах дедукции	236
<i>Практикум</i>	239
Глава 5. Автоматический синтез программ	244
5.1. Задача автоматического синтеза программ	244
5.1.1. Классификация подходов к синтезу программ	245
5.1.2. История развития синтеза программ	247
5.1.3. Схема дедуктивного синтеза	250
5.1.4. Тотальная корректность	251
5.1.5. Реализуемость	252
5.2. Дедуктивный синтез программ	252
5.2.1. Синтез программы в функциональной форме	252
5.2.2. Синтез блок-схемы	255
5.2.3. Синтез невыполнимой программы	257
5.2.4. Примитивная резолюция	258
5.2.5. Синтез циклических программ	259
5.3. Структурный синтез программ	262
5.3.1. Предпосылки и история	262
5.3.2. Синтез программ в концептуальных базах знаний	264
5.3.3. Семантическая вычислительная сеть	265
5.3.4. Алгоритм прямой волны	266
5.3.5. Предварительная обработка модели предметной области	267
5.3.6. Алгоритм синтеза линейных программ	268
5.3.7. Расширения и границы применимости	270
<i>Практикум</i>	271
Новые издания по дисциплине «Искусственный интеллект»	
и смежным дисциплинам	273
Предметный указатель	274

Предисловие

Предлагаемое учебное пособие называется «Символический искусственный интеллект: математические основы представления знаний», хотя, если бы это было возможно, то название «Символический искусственный интеллект = системы представления знаний + методы поиска решений» точнее отражало бы содержание книги. Аллюзия с книгой Никлауса Вирта «Алгоритмы + структуры данных = программы»¹ намеренная. Автор искренне, в силу воспитания, накопленного опыта и врожденных предпочтений, придерживается идеологии пионеров и основоположников, подобных Вирту и другим, часто и много их цитирует и пересказывает. Как известно, основная цель цитирования классиков состоит в том, чтобы подтвердить их авторитетом собственные измышления и выдумки. Отбор материала для книги вполне традиционный, можно сказать классический, но способ изложения сугубо авторский.



Никлаус Вирт (нем. Niklaus Wirth), родился в 1934 г. — швейцарский ученый, специалист в области информатики.

Автор и ведущий разработчик языков программирования Паскаль, Модула, Модула-2, Оберон, Оберон-2.

Лауреат премии Тьюринга 1984 г.

«Мой главный замысел — представить программирование как искусство или технику конструирования и формулирования алгоритмов и, причем, представить систематически, как самостоятельную дисциплину».

Во-первых, на центральное место мы ставим прикладные аспекты, т.е. решение полезных задач на компьютере методами искусственного интеллекта, а в ответ на вопрос «Может ли машина мыслить?» отшучиваемся. Теория без практики кажется нам скучной схоластикой, и мы ее избегаем. Во-вторых, мы считаем, что исследование способов представления «человеческих» знаний в компьютере намного существеннее в настоящее время, чем совершенствование «машинных» алгоритмов поиска решений, которым отдавался приоритет в предшествующие полвека. Именно поэтому представлению знаний в нашей книге уделяется наибольшее внимание. В-третьих, мы предпочитаем объяснения на примерах и с помощью коротких программ, в противовес излишне распространенному в этой области наукообразию. Мы считаем, что предъявление текста программы, решающей задачу, часто бывает более убедительно, чем введение нумерованных определений и доказательство «математических» теорем.

¹ Вирт Н. Алгоритмы + структуры данных = программы. М. : Мир, 1985.

Кому и зачем пригодится эта книга? Материал книги сконцентрирован вокруг ответа на вопрос: *как знания и умения человека выразить в виде программы для компьютера?* Прежде чем отвечать на этот *технический* вопрос, уместно дать ответ на вопрос *идеологический*: зачем? Зачем представлять знания в компьютере? Наш ответ прост: в последнее время это стало экономически выгодно. Кроме того, это довольно трудно, а потому чрезвычайно интересно.

