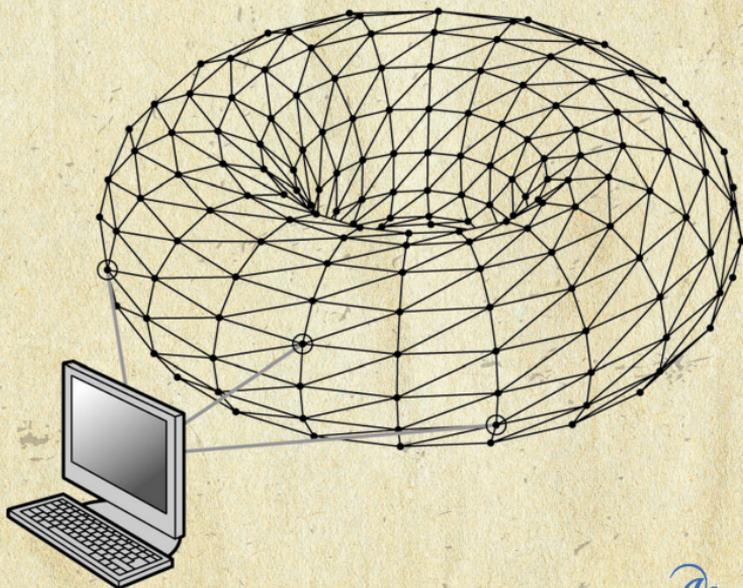


БЫСТРАЯ НАУКА

Всё
ОБ ИСКУССТВЕННОМ
ИНТЕЛЛЕКТЕ
ЗА 60 МИНУТ



Аванта

Питер Дж. Бентли
Всё об искусственном
интеллекте за 60 минут
Серия «Быстрая наука»

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=63469833

Всё об искусственном интеллекте за 60 минут: АСТ; Москва; 2020

ISBN 978-5-17-123535-2

Аннотация

Жить в современном мире, не взаимодействуя с искусственным интеллектом и не подвергаясь его воздействию, практически невозможно. Как так получилось? И что будет дальше? Меняют ли роботы наш мир к лучшему или создают еще больше проблем? Ответы на эти и другие вопросы, а также историю развития ИИ – от истоков и мотивации его зарождения до использования умных алгоритмов – вы найдете на страницах книги Питера Дж. Бентли, эксперта в области искусственного интеллекта и известного популяризатора науки.

Для широкого круга читателей.

В формате PDF А4 сохранен издательский макет.

Содержание

Предисловие	6
01. Путешествие в тысячу миль начинается с первого шага	9
Античные роботы	11
Рождение ИИ и робототехники	15
Взлеты и падения ИИ	21
Возрождение	26
02. Выбор верного пути	30
Символический ИИ	32
Китайская комната	36
Логика поиска	39
Хранение знаний	44
03. Мы все падаем	50
Конец ознакомительного фрагмента.	54



Питер Дж. Бентли
Всё об искусственном
интеллекте за 60 минут

0 Short Lessons in Artificial Intelligence and Robotics
Written by Peter J. Bentley

First published in Great Britain in 2020
by Michael O'Mara Books Limited

Copyright © Michael O'Mara Books 2020

© Ивашечкин А. А., пер. с англ., 2020

© ООО «Издательство АСТ», 2020

Предисловие

Я вырос в 1970-е, когда еще не было интернета, Всемирной паутины, а первые доступные для домашнего использования компьютеры только появились. В те дни нужно было быть таким же гиком, как я, чтобы интересоваться компьютерами. Да, я был таким ребенком – застенчивым в школе, но активным дома, когда конструировал странноватых роботов, занимался программированием, писал простые компьютерные игры. Я мечтал о новом компьютере так, как другие дети грезили о *Lamborghini*. Таким потрясающим, но таким недосягаемым! Искусственный интеллект – попытки заставить мой компьютер думать, имитировать биологическое поведение и управлять роботами – был моей детской страстью. Но окружающим эта страсть казалась столь же непонятной, что и филателия сегодня.

