

Н. Нильсон

Принципы искусственного интеллекта

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 004
ББК 32.81
Н11

Н11 **Н. Нильсон**
Принципы искусственного интеллекта / Н. Нильсон – М.: Книга по Требованию, 2021. – 369 с.

ISBN 978-5-458-31793-1

Описаны фундаментальные вопросы из области искусственного интеллекта, лежащие в основе многих приложений к обработке естественного языка, автоматическому программированию, "интеллектуальным" системам извлечения информации, экспертным системам и планированию действий. Показано, что большинство современных систем искусственного интеллекта (ИИ) может быть описано в виде глобальной базы данных, к которой применяются правила продукций под контролем некоторой управляющей системы. Выделение базы данных, правил продукций и блока управления в системе ИИ дает возможность изучения разнообразных механизмов использования в вычислительном процессе дополнительной информации о предметной области, обеспечивающих в конечном счете эффективное решение задач реальной сложности. Приводятся многочисленные примеры и программы, поясняющие и детализирующие общий подход к максимальному использованию знаний при решении задач. Автор книги - известный американский ученый, руководитель работ по искусственному интеллекту в Станфордском исследовательском институте, разработчик системы STRIPS, предназначенной для управления автономным роботом. Для научных работников, специализирующихся в области искусственного интеллекта.

ISBN 978-5-458-31793-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

формированности алгоритма поиска в рамках конкретных свойств решаемой задачи.

Главы 4 и 5 книги также являются результатом переработки соответствующих глав предыдущей книги автора. Следует отметить, что и при применении в системе других формальных языков знакомство с методами использования исчисления предикатов первого порядка является совершенно необходимым. Так, необходимый для резолюции алгоритм унификации является весьма универсальной процедурой. Имеются все основания считать, что унификация, которая буквально пронизывает все главы книги Н. Нильсона, является важнейшей компонентой любой системы ИИ.

В изложении метода резолюции большое внимание уделено использованию в процессе вывода всевозможных дополнительных знаний. Особый интерес, в частности, представляет использование "присоединенных процедур", когда истинность отдельных литералов проверяется некоторым внешним для резолюции образом (например, проведением непосредственного измерения или обращением к заранее запасенному табличному файлу).

Хорошо известно, что попытки непосредственного применения метода резолюции оказались неудачными вследствие того, что это приводит к быстрому "размножению" промежуточных результатов, и часто при очевидном существовании доказательства на практике при заданных объеме памяти и быстродействии невозможно дождаться конца доказательства. Поэтому в гл. 6 автор переходит к рассмотрению систем дедукции с использованием правил, представимых в виде импликаций, не преобразуя все формулы в форму предложений, как это принято в методе резолюции. В этом случае все правильно построенные формулы разбиваются на такого рода правила и факты (последние не выражаются в форме импликаций). Такие системы непосредственного логического вывода оказываются более эффективными, и, во всяком случае, более понятным становится сам ход вывода.

При таком подходе, позволяющем учесть при логическом выводе проблемно-специфическую информацию, рассматриваются прямая и обратная системы, причем обратная система (от цели) напоминает работу интерпретатора языка ПРОЛОГ, но является более общей по сравнению с ним системой.

Если в гл. 5 и 6 показано, как можно решать широкий круг задач с применением коммутативных систем продукций, то в гл. 7 и 8 речь идет о задачах планирования, в которых наиболее естественной является формализация, связанная с некоммутативными системами, когда использование некоторого правила изменяет, вообще говоря, необратимым образом глобальную базу данных.

Здесь автором подробно описана работа таких систем, как STRIPS и RSTRIPS, в создании которых он принимал непосредственное участие, а затем рассматриваются вопросы иерархического планирования и построения постепенно улучшаемых планов. Особое внимание уделено разрешению совокупности конфликтных целевых условий.

Приводится также описание других подходов и формализаций в задаче планирования.

С точки зрения теории очень интересным, хотя и на первый взгляд сложным, является механизм регрессии целевого условия. Необходимость в нем

возникает потому, что в обратной системе продукций приходится, разумеется, использовать "прямые" правила, каждое из которых определяется предусловием и списком добавлений и изъятий данных в глобальной базе данных (например, правило "взять данный кубик").