Современные тенденции в области применения компьютеров характеризуются возрастанием значения методов *искусственного интеллекта* (ИИ) в программном обеспечении. Можно сказать, в настоящее время происходит непрерывный процесс «интеллектуализации компьютеров»¹. Мы имеем в виду следующую несомненную тенденцию: на заре своего развития компьютеры были «большими арифмометрами», а сейчас корень *compute* в слове компьютер является уже анахронизмом. Современный компьютер — это информационная машина, которая обрабатывает знания, представленные в виде данных. Эта тенденция иллюстрируется гистограммой на рис. 1, на которой мы показали соотношения между вычислительными ресурсами, используемыми для инженерных расчетов и для обработки знаний сейчас и полвека тому назад. Инженерные расчеты — это собирательное название для таких приложений, как расчеты полета ракеты, начисление зарплаты и т.д., а обработка знаний — это информационный поиск в Интернете, телекоммуникации и т.д.² Заметим, что численные значения процентов и масштаб на этом рисунке довольно условны. Действительно, за полвека суммарная вычислительная мощность, доступная человечеству, выросла более чем в 10^{10} раз, а не в четыре раза, как показано на рис. 1. Темпы роста вычислительных ресурсов не укладываются в голове, ни с чем подобным человечество ранее не сталкивалось. Все бóльшая доля этой стремительно растущей мощи тратится именно на обработку знаний!

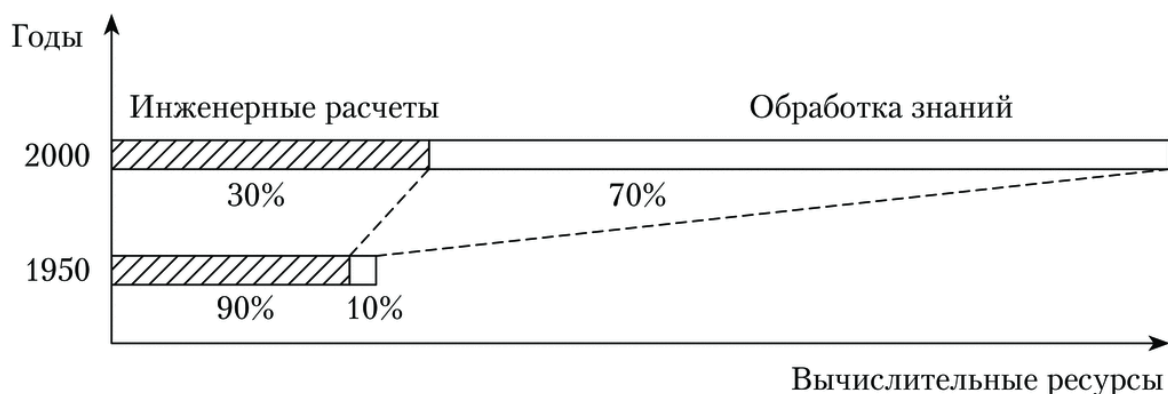


Рис. 1. Перераспределение вычислительных ресурсов со временем

¹ Этот процесс идет не только снаружи, в области программного обеспечения, но и изнутри. Компьютеры становятся все мощнее, и методы ИИ, которые еще вчера представляли только академический интерес, поскольку были нереализуемы «в железе», сегодня уже используются в промышленности.

² Самым распространенным способом использования компьютеров является простой в выключенном состоянии, а вторым по частоте применения является игра в компьютерные игры. Но эти два применения компьютеров мы оставляем за рамками нашего рассмотрения.

Направление искусственного интеллекта в информатике с самого начала вызвало большой, можно даже сказать нездоровый интерес. Недобросовестные журналисты, падкие на сенсации, гиперболизировали робкие ростки новых идей, внушая необоснованно высокие ожидания широкой публике, и, когда первые теоретические результаты не оправдывали завышенных ожиданий, те же журналисты участвовали в освистывании идей искусственного интеллекта. Однако в XXI в. ситуация изменилась. За последнее время результаты, полученные в этом направлении, переросли рамки академических экспериментальных разработок и начали применяться в практических приложениях. Системы искусственного интеллекта с пользой применяются в реальной жизни, в различных сферах — от медицинской диагностики до управления космическими аппаратами. К этому можно относиться как угодно, но невозможно отрицать. Именно поэтому курсы «Методы обработки знаний», «Прикладной искусственный интеллект» и т.п. стали практически обязательными в учебных планах подготовки специалистов по информатике. Ниже приведен примерный список направлений подготовки, в образовательных программах которых затронуты темы, изложенные в этой книге:

- 010200 — Математика и компьютерные науки;
- 010300 — Фундаментальная информатика и информационные технологии;
- 010400 — Прикладная математика и информатика;
- 036000 — Интеллектуальные системы в гуманитарной сфере.