А потом все изменилось. Довольно резко. Научная фантастика стала реальностью. Компьютеры правят миром. Потoki данных сопровождают все наши действия. Роботы на фабриках производят различные товары. В наших домах полно гаджетов, мы можем общаться с цифровыми домашними помощниками и получать подробные и понятные ответы. Всем этим за кулисами управляет искусственный интеллект. Так моя детская страсть стала не только мейнстримом, но и одним из наиболее важных видов современных технологий.

Сегодня вы не можете жить в мире, не взаимодействуя с искусственным интеллектом (ИИ) или роботами или не подвергаясь их воздействию. Каждый раз, когда вы совершаете покупки, ИИ проводит операции с вашими деньгами, проверяет, нет ли мошенничества, использует ваши данные, чтобы лучше вас понять и порекомендовать вам новые продукты. Когда вы ведете машину, ИИ помогает ей двигаться безопасно, наблюдает за ней с дорожных камер и автоматически меняет ограничения скорости, считывает номерной знак и контролирует движение. Каждый раз, когда вы публикуете что-то в социальных сетях, ИИ анализирует тексты, чтобы определить их тональность при помощи ключевых слов. Когда вы читаете новостные статьи или блоги в интернете, ИИ следит за вашей деятельностью и старается предложить вам больше контента, который может вас заинтересовать. Каждый раз, когда вы делаете фото, ИИ корректирует настройки камеры для получения наилучшего результата, а также он способен распознать людей, изображенных на снимке. Боты, которые отвечают на ваши вопросы онлайн или по телефону, тоже создаются с помощью ИИ. В вашем доме есть умные телевизоры, холодильники и стиральные машины, центральное отопление, системы кондиционирования воздуха – во всех этих устройствах есть ИИ. Мировая экономика управляется ИИ, торговые операции осуществляются ИИ, и даже решения о том, стоит ли нам покупать различные финансовые продукты, тоже принимаются ИИ. Они разрабатывают анти-

вирусные и антибактериальные препараты. Водо- и электро-снабжение, газ, мобильная сеть и подключение к интернету настраиваются с помощью специализированных алгоритмов ИИ, которые призваны оптимизировать трафик и минимизировать потери. Вы взаимодействуете с тысячей ИИ в день, хоть и не знаете обо всех.

В этой книге я попробую объяснить, как такое стало возможным, как это все работает и что значит. Это карманный путеводитель, поэтому буду краток и постараюсь не утомлять вас подробными техническими описаниями. Я не стану объяснять каждую техническую особенность и рассказывать о каждом пионере ИИ – для этого потребовалась бы тысяча книг такого размера, и с каждым днем их становилось бы все больше и больше (прогресс не стоит на месте!). Вместо этого я предлагаю отправиться в короткое путешествие по этому странному миру компьютеров, роботов и ИИ. Я покажу вам его главные достопримечательности и объясню некоторые фундаментальные идеи, лежащие в основе ИИ и робототехники. Порой вам будет казаться, что наше путешествие напоминает американские горки, ведь ИИ уже прожил удивительно долгую жизнь и у него были свои взлеты и падения. Но как бы то ни было, ИИ создан для того, чтобы изменить наш мир к лучшему, хоть иногда он и становится причиной глобальных проблем. Короче говоря, пристегнитесь и наслаждайтесь поездкой!

Питер Дж. Бентли

01. Путешествие в тысячу миль начинается с первого шага

Я с уверенностью предсказываю, что в ближайшие десять или пятнадцать лет в лаборатории появится нечто, совсем не похожее на робота из научной фантастики.
КЛОД ШЕННОН (1961)

Представьте, что вас окружают здания и статуи в классическом стиле. Вы прогуливаетесь по мощеным улицам красивого греческого острова и любуетесь видами. Зной спал, уступив место приятной прохладе. Лавки с фруктами и рыбой закрылись, а вслед за ними исчезли шум и суэта повседневной жизни. Только звуки ваших собственных шагов отдаются эхом между богато украшенными домами. На углу улицы глаз выхватывает неожиданное движение. Но там никого нет. Вы пристально вглядываетесь.