Наконец, в гл. 9 рассматриваются вопросы представления знаний в виде блоков (или фреймов, сценариев и т.п.) и связанные с этим вопросы организации работы системы в целом. Показано, что при блочном описании установление соответствия играет роль, аналогичную унификации. Рассматриваются методы использования блоков, отвечающих присоединенным процедурам, использования сетевых описаний, включения рекомендаций по применению данного правила. Затрагивается проблема неточной и противоречивой информации.

В целом книга Н. Нильсона ценна не только тем, что в ней систематически описан тщательно отобранный материал по вопросу представления знаний и их обработке, характеризующий область ИИ на 1980 г., но и тем, что в библиографических разделах каждой главы автор рисует весьма широкую картину состояния проблематики, указывая на источники информации, как подтверждающие его точку зрения, так и значительно от нее отклоняющиеся.

Безусловно, читателей заинтересует также небольшая гл. 10, в которой перечисляются определенные "горячие точки" в области ИИ, являющиеся очень важными для дальнейшего прогресса в этой области.

Таким образом, новая книга Н. Нильсона содержит богатый материал по искусственному интеллекту и, несмотря на значительный объем, читается довольно легко, если не считать некоторых разделов, носящих более технический характер. Во всяком случае, читателю не потребуется обращаться к другим материалам за справками — все необходимые сведения из самых различных областей, затрагиваемых в книге, изложены в ней самой.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обычно искусственный интеллект (ИИ) рассматривают в соответствии с основными областями его применения — такими, как обработка естественного языка, автоматическое программирование, управление роботами, машинное зрение, автоматическое доказательство теорем, разумные системы извлечения информации и т.д. Основная трудность при таком подходе состоит в том, что указанные области применений настолько обширны, что каждая в самом лучшем случае лишь весьма поверхностно может быть изложена в книге нормального объема. Вместо этого я предпринял попытку описать здесь фундаментальные идеи из области искусственного интеллекта, лежащие в основе таких применений. Эти идеи, таким образом, упорядочены мною не на основе тех областей, в которых они находят применение, а на основе общих вычислительных концепций, включающих типы используемых структур данных, типы выполняемых над ними операций и свойства стратегий, используемых системами ИИ. В частности, мною выделено то важное значение, которое в искусственном интеллекте имеют обобщенные системы продукций и исчисление предикатов.

Мысли, на которых базируется настоящая книга, развились в ходе семинаров и чтения учебных курсов в Станфордском университете и Университете шт. Массачусетс, г. Амхерст. Хотя в ней охвачены и некоторые вопросы, которые вошли в мою предыдущую книгу "Искусственный интеллект. Методы поиска решений" [275], предлагаемый материал содержит множество дополнительных вопросов. Обсуждаются системы, основывающиеся на правилах, системы решения задач роботами и представления для структурированных объектов.

Одна из задач этой книги — заполнить брешь, образовавшуюся между теорией и практикой. Теоретики искусственного интеллекта не испытывают больших затруднений в общении друг с другом, и книга не нацелена на то, чтобы внести вклад в это общение. Но она не представляет собой и справочника по современной технологии программирования в области искусственного интеллекта — для этого имеются другие источники информации. В настоящем своем виде книга может быть дополнена либо более глубоким теоретическим анализом определенных предметов при прочтении курсов по теории искусственного интеллекта, либо выполнением научного проекта или лабораторных работ, если учебный курс в большей степени имеет практическую ориентацию.

Книга задумана как учебник для студентов старших курсов университета или первого года обучения в аспирантуре по специальности "Искусственный интеллект". Предполагается при этом, что читатель имеет хорошую подготовку в области основ вычислительной науки. Знание какого-либо языка по обработке списков, такого как ЛИСП, было бы полезным. Курс

на основе данного учебника без напряжения может занять один семестр. Если же добавляется отдельный материал практической или теоретической ориентации, то может потребоваться и весь учебный год. Полусеместровый курс будет слишком напряженным, если только не опустить какую-то часть материала книги (возможно, некоторые разделы гл. 6 и 8).