В исторической перспективе в области искусственного интеллекта выделились два направления, две парадигмы, которые явно различаются по основным целям и методам исследования. Исторически первой оформилась *нейрокибернетика*, главной целью которой является моделирование мышления, прежде всего мышления человека в целом. Несколько позже стал развиваться *символический искусственный интеллект*, главной целью которого является эффективное решение отдельных прикладных интеллектуальных задач с помощью компьютера. Нейрокибернетика дала множество теоретических достижений, прежде всего в форме искусственных нейронов, нейросетей и нейрокомпьютеров, однако большая часть практических применений получена методами символического ИИ, прежде всего в форме методов решения труднорешаемых переборных задач. Между этими парадигмами нет непроходимой границы, и часто наблюдается плодотворное взаимопроникновение методов, но в данной книге сделан уклон в практическую сторону, поэтому львиная доля отдана символическому ИИ.

Инженеры, бакалавры и магистры, работающие в наукоемких прикладных областях, должны владеть основными, уже устоявшимися методами поиска решения переборных задач, разработанными в исследованиях по символическому искусственному интеллекту.

Необходимо подчеркнуть, что решающую роль в практической применимости методов решения переборных задач играют основные связанные с этими методами формализмы, используемые для *представления знаний в компьютерах*. Методы представления знаний, таким образом, являются

ядром направления символического искусственного интеллекта. Именно это ядро, совершенно необходимое как начинающим студентам, так и опытным инженерам, является предметом книги.

За полвека развития искусственного интеллекта было предложено и проверено на практике достаточно много различных подходов к представлению и обработке знаний. Среди них естественным образом выделяются две группы, два кластера, различающиеся используемым базисом — формальным аппаратом, явно или неявно используемым при реализации конкретных приложений¹. Это следующие группы:

- наивная теория конечных множеств и отношений, и вытекающая из них теория графов с алгоритмами поиска путей в графах;
- математическая логика с аппаратом логических исчислений, формул в этих исчислениях и методов поиска логического вывода.

Именно эти две группы методов положены в основу структуры книги. Следует заметить, что все новые, предлагаемые в последнее время подходы к представлению знаний, явным образом тяготеют к одной из этих групп. В то же время между группами нет непроходимой границы: мы приводим несколько примеров сведения методов одной группы к методам другой группы. Таким образом, ознакомление с идеями представления и обработки знаний в рамках выделенных подходов является вполне достаточным для того, чтобы быть в курсе основных тенденций символического искусственного интеллекта.

Мы уверены, что книга окажется полезной студентам, впервые изучающим методы искусственного интеллекта; инженерам, проектирующим прикладные системы с элементами искусственного интеллекта; и пользователям таких систем, интересующимся, «что там внутри».

Отличительные особенности и конкурентные преимущества. Учебное пособие, которое вы держите в руках, является основой достаточно разветвленного курса. Здесь изложен основной учебный материал в полном объеме. Этот материал довольно стандартный, и его состав соответствует наиболее популярным тенденциям. В то же время, помимо известных вещей, книга имеет ряд особенностей, которые мы считаем конкурентными преимуществами.

Первая важная особенность этой книги заключается в том, что изложение ведется большей частью на неформальном уровне и с большим количеством примеров. Мы не склонны молиться на математический аппарат, но считаем, что можем пользоваться им достаточно свободно и что читатель им владеет в необходимой степени. Основное внимание уделяется объяснению идей, а не формальным определениям. Все излагаемые алгоритмы описываются с помощью неформального псевдокода. Таким образом, предполагается, что читатель уже обладает достаточной программистской интуицией, чтобы понимать программы без формального определения синтаксиса, и владеет языком дискретной математики достаточно свободно, чтобы понимать примеры.

¹ Это не исчерпывающая таксономия и не закон природы. Так сложились обстоятельства к настоящему времени, и мы исходим из существующего положения вещей.