Каменная статуя – она двинулась! В изумлении вы подходите ближе, чтобы рассмотреть ее. Вам кажется, будто она дышит, будто ее грудь вздымается и опускается. Вы продолжаете смотреть на статую, и ее голова поворачивается влево, а затем вправо. Вы понимаете, что эта статуя не единственная – двигаются все статуи вокруг, кажется вам. Переминаются с ноги на ногу, жестикулируют – словно ведут молчали-

вый каменный разговор. Они медленно оживают с наступлением ночи? Приглядевшись, вы замечаете, что во всех статуях, похоже, скрыты механизмы со стрекочущими винтиками и колесиками. Вы на острове каменных роботов.

Античные роботы

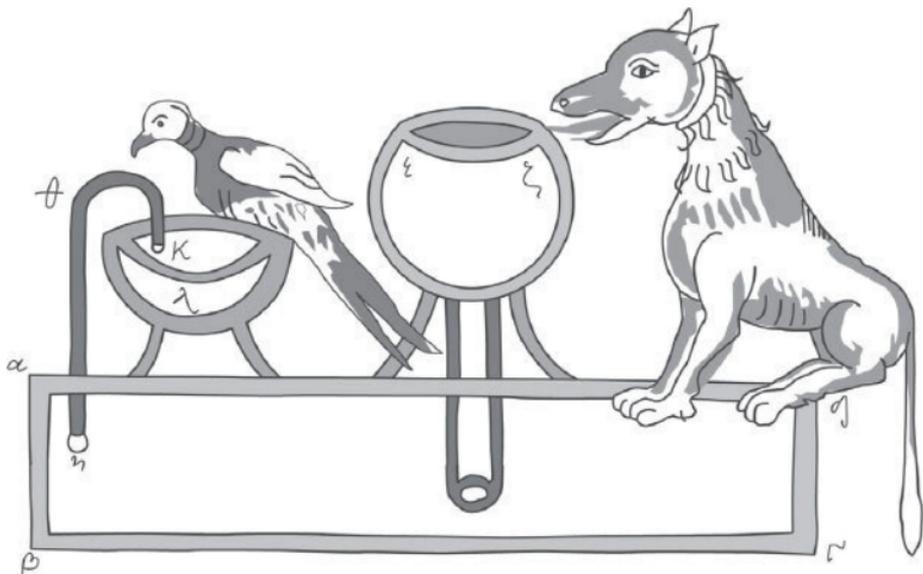
Место действия – греческий остров Родос 2400 лет назад, (еще до того, как там возвели гигантскую статую Гелиоса, бога солнца, – Колосс Родосский). Этот удивительный остров славился своими механическими изобретениями, в том числе выполненными из мрамора в натуральную величину автоматами. Древнегреческий поэт Пиндар посетил Родос и рассказал о нем в стихотворении:

*Ожившие фигуры стоят,
Украшая каждую городскую улицу,
И камень дышит,
А мраморные ноги движутся.*

Может показаться невероятным, что еще до образования Римской империи, в 400 году до нашей эры, существовали такие технологии. Но многие подобные античные изобретения документально подтверждены.

Приводимые в движение водой или собственным весом рычащие механические львы, поющие металлические птицы и даже механические люди, играющие вместе в ансамбле. Утверждали, что у царя Соломона, правившего, по одной из версий, с 970 по 931 год до нашей эры, был механический золотой лев, который поднимал лапу, чтобы помочь царю подняться на трон, и орел, который водружал ко-

рону на его голову. В древнекитайских текстах встречается история о механическом человеке, подаренном царю Мувану мастером Ян Ши. Архит Тарентский, основатель математической механики, философ и друг Платона, живший с 428 по 347 год до нашей эры, сконструировал механического голубя – летающего деревянного робота, приводившего в движение паром. Герон Александрийский (10–70) написал целую книгу о создании автоматов и о том, как может быть использована гидравлика, пневматика и механика. Герон также сконструировал первый механический кукольный театр, представлявший собой небольшое архитектурное сооружение. Куклы управлялись сложной системой нитей разной длины и исполняли в рамках спектакля различные номера, в том числе танцевальные.