Упражнения в конце каждой главы должны побудить к самостоятельному размышлению. В тексте упоминаются также отдельные более общие подходы к рассматриваемым вопросам. Для преподавателей может оказаться целесообразным использование выборочных упражнений в качестве основы для проведения дискуссии на семинарах. В конце каждой главы кратко обсуждаются литературные ссылки, которые могут служить для активно интересующегося студента адекватными стартовыми точками к большей части наиболее важной литературы в области искусственного интеллекта.

Я рассчитываю однажды подвергнуть ревизии свою книгу: исправить неизбежные ошибки и осветить новые результаты и свежие точки зрения. Имея это в виду, я надеюсь услышать соответствующую реакцию читателей.

Нилс Дж. Нильсон

ВЫРАЖЕНИЕ БЛАГОДАРНОСТИ

Несколько организаций оказывало моральную и финансовую поддержку в тех исследованиях, учебных курсах и дискуссиях, которые привели к созданию этой книги. По программе информационных систем управления научно-исследовательскими работами ВМС (директор Марвин Деникофф) было обеспечено финансирование научных исследований по контракту № 00014-77-C-0222 с Международным Станфордским исследовательским институтом. В академическом 1976/77 г. я по совместительству был приглашенным профессором на факультете вычислительных наук Станфордского университета. С сентября 1977 по январь 1978 г. я вел зимний семестр на факультете вычислительных и информационных наук в Университете шт. Массачусетс г. Амхерста. Студенты и преподаватели этих факультетов оказали мне неоценимую помощь на этапе формирования книги.

Я хотел бы выразить особую благодарность моей организации — Международному Станфордскому исследовательскому институту — за предоставленные мне условия и либеральное отношение к написанию книги. Я также хотел бы поблагодарить моих друзей и коллег по Центру искусственного интеллекта Станфордского исследовательского института. Трудно себе представить более динамичную, интеллектуально стимулирующую и конструктивно критическую обстановку для работы.

Хотя у настоящей книги указан лишь один автор, она была написана под влиянием нескольких людей. Мне доставляет удовольствие поблагодарить здесь всех, кто направлял меня в отношении лучшего представления результатов. Вот некоторые из тех, чьи предложения были особенно подробными и обширными: Дуг Эшпелт, Майкл Арбиб, Вольфганг Бибел, Вуди Бледсоу, Джон Браун, Лу Крири, Рэнди Дэвис, Эд Фейгенбаум, Ричард Файкс, Нортран Фаулер, Питер Фридленд, Энн Гарднер, Дэйвид Гельперин, Питер Харт, Пэт Хейес, Гери Хендрикс, Дуг Ленат, Вик Лессер, Джон Лоуренс, Джек Минкер, Том Митчел, Боб Мур, Аллен Ньювелл, Эрл Сейсердоти, Лен Шуберт, Херб Саймон, Рид Смит, Эллиот Солоуэй, Марк Стефик, Мэбри Тайсон и Ричард Уолдингер, Джон Дойл.

Я также хотел бы поблагодарить Робин Рой, Джуди Фетлер и Джорджию Наварро за терпеливую и аккуратную машинописную работу, Салли Сейтц за размещение в тексте инструкций для наборной машины и Хелен Тогнетти за творческое редактирование.

И что важнее всего, мои усилия вовсе не соответствовали бы поставленной задаче, не получи они добрую поддержку, одобрение и понимание со стороны моей жены Карен.

Рукопись этой книги была подготовлена в Международном Станфордском исследовательском институте на ЭВМ KL-10 фирмы Digital Equipment Corp. Соответствующий машинный файл был обработан для автоматического фотонабора с помощью системы ТУРЕТ В. А. Барретта на ЭВМ Hewlett-Packard 3000.

Ответственные за оформление книги — Иан Бастельер, обложки — Андреа Хендрик; иллюстрации Марлы Мастерсон.

Подготовка рукописи к набору: система Vera Allen Composition, Castro Valley, CA; наборная система Typothetal, Palo Alto, CA; печать и переплет R.R. Donnelley and Sons Company.