Вторая особенность состоит в том, что, помимо сугубо научно-учебного материала, в книгу включено большое количество различных отступлений познавательного и даже, можно сказать, занимательного характера. Мы приводим краткие биографические справки о различных ученых и инженерах, внесших весомый вклад в развитие искусственного интеллекта и методов представления знаний. Каждая глава содержит несколько отступлений «лирического» толка, где рассказывается о конкретных достижениях, программах, людях и связанных с ними событиях, которые повлияли на становление и развитие искусственного интеллекта. Эти отступления, конечно, преследуют не только развлекательные цели, но и содержат предельно конкретный, емкий материал, повествующий о том, как системы ИИ воплощаются в реальность в нашей жизни. Наконец, в книге есть немало шуток и забавных «баек». Интеллект, даже искусственный, скучным является только в воображении авторов плохих научно-фантастических романов. В реальной жизни это одна из самых увлекательных и веселых областей программирования.

Третья особенность книги — это немногочисленные (не более двух на главу) дополнения, которые уводят повествование от основной линии, но содержат технически сложную информацию, которая может оказаться полезной при решении практических задач. Заголовки дополнений включены в содержание книги, сами они выделены особым форматом текста. В дополнениях мы рассматриваем конкретные языки программирования, используемые для решения задач искусственного интеллекта, формальные теории, применяемые при представлении знаний, и другие достаточно сложные и специальные вопросы. Материал дополнений написан на том уровне сложности, который мы считаем минимально необходимым для изложения данного специального вопроса. Никаких адаптирующих объяснений «на пальцах» мы в дополнения не включили. Мы считаем, что если материал дополнения нужен читателю «по жизни», то в этом материале следует разобраться, а если не нужен, то дополнение можно безболезненно пропустить.

Преследуемые цели и структура книги. Мы ожидаем, что студенты, прошедшие данный курс (внимательно прочитавшие книгу, решившие задачи), должны:

знать

- основные методы поиска решения алгоритмически сложных задач;
- сравнительные достоинства и недостатки этих методов;
- основные принципы наиболее известных способов представления знаний — правил продукции и формул исчисления предикатов;

уметь

- выбрать подходящий способ представления знаний для конкретной задачи в простых случаях;
- оценить адекватность использования для конкретной задачи того или иного метода поиска решения;

владеть

- основными понятиями из области искусственного интеллекта и представления знаний;

- методами оценки конкретной прикладной системы искусственного интеллекта.

Методы искусственного интеллекта сейчас очень быстро развиваются и меняются, и невозможно дать заранее готовые рецепты на все случаи применения ИИ. Вместо этого в книге дается общее представление об основных принципах символического искусственного интеллекта, определяются наиболее распространенные методы представления знаний в компьютере и проводится обзор наиболее интересных в настоящее время реальных приложений.

Общая структура книги следующая. Всего в книгу включены пять глав, темы которых отнюдь не образуют полного покрытия всех методов и областей применения искусственного интеллекта.

Глава 1 — общий обзор, призванный определить основные термины и установить контекст взаимопонимания с читателем.

Главы 2 и 4 — обсуждение основных методов представления знаний. Мы убеждены в том (и повторяем это здесь еще раз), что методы представления знаний являются решающим фактором в успехе (или неудаче) приложений символического искусственного интеллекта. Основная причина заключается в том, что методы поиска решения имеют, как правило, переборный характер и их асимптотическая трудоемкость является не менее чем экспоненциальной функцией размера задачи. Однако в различных представлениях одна и та же задача может иметь разный размер! В одном представлении задача записывается компактно, а в другом представлении этого сделать не удастся. Компактное представление позволяет решать значительно более сложные задачи при тех же вычислительных затратах. В то же время для одних задач эффективным и компактным оказывается одно представление, а для других задач — иное. Наилучшего во всех случаях представления знаний не существует. Таким образом, необходимо рассматривать все возможные представления и выбирать наилучшее для данной конкретной задачи.

Заметим, что гл. 3 — это отдельное обсуждение свойств известных алгоритмов поиска решения на примере представления знаний системами продукций. Мы сочли, что одного подробного рассмотрения алгоритмов поиска решения достаточно, потому что в случае других представлений подходы в целом аналогичны, и не стали выделять алгоритмы в отдельные главы, а включили в соответствующие разделы по представлению знаний.