Увлечение механической «жизнью» продолжалось и в Средние века. Бесчисленные умельцы создавали механические чудеса, предназначенные для развлечений. К XVIII веку изобретатели автоматизированных фабричных машин, сделавших возможной промышленную революцию, подняли это занятие на новый уровень. Удивительные паровые механизмы внезапно заменили людей в таком трудоемком процессе, как ткачество, для которого раньше всегда требовались обученные рабочие, и машины теперь могли создавать более тонкую ткань быстрее, чем люди когда-либо прежде. И хотя это повлекло за собой сокращение рабочих мест, появились целые новые отрасли промышленности, поскольку громадные машины нуждались в постоянном уходе и обслу-

живании.

Шли десятилетия, и машиностроение развивалось все стремительнее. Поезда, автомобили, самолеты и фабрики со сложным оборудованием стали обычным явлением. Вместе с зависимостью от автоматических машин росло и очарование роботами и их сходством с живыми существами, проникавшее в литературу и кино. Вероятно, это не случайность, что в двух самых ранних научно-фантастических фильмах, «Метрополис» (1927) и «Франкенштейн» (1931), речь идет о сумасшедших изобретателях, создающих жизнь.

В XX веке ученые пытались понять суть жизни в том числе путем создания ее аналогов. Возможно, они считали, что если смогут сотворить нечто движущееся и ведущее себя как живое существо, то им удастся раскрыть секреты, лежащие в основе жизни. Это было началом искусственного интеллекта и роботов в том виде, в каком мы знаем их сегодня.

Рождение ИИ и робототехники

Одни из первых автономных роботов, созданных, чтобы помочь нам понять биологические системы, сконструировал в конце 1940-х годов в Великобритании, в Бристоле, нейрофизиолог Грей Уолтер. Он назвал их Элмер и Элси. Роботы Уолтера напоминали черепах и были уникальны, поскольку не следовали какой-либо заданной программе.

Примерно в то же время, когда Уолтер создавал своих экспериментальных роботов, он состоял в клубе молодых британских ученых, известном как *Ratio Club*. Нейробиологи, инженеры, математики и физики регулярно встречались, чтобы выслушать приглашенного докладчика, а затем обсудить свои взгляды на кибернетику – науку об общих закономерностях процессов управления и связи как в машинах, так и в живых организмах. *Ratio Club* был в числе первых клубов, посвященных роботам и ИИ. Большинство его членов стали выдающимися учеными в своих областях. Одного из увлеченных математиков звали Алан Тьюринг.

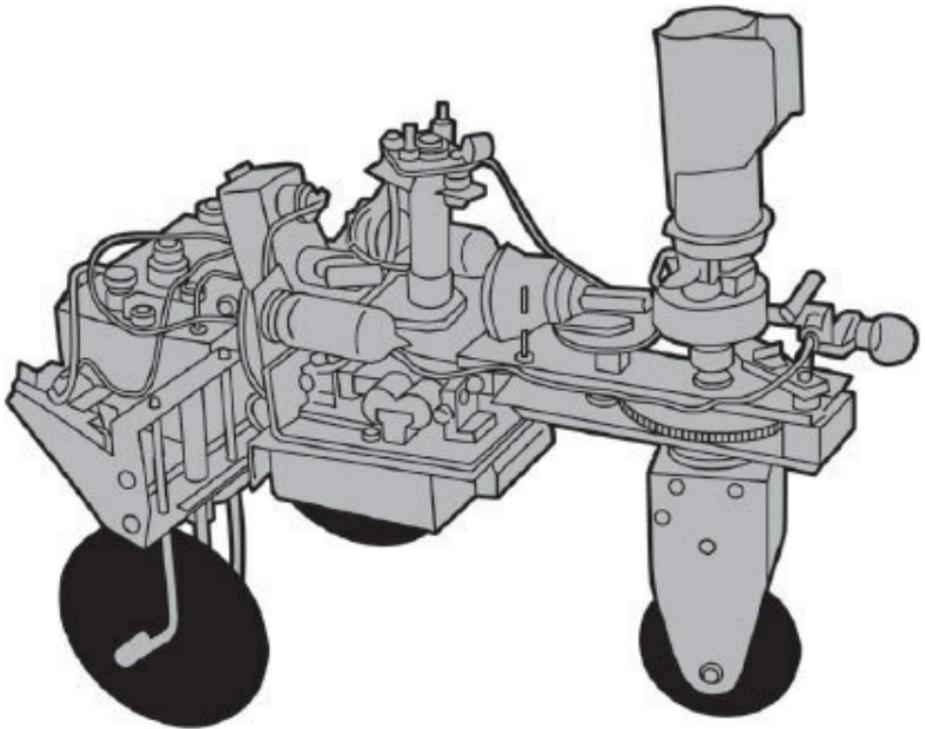
УИЛЬЯМ ГРЕЙ УОЛТЕР (1910–1977)