ПРОЛОГ

Многие виды умственной деятельности человека: такие, как написание программ для вычислительной машины, занятие математикой, ведение рассуждений на уровне здравого смысла и даже вождение автомобиля, — как говорят, требуют "интеллекта". На протяжении последних десятилетий было построено несколько систем на вычислительных машинах, способных выполнять задачи, подобные этим. В частности, имеются системы, способные диагностировать заболевания, планировать синтез сложных органических соединений в химии, решать дифференциальные уравнения в символической форме, анализировать электронные схемы, понимать ограниченный объем человеческой речи и естественного языкового текста или написать небольшую программу для вычислительной машины, удовлетворяющую определенным формальным требованиям. Мы могли бы сказать, что такие системы обладают в некоторой степени искусственным интеллектом.

Работа по построению такого рода систем проводится, главным образом, в области, получившей название *искусственный интеллект*. Эта работа в значительной степени имеет эмпирическую и инженерную ориентацию. Отталкиваясь от плохо структурированного, но все время увеличивающегося объема вычислительных приемов, системы ИИ испытываются и совершенствуются в экспериментальных ситуациях. В результате было разработано и выделено несколько принципов искусственного интеллекта, получивших широкое применение.

Настоящая книга посвящена некоторым наиболее важным или центральным идеям ИИ. В ней мы останавливаемся на тех, которые используются в нескольких различных проблемных областях. Чтобы подчеркнуть широкую применимость этих принципов, они поясняются на абстрактном уровне, а не рассматриваются в рамках конкретных приложений. Приводится несколько простых примеров, но подробного анализа конкретных широкомасштабных применений не дается. (Для детального анализа каждого из таких применений потребовалась бы отдельная книга.) Понимание основных идей на абстрактном уровне должно облегчить понимание конкретных систем ИИ (включая их сильные и слабые стороны), а также послужить прочной основой при разработке новых систем.

Искусственный интеллект ставит перед собой и более серьезную задачу построения теории интеллекта, базирующейся на обработке информации. Если бы такую *теорию интеллекта* можно было создать, то с ее помощью можно было бы направленно вести разработку интеллектуальных машин. Кроме того, можно было бы прояснить детали интеллектуального поведения, проявляющегося у людей и животных. Поскольку построение такой общей теории пока остается в значительной степени нерешенной задачей, стоящей

перед ИИ, то мы сконцентрируем внимание на тех принципах, которые касаются инженерной задачи построения интеллектуальных машин. И даже при таком ограниченном подходе наше обсуждение идей ИИ может представить интерес для психологии познания и других областей, нацеленных на понимание естественного интеллекта.

Методы и приемы ИИ, как мы уже говорили, нашли применение в нескольких проблемных областях. Чтобы облегчить мотивирование нашего дальнейшего анализа, перейдем к описанию некоторых таких приложений.

0.1. НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

0.1.1. ОБРАБОТКА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Когда люди общаются друг с другом с помощью языка, они практически без всяких усилий используют чрезвычайно сложные и пока еще мало понятные процессы. Оказалось, что построить вычислительные системы, способные генерировать или "понимать" хотя бы фрагменты такого естественного языка, как английский, чрезвычайно трудно. Одной из причин этого является то обстоятельство, что язык возник как средство общения *интеллектуальных* существ. В первую очередь он используется для передачи некоторой порции "умственной структуры" от одного мозга к другому в условиях, в которых каждый мозг располагает большими весьма подобными друг другу "умственными структурами", служащими в качестве общего контекста. Более того, часть этих схожих контекстуальных "умственных структур" дает возможность каждому партнеру знать, что другой также располагает этой общей структурой и может и будет выполнять определенные процессы в ходе актов общения. В процессе эволюции применения языка была, очевидно, учтена потенциальная возможность участников разговора использовать значительные вычислительные ресурсы и совместные знания для создания и восприятия чрезвычайно сжатых сообщений: мудрому человеку достаточно услышать от мудрого одно слово. Таким образом, образование и понимание фразы — чрезвычайно сложная проблема кодирования и декодирования.

Вычислительная система, способная понимать сообщение на естественном языке, нуждалась бы, по-видимому, не в меньшей степени, чем человек, как в контекстуальных знаниях, так и в процессах, обеспечивающих тот логический вывод (из контекстуальных знаний и сообщения), наличие которого предполагает генератор сообщений. В направлении создания вычислительных систем такого рода, предназначенных для понимания письменных и устных фрагментов речи, был достигнут некоторый прогресс. При построении систем существенными оказались некоторые представления из области ИИ о структурах представления контекстуальных знаний и некоторых методах логического вывода из знаний такого типа. Хотя проблему обработки языка как таковую мы в этой книге не рассматриваем, тем не менее мы описываем некоторые важные методы представления и обработки знаний, которые и в самом деле находят применения в системах, предназначенных для обработки языка.