Глава 5 — комплексное приложение искусственного интеллекта, на примере которого мы демонстрируем преимущества и недостатки различных методов представления знаний. Приложение выбрано по очень простой причине — оно лежит в фокусе научных интересов автора.

Каждая глава соответствует одной теме и в образовательном процессе может занимать от двух (в обзорном варианте) до шестнадцати (в варианте спецкурса) академических часов лекций. В главу входит некоторое число нумерованных параграфов и не более двух нenumерованных дополнений. Номера параграфов используются для перекрестных ссылок в тексте.

Для удобства восприятия материал различного содержания оформлен по-разному. Основной текст, подобный тому, что вы видите сейчас, содер-

жит информацию «по существу вопроса», с которой необходимо ознакомиться для того, чтобы быть уверенным, что курс вами пройден.

Формальные определения основных понятий выделены, чтобы их было легче осознать и запомнить.

Определение — это то, что имеет такой формат, формат определения. Определяющие вхождения терминов выделены *курсивом*.

Большое значение в книге имеют алгоритмы, записанные на псевдокоде и выделенные специальным шрифтом. Мы не определяем формального синтаксиса для псевдокода, считая это нелепым в подобной книге, и полагаемся на программистскую интуицию читателя и следующий пример.

Алгоритм 0.1. Чтение программ на псевдокоде

```
proc ReadPseudoCode (in code : text) : bool
  начать читать алгоритм
  while алгоритм интересный & еще не закончился do
    читать следующую строку
    if ничего не понятно then
      прервать чтение
      return (false)
    end if
  end while
  return (true)
end proc // комментарий – это конец процедуры
```

Побочный материал дается в сносках¹, отступлениях, дополнениях и биографиях ученых.

Отступление

Отступления необходимы, в противном случае у читателя может сложиться ошибочное впечатление оторванности обсуждаемого предмета от прочих сфер жизни.

Дополнение

В дополнениях излагается более сухой и технический материал, который можно пропустить при первом чтении, но который позволяет намного глубже познакомиться с предметом — при желании и некотором усердии.

Практикум

В конце каждой главы читатель найдет практикум — набор контрольных вопросов по теме главы и задачи для самостоятельного решения.

Вопросы можно использовать как формулировки экзаменационных вопросов. Ответы на контрольные вопросы содержатся в основном тексте книги.

¹ Это пример сноски. В сносках, таких как эта, мы приводим уточняющую информацию или особо неоднозначные шутки.

В практикуме для каждой главы приводятся одна или две интересные задачи для самостоятельного решения. В области искусственного интеллекта почти никогда не бывает «единственно правильных» решений, решения многовариантны, а потому любое самостоятельное упражнение даст благодатный результат.

Об авторах. Замысел этой книги родился примерно шесть лет тому назад у двух людей: Виталия Борисовича Новосельцева и Федора Александровича Новикова. Авторы познакомились и сдружились в начале 1980-х гг., во время совместной работы над системой автоматического синтеза программ СПОРА¹. Этим проектом руководил Святослав Сергеевич Лавров, и авторы с гордостью причисляют себя к его ученикам. С тех пор изменилось многое, но общность взглядов и интересов осталась, что проявляется в этой книге. Будучи преподавателями, хотя и в разных университетах, мы оба ощущали в своей работе нехватку простого базового учебника по современным методам искусственного интеллекта, с практической направленностью и чуждого схоластике. Так в многочисленных совместных обсуждениях сформировался общий план и видение книги. К великому сожалению, заканчивать подготовку текста автору пришлось одному: тяжелая болезнь и безвременная кончина не позволили Виталию Борисовичу Новосельцеву увидеть выход этой книги в свет.

Новиков Федор Александрович, родился в 1951 г., окончил кафедру «Математическое обеспечение ЭВМ» математико-механического факультета Ленинградского государственного университета в 1974 г. Доктор технических наук.