Грей Уолтер стал пионером в разработке роботов с собственным разумом. (Он также стоял у истоков такой технологии, как электроэнцефалография, или ЭЭГ,

применяющейся для изучения человеческого мозга.) Его механические черепашки могли реагировать на изменения окружающей среды, двигаться к свету и обходить различные препятствия. Они даже находили дорогу к зарядной станции, когда заряд их батарей оказывался на исходе. Уолтер утверждал, что эти простые роботы обладают эквивалентом двух нейронов и, если добавить к ним больше «клеток», можно добиться более сложного поведения. Ученый попробовал достичь этого, создав усовершенствованную версию робота-черепахи, которую назвал Корой. Он обучил Кору реагировать на полицейский свисток, подчиняясь условному рефлексу, – подобно собакам Павлова, выделяющим слюну при звуке колокольчика. Поначалу Кора не реагировала на свист, но после того как он стал сопровождаться вспышкой света, робот быстро научился связывать два раздражителя и впоследствии откликался на свист без дополнительных стимулов.

К 1950 году Тьюринг уже внес огромный вклад в зарождавшуюся тогда область компьютерных технологий. В его ранних работах представлено фундаментальное математическое доказательство того, что ни один компьютер не в силах предсказать, сможет ли он прекратить вычисления для какой-либо конкретной программы, или, другими словами, что некоторые проблемы не поддаются вычислению. Тьюринг участвовал в разработке самых первых программируе-

мых компьютеров, а его секретная работа в Блетчли-парке¹ помогла декодировать зашифрованные сообщения во время Второй мировой войны.



Как и многие пионеры компьютерных технологий, Тьюринг интересовался интеллектом. Что это? Как можно создать его искусственный аналог? И если кому-то удастся

¹ Особняк, расположенный в городе Милтон-Кинс. Здесь в годы Второй мировой войны находилось главное шифровальное подразделение Великобритании – Правительственная школа кодов и шифров. – *Здесь и далее примеч. переводчика.*

сконструировать компьютер, который будет думать так же, как живые существа, как его создатель узнает об этом? Тьюринг решил, что необходим метод оценки способности машины думать. Он назвал его «Игра в имитацию», но более известен этот метод как тест Тьюринга.

Тест Тьюринга стал важным критерием для ИИ, но также вызвал и много критики. Хотя он способен дать некоторое представление о возможности ИИ вдумчиво отвечать на письменные запросы, он не позволяет оценить другие его способности, такие как прогнозирование и оптимизация или управление роботом и распознавание изображений.

Почти все пионеры компьютерной эры задумывались об ИИ, Тьюринг не был единственным. В США Джон фон Нейман, математический гений, который в 1945 году описал, как сконструировать первые программируемые компьютеры, работал с Тьюрингом над интеллектуальными компьютерами. Последний проект фон Неймана был посвящен самовоспроизводящимся машинам, которые, как он надеялся, смогут выполнять большинство функций человеческого мозга и воспроизводить самих себя. К сожалению, в 1953 году фон Нейман умер от рака, не успев завершить этот проект.

ТЕСТ ТЬЮРИНГА

Опросник может взаимодействовать с двумя собеседниками – каждый из них в отдельной комнате –

и задавать им любые вопросы, печатая их: «Пожалуйста, напишите стихотворение о мосте через Форт» или «Что получится, если к 34 957 прибавить 70 764?» Затем опрашиваемые вводят свои ответы. Через некоторое время опросчику сообщают, что один из его собеседников на самом деле компьютер. Если компьютер не удастся отличить от реального человека, значит, компьютер прошел тест.