0.1.2. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ИЗ БАЗ ДАННЫХ

Системы баз данных представляют собой вычислительные системы, в которых хранятся большие объемы фактов, относящихся к некоторой области, причем в таком виде, чтобы их можно было использовать при ответах на вопросы, касающиеся этой предметной области. Чтобы дать конкретный пример, предположим, что такими фактами являются личные дела сотрудников какой-то большой корпорации. Тогда примерами элементов базы данных могли бы служить представления для таких фактов, как "Джо Смит работает в отделе закупок", "Джо Смит был взят на работу 8 октября 1976 года", "В отделе закупок 17 сотрудников", "Джон Джонс является главой отдела закупок" и т. д.

Разработка систем баз данных — один из важных разделов области вычислительных наук (computer science), в рамках которого были предложены разнообразные приемы, дающие эффективное представление, хранение и извлечение из памяти большого числа фактов. С нашей точки зрения этот предмет становится действительно интересным, когда мы хотим извлечь ответ на вопрос, для которого необходимо провести дедуктивное рассуждение с фактами из базы данных.

Конструктор такой *интеллектуальной* системы извлечения информации сталкивается с несколькими проблемами. Во-первых, имеется гигантская проблема построения системы, которая могла бы понимать запросы, сформулированные на естественном языке¹. Во-вторых, даже в случае, если задачу понимания языка удастся обойти, определив для этого некоторый формальный понятный машине язык запросов, проблема того, как логически вывести ответы, исходя из хранящихся фактов, остается. В-третьих, для понимания запроса и вывода ответа может потребоваться информация, выходящая за рамки информации, явным образом представленной в базе данных для предметной области. Часто бывают необходимы широко известные сведения, которые обычно опускаются в базе данных, характеризующей проблемную область. Например, из фактов, касающихся упомянутых нами личных дел, интеллектуальная система должна логически вывести ответ "Джон Джонс" при поступлении запроса "Кто является боссом Джо Смит?". Такая система должна каким-то образом знать, что глава некоторого отдела является *боссом* для людей, работающих в этом отделе. То, каким образом обыденные знания следовало бы представлять и использовать, является одной из задач, возникающих при разработке систем, для решения которых могут быть привлечены методы искусственного интеллекта.

0.1.3. ЭКСПЕРТНЫЕ КОНСУЛЬТИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Методы ИИ нашли также применение при разработке автоматических консультирующих систем. Такие системы обеспечивают пользователя компетентными заключениями, касающимися определенных предметных областей. Были созданы автоматические консультирующие системы, способные диагностировать заболевания, оценивать потенциальные золотоносные месторож-

¹ Читателю можно рекомендовать весьма информативную книгу [3*], в которой подробно освещаются разнообразные аспекты этой проблемы. — *Прим. ред.*

дения, предлагать варианты возможных структур для сложных органических химических элементов и даже давать советы о том, как пользоваться другими вычислительными системами.

Ключевая проблема при построении экспертных консультирующих систем состоит в том, как представлять и использовать знания, которыми, очевидно, располагают и пользуются люди, являющиеся экспертами в этих областях. Эта проблема осложняется еще тем фактом, что экспертные знания во многих важных областях часто являются неточными, неопределенными или анекдотическими (хотя эксперты пользуются такими знаниями, выводя полезные для дела заключения) [4*].

Во многих экспертных консультирующих системах применяется метод ИИ, связанный с *логическим выводом, основанным на правилах*. В таких системах экспертные знания представлены в виде большого множества простых правил, которые применяются при организации диалога между системой и пользователем, а также для вывода заключений. Дедукция, основанная на правилах, является одним из главных вопросов, затрагиваемых в настоящей книге.