Области научных интересов: автоматический синтез программ, управление качеством при разработке программного обеспечения, автоматное программирование. Автор и соавтор ряда книг, в том числе учебника «Дискретная математика для программистов», монографий «*Microsoft Office* в целом» и «Моделирование на *UML*». В настоящее время — профессор кафедры «Прикладная математика» Санкт-петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

E-mail: fedornovikov@rambler.ru



Новосельцев Виталий Борисович, 1955—2012, окончил кафедру «Вычислительная математика» механико-математического факультета Томского государственного университета в 1977 г., диплом готовил на математико-механическом факультете Ленинградского государственного университета. Доктор физико-математических наук.

Области научных интересов: прикладная логика, представление и обработка знаний, синтез программ, нейронные сети, параллелизм и распределенное управление. Автор и соавтор ряда книг, в том числе «Организация и использование нейронных сетей» и «Логическое программирование задач искусственного интеллекта».



¹ Бабаев И. О., Новиков Ф. А., Петрушина Т. И. Язык Декарт — входной язык системы СПОРА // Прикладная информатика : сб. статей под ред. В. М. Савинкова. Вып. I. — М. : Финансы и статистика, 1981. С. 35—72.

Глава 1

ПРИКЛАДНЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В результате изучения материала данной главы студент должен:

знать

- как выстраивать и реализовывать траектории интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования;
- роль информации в развитии современного информационного общества, какие опасности и угрозы могут возникать в этом процессе;

уметь

- приобретать с большой степенью самостоятельности новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии;
- быстро находить, анализировать и грамотно контекстно обрабатывать научно-техническую, естественнонаучную и общенаучную информацию;

владеть

- способностью осознать социальную значимость своей будущей профессии;
 - навыками разработки архитектур интеллектуальных систем.
-

Проблемой человеческого интеллекта исследователи занимаются очень давно, хотя попытки структурировать это явление психики, или хотя бы приблизиться к более-менее строгим определениям явлений и процессов, реализующим человеческий интеллект, не всегда результативны. Авторы не являются специалистами ни в физиологии мозга, ни в психологии, ни в классической философии. Тем не менее (или, скорее, в обоснование позиции) мы позволим себе некоторые отступления и цитаты, иллюстрирующие ситуацию в упомянутых областях.

На сегодняшний день в психологии принято считать, что существует некий *общий интеллект как универсальная психическая способность познания*, в основе которой может лежать генетически обусловленное свойство нервной системы перерабатывать информацию с определенной прагматикой, скоростью и точностью. Считается, что многие виды умственной деятельности человека, например программирование, занятие математикой, проведение лекций или чтение книг, подобных этой, требуют интеллекта.

С более общей философской точки зрения способность мыслить, познавать — то главное, что отличает человека от других живых и неживых существ. Пьер Тейяр де Шарден пишет: «...Для окончательного решения вопроса о превосходстве человека над животными (его необходимо решить в интересах этики жизни, так же как и в интересах чистого знания...) я вижу только одно средство — решительно устранить из совокупности челове-

ских поступков все второстепенные и двусмысленные проявления внутренней активности и рассмотреть центральный феномен — рефлексия. С точки зрения, которой мы придерживаемся, рефлексия — это приобретенная сознанием способность сосредоточиться на самом себе и овладеть самим собой как предметом, обладающим своей специфической устойчивостью и своим специфическим значением, — способность уже не просто познавать, а познавать самого себя; не просто знать, а знать, что знаешь...»¹.

С этой пространной цитатой невозможно спорить, беда в том, что ее трудно понять и, тем более, проверить экспериментально — как узнать, что такое «знание» и знает ли «носитель интеллекта», что он знает, или нет?²

К сожалению, до сих пор понимание того, что каждый из нас носит в черепной коробке, по большому счету, вряд ли можно считать достаточно полным. Если говорить о структуре мозга, как носителя интеллекта, то известно, что образующими элементами выступают клетки особого вида — нейроны. Между нейронами существуют физические связи, организованные аксонами, дендритами и синапсами. Доказано, что по крайней мере одна из форм взаимодействия нейронов реализуется электрохимическим путем, но вопрос, является ли эта форма единственной, остается открытым. Современная ситуация напоминает гипотетическую попытку кроманьонца понять, как устроен персональный компьютер, и что он может делать (что-то жужжит и пощелкивает, можно что-то нажимать и двигать, на экране меняются картинки и нагреваются отдельные части). Впрочем, что говорить о мозге, если мы до сих пор не в состоянии полностью осмыслить механику процесса хождения на двух конечностях.