Еще один гений, Клод Шеннон, создавший теорию информации и криптографии, придумавший термин «бит» для обозначения минимальной единицы измерения количества информации в двоичной системе счисления, тоже был глубоко вовлечен в процесс развития ИИ на его самых ранних стадиях. Шеннон сконструировал роботизированную мышь, которую можно было научить находить выход из лабиринта, и написал компьютерную программу, игравшую в шахматы. В последние годы своей жизни он создал и другие удивительные вещи, например робота, который мог жонглировать мячиками. В 1955 году Шеннон вместе с Джоном Маккарти, Марвином Мински и Натаниэлем Рочестером предложил организовать летнюю конференцию, чтобы собрать ученых для обсуждения ИИ. Дартмутская конференция прошла летом 1956 года и длилась шесть недель. Она стала первым в истории мероприятием, посвященным изучению (и введению термина) ИИ. В результате многодневных обсуждений удалось сформулировать несколько ключевых идей, которые призваны были доминировать в этой новой области исследо-

ваний на протяжении многих последующих десятилетий.

**Предложение Летнего исследовательского
проекта по искусственному интеллекту
в Дартмуте 31 августа 1955 года**

**ДЖОН МАККАРТИ, МАРВИН Л. МИНСКИ,
НАТАНИЭЛЬ РОЧЕСТЕР И КЛОД Э. ШЕННОН**

Мы предлагаем провести двухмесячное исследование искусственного интеллекта, рассчитанное на десять человек, летом 1956 года в Дартмутском колледже в Гановере, штат Нью-Гэмпшир. Исследование должно основываться на предположении о том, что каждый аспект обучения или любые другие свойства интеллекта могут быть описаны настолько точно, что удастся сконструировать машину для его моделирования. Будет предпринята попытка выяснить, как заставить такую машину использовать язык, выделять главные признаки и создавать концепции, решать различные типы задач, свойственных пока только человеку, и самосовершенствоваться. Мы считаем, что можно добиться значительного прогресса в достижении одной или нескольких из этих целей, если тщательно отобранная группа ученых поработает над этим вместе в течение лета.

Взлеты и падения ИИ

Оживление, вызванное ИИ, быстро росло после проведения Дартмутской конференции. Новые идеи, касающиеся логических функций, процесса принятия решений, планируемого поведения и даже моделирования нейронов, наполнили исследователей оптимизмом. Некоторые из них полагали, что проблема машинного перевода будет решена очень скоро благодаря достижениям в таких областях, как теория информации, например, и формулированию правил, описывающих, как слова объединяются в предложения в естественных языках. Другие исследователи концентрировались на изучении того, как работают нейроны, каким образом мозг использует нейронные сети, чтобы обучаться и делать прогнозы. Уолтер Питтс и Уоррен Мак-Каллок разработали одну из первых искусственных нейронных сетей; Марвин Мински сконструировал искусственную нейронную сеть *SNARC*. (см. главу 5). Однако к началу 1960-х годов даже очень опытные и умные исследователи делали слегка нереалистичные прогнозы, учитывая состояние технологий на тот момент.

Теоретически это возможно – построить мозг, который смог бы воспроизводить сам себя на конвейере и осознавать свое собственное

существование.

ФРЭНК РОЗЕНБЛАТТ (1958)

Благодаря такому воодушевлению росло также финансирование, и исследователи лихорадочно работали над проектами машинного перевода и искусственных нейронных сетей. И все же ажиотаж оказался слишком велик. К 1964 году спонсоры в США (Национальный исследовательский совет) начали беспокоиться из-за отсутствия прогресса в области машинного перевода. Консультативный комитет по автоматической обработке текстовой информации изучил проблему. Казалось, исследователи недооценили многозначность слов – тот факт, что их значение зависит от контекста. В результате в 1960-х годах ИИ допускал весьма досадные ошибки. Так, при переводе с английского на русский и обратно «с глаз долой – из сердца вон» превратилось в «слепой идиот».

Уже на нашем веку машины могут превзойти нас по общему уровню интеллектуального развития.