0.1.4. ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТЕОРЕМ

Поиск доказательства (или опровержения) для некоторой математической теоремы, несомненно, может быть рассмотрен, как пример интеллектуальной задачи. Не только потому, что для этого требуется способность произвести дедукцию, исходя из гипотез, но и потому, что для нее необходимы интуитивные навыки, такие, как построение догадки о том, какие промежуточные леммы следует доказать, чтобы способствовать доказательству основной теоремы. Опытный математик опирается на то, что он, возможно, назовет суждением (основанным на большом объеме специальных знаний), чтобы высказать точную догадку, какие из ранее доказанных теорем в рассматриваемой предметной области будут полезны для искомого доказательства, и чтобы выделить в главной проблеме подзадачи, над которыми можно работать независимо друг от друга. Было разработано несколько программ автоматического доказательства теорем, которые до какой-то степени обладают некоторыми из таких способностей.

Изучение приемов доказательства теорем сыграло большую роль в развитии методов ИИ. Формализация дедуктивного процесса с использованием языка логики предикатов, например, помогает глубже понять некоторые компоненты рассуждения. Многие неформальные задачи, включая медицинскую диагностику и извлечение информации, допускают их формализацию как задачу на доказательство теорем. По этим причинам доказательство теорем является чрезвычайно важной областью при изучении методов ИИ.

0.1.5. РОБОТИКА¹

Может показаться, что управление физическими действиями подвижного робота не требует большого интеллекта. Даже маленькие дети способны ус-

¹ Роботика (Robotics) — молодая наука, выделившаяся в рамках искусственного интеллекта. Ее задачей является решение теоретических и практических вопросов организации целесообразного поведения подвижного робота, снабженного сенсорными и эффекторными (исполнительными) механизмами. Перед таким роботом, как правило,

пешно находить дорогу в окружающей их обстановке и манипулировать такими предметами, как выключатели света, игральные кубики, приспособления для еды и т.д. Однако некоторые из этих задач, практически бессознательно выполняемые людьми, требуют для их решения тех же многих способностей, которые необходимы для решения проблем, нуждающихся в большем интеллекте.

Исследования по роботам и роботике оказали помощь при развитии многих идей ИИ. Они привели к созданию нескольких методов моделирования *состояний мира* и описания процесса изменения одного состояния внешнего мира на другое. Они привели к лучшему пониманию того, каким образом строить *планы* для последовательности действий и как управлять выполнением этих планов. Сложные задачи управления роботом заставили нас развить методы планирования, осуществляемого на высоком уровне абстракции, опуская детали, с последующим переходом к планированию на все более низких уровнях, на которых детали становятся важными. В настоящей книге у нас будет много случаев использовать примеры из области решения задач роботом для иллюстрации важных идей.

0.1.6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Задача написания программы для вычислительной машины связана как с доказательством теорем, так и с роботикой. Большая часть основных исследований по автоматическому программированию, доказательству теорем и решению проблем роботом перекрывается друг с другом. Существующие компиляторы уже осуществляют в некотором смысле "автоматическое программирование". Они воспринимают полную спецификацию во входном коде того, что программа должна делать, и пишут программу в объектном коде, которая это делает. То, что мы здесь подразумеваем под автоматическим программированием, может быть описано как "суперкомпилятор", или программа, которая могла бы воспринимать описание на очень высоком уровне того, что требуется от искомой программы. Указанное описание на высоком уровне могло бы быть точным утверждением в некотором формальном языке, таком, как исчисление предикатов, или же быть приблизительным описанием, скажем, на английском языке, которое потребовало бы проведения дополнительного диалога между системой и пользователем для исключения неоднозначностей.

Задача автоматического написания программы для достижения заданного результата тесно связана с задачей доказательства того, что программа достигает этого результата. Последняя получила название задачи *верификации программы*. Многие системы автоматического программирования включают верификацию выходной программы в качестве некоторой дополнительной возможности.

ставится определенная глобальная задача, однако предполагается, что заранее невозможно полностью предсказать реакции со стороны окружающей его среды, поэтому такую проблему, как, например, планирование порядка выполнения действий, робот должен решать самостоятельно, сообразуясь с конкретными условиями, используя для этого "бортовую" ЭВМ. Именно эта проблема является предметом исследования настоящей книги в той ее части, которая касается роботов. – *Прим. ред.*