Мы видим, что понятие «интеллект» для человека определяется косвенно, через предметную область, по некоторым результатам деятельности, а не напрямую указывается, что собой представляет и как реализуется этот аспект психики. Существующие определения, которые можно найти в энциклопедических изданиях, как правило, дают толкование, используя синонимичность и рекурсию. Например, энциклопедический словарь³ дает следующее краткое определение.

Интеллект (от лат. *intellectus* — познание, понимание, рассудок) — способность мышления, рационального познания.

Толковый психологический словарь близок, но отличается большей детализацией в определении.

Интеллект (от лат. *intellectus* — понимание, познание) — способность к осуществлению процесса познания и к эффективному решению задач, в частности при овладении новым кругом жизненных проблем.

¹ Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М. : Прогресс, 1965.

² «Штирлиц знал, что Мюллер знал, что Штирлиц — русский шпион. Но он не знал, знает ли об этом Мюллер» — анекдот.

³ Новый энциклопедический словарь. М. : Большая Российская энциклопедия, 2005.

Другими словами, определения ничего не определяют, но могут иногда стимулировать верные ассоциации, само же понятие «интеллект» является весьма расплывчатым и недостаточно адекватным. Невозможно, в частности, понять сущности интуиции, механизма веры, природы других иррациональных отношений (любви, антипатии) и т.д.

В сообществе специалистов по информационным технологиям бытует шутка: «искусственным интеллектом занимаются те, кому недостает естественного». Поскольку в каждой шутке есть доля «шутки», имеет смысл дистанцироваться от несколько одиозного термина и ограничить оптимистические настроения, касающиеся возможности создания «полноценных Големов»¹ — во всяком случае, мы никаким тайным сакральным знанием не обладаем, и в этой книге нет ничего мистического. Само слово «интеллект» попало в термин «искусственный интеллект» не совсем законно. Дело в том, что исходный оригинальный термин *artificial intelligence* (см. п. 1.3.2) имеет значительно более мягкий смысл. Слово *intelligence* все-таки скорее означает «сообразительность», нежели «рефлектирующий разум как фундаментальное свойство человека». Но другой перевод на русский язык предложить трудно и уже поздно, поэтому мы пользуемся существующим переводом, вкладывая в него следующий смысл.

Предметом этой книги является *прикладной искусственный интеллект* (ИИ), и здесь мы рассуждаем о практически реализуемых и полезных проектах, избегая пикировки в стиле пресловутого «голового петуха» Платона — Диогена². Понятие «искусственный интеллект» созвучно понятию интеллекта естественного, но имеет с последним мало общего. Важно понять, что символический искусственный интеллект не является моделью человеческого мышления³, так же как, например, резина не является химической моделью каучука, хотя обладает рядом схожих физических свойств. Действительно, программа с искусственным интеллектом использует некоторые алгоритмы, свойственные также и человеческому мышлению (в конце концов, любая программа написана людьми). Однако в реальной жизни человек будет решать ту же задачу *иначе*, чем это делает программа (производя другие операции, используя другие алгоритмы, задействуя структуры психики, пока что недостаточно изученные, а потому не поддающиеся переводу в математические формулы и программный код). Лобовой подход — изложение «человеческих» алгоритмов «машинным» языком — малоэффективен, как мы увидим в дальнейшем. Другими словами, если мы относим задачу

¹ Гóлем — персонаж еврейской мифологии. Человек из неживой материи (глины), оживленный с помощью тайных знаний Каббалы.

² Когда Платон дал определение, имевшее большой успех: «Человек есть животное о двух ногах, лишённое перьев», Диоген оципал петуха и принес к Платону в школу, объявив: «Вот платоновский человек!». После этого к определению было добавлено: «И с широкими ногтями».

³ Ведутся исследования, направленные на моделирование мышления человека в компьютере, именно с целью изучения мышления человека, а не решения интеллектуальных задач на компьютере. В этой книге данная тема затрагивается только в некоторых отступлениях. В основной части книги мы рассматриваем не моделирование мышления, а решение прикладных задач, что подчеркивается использованием прилагательного «прикладной» применительно к искусственному интеллекту.