МАРВИН МИНСКИ (1961)

В отчете Консультативный комитет заключил, что машинный перевод хуже человеческого и к тому же значительно дороже. После публикации этого отчета Национальный исследовательский совет, уже потратив к тому моменту 20 миллионов долларов, прекратил финансирование исследований в области машинного перевода в США. Что касается исследования нейросетей, они тоже постепенно сходили на нет, по-

сколькo ученые отчаянно пытались заставить простые нейронные сети делать что-то полезное. Последней каплей стала книга Марвина Мински и Сеймура Пейперта «Перцептроны», опубликованная в 1969 году, в которой были описаны многие ограничения модели простого нейрона. Это положило конец исследованиям нейронных сетей.

Однако вскоре все стало еще хуже. В 1972 году по заказу парламента Великобритании, пытавшегося оценить прогресс исследований в области искусственного интеллекта, математик сэр Джеймс Лайтхилл подготовил отчет. Выводы были неутешительными: «Большинство исследователей, начавших работать в этой области около десяти лет назад, признаются, что тогда они испытывали своего рода наивный оптимизм, который теперь считают неуместным... успехи в создании роботов общих типов не привели к достижению грандиозных целей». Отчет вызвал резонанс по всему миру. Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США сократило финансирование работ, касающихся ИИ, поскольку осознало, что обещанные результаты в такой области, как распознавание речи, не достигаются. В Великобритании финансирование исследований ИИ прекратили во всех университетах кроме трех: Эссекского, Сассекского и Эдинбургского. Идея ИИ и создания интеллектуальных роботов была полностью дискредитирована. Так наступила первая зима ИИ.

Несмотря на нежелательность своей деятельности,

несколько исследователей ИИ продолжали работу в течение следующего десятилетия. Имевшиеся к тому моменту наработки не канули в Лету; многие достижения стали частью массовых компьютерных технологий. В конце концов к 1980-м годам в области исследований ИИ наметился новый прорыв – экспертные системы. Эти новые алгоритмы ИИ включили в себя знания людей – экспертов в различных системах, основанных на правилах, – и могли выполнять такие задачи, как идентификация неизвестных молекул или диагностика заболеваний. Для подобных целей разрабатывались новые языки ИИ, например *Prolog* и *LISP*, а для эффективной работы этих языков проектировались специализированные компьютеры. Вскоре экспертные системы были внедрены во многие отрасли промышленности и бизнес начал процветать. Так исследования ИИ снова получили финансирование.

Мы можем рассчитывать на создание компьютера с потенциалом, соответствующим потенциалу человеческого интеллекта, примерно к 2017 году.

ДЭВИД ВАЛЬЦ, пионер ИИ в области построения логических выводов (1988)

В Японии на создание компьютера пятого поколения выделили 850 миллионов долларов. Целью этого проекта стала разработка суперкомпьютеров, которые могли бы запускать программное обеспечение экспертных систем и выполнять

такие сложные задачи, как поддержание разговоров и интерпретация изображений. К 1985 году на разработку отдельных систем в рамках ИИ было выделено более миллиарда долларов, а Управление перспективных исследовательских проектов потратило 100 миллионов долларов на финансирование 92 проектов в 60 учреждениях. Исследования ИИ возобновились, и вместе с ними вернулся ажиотаж.

Но продолжался очередной взлет недолго. Мощность обычных компьютеров быстро превысила мощность интеллектуальных систем, и компании, занимавшиеся аппаратным оборудованием для ИИ, обанкротились. Затем выяснилось, что экспертные системы крайне сложны в обслуживании и подвержены серьезным ошибкам при неправильном вводе данных. Обещанные возможности ИИ вновь не были реализованы. Промышленность отказалась от этой новой технологии, и финансирование опять прекратилось. Наступила вторая зима ИИ.

Возрождение

И снова, несмотря на то что тема ИИ оказалась не в чести, исследования продолжались. Однако поскольку в 1990-х годах даже сам термин «искусственный интеллект» ассоциировался с неудачей, его часто пытались замаскировать под интеллектуальные системы, машинное обучение, современные эвристические методы.

Достижения продолжались, но они «поглощались» другими технологиями. И вскоре началась тихая революция, принесшая с собой более продвинутую нечеткую логику (см. главу 9), новые, более мощные, типы нейронных сетей, более эффективные оптимизаторы и все более результативные методы машинного обучения. Робототехника тоже начала активно развиваться, особенно с появлением более легких и более емких батарей нового поколения. Облачные компьютеры позволили производить большой объем вычислений без существенных затрат, и каждый день генерировалось так много данных, что у ИИ было множество примеров для обучения. Поначалу медленно, но все смелее и решительнее ИИ и робототехника отвоевывали утраченные позиции. Снова росло всеобщее возбуждение, однако на этот раз его сопровождал страх.

К 2029 году компьютеры будут обладать интеллектом, сопоставимым по уровню с

человеческим.

РЭЙМОНД КУРЦВЕЙЛ, изобретатель и футуролог (2017)

Мы не должны быть уверены в нашей способности постоянно удерживать суперинтеллектуального джина в бутылке.

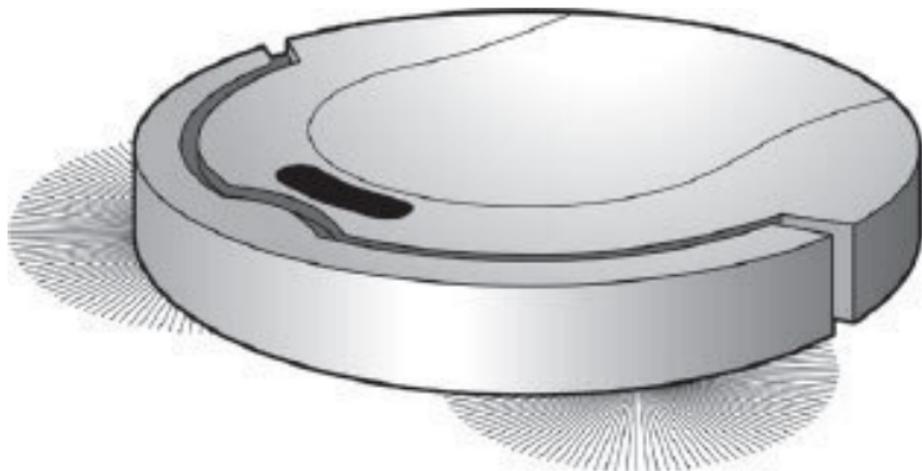
НИК БОСТРОМ, руководитель Института будущего человечества в Оксфорде (2015)

Прошлый, 2019, год стал летом для исследований ИИ: тысячи ИИ-стартапов по всему миру продемонстрировали новые способы применения ИИ. Все крупные технологические компании (*Apple, Microsoft, Google, Amazon, Weibo, Huawei, Samsung, Sony, IBM* – список кажется бесконечным) инвестировали десятки миллиардов долларов в исследования ИИ и робототехники. Впервые продукты на базе ИИ стали доступны широкой публике: домашние станции, распознающие голоса, телефоны, распознающие отпечатки пальцев и лица, камеры, распознающие улыбки, автомобили, в которых автоматизирован ряд водительских задач, роботы-пылесосы. Незримо ИИ помогает нам и еще сотнями различных способов: в медицинских сканерах, выявляющих болезни, в оптимизаторах, составляющих расписание курьеров, в автоматизированных системах контроля качества на фабриках, в системах обнаружения мошенничества, уведомляющих о подозрительных операциях и блокирующих карту, в мультиварках, готовящих идеальный рис. Даже если мы вновь решим не называть ее ИИ в будущем, эта технология слишком

широко распространилась, чтобы исчезнуть.

Большинство руководителей понимают, что искусственному интеллекту под силу изменить почти все аспекты ведения бизнеса. Благодаря этой технологии к 2030 году мировая экономика может вырасти на 15,7 триллиона долларов.

PRICEWATERHOUSECOOPERS² (2019)



За всю историю ИИ никогда еще не было так много ожиданий, исследователей, денег и истерии, связанных с ним, как сейчас. Несмотря на все взлеты и падения его популярности, прогресс в исследованиях ИИ никогда не прекращался. Сегодняшний день – это кульминация тысяч лет усилий, вложенных в одни из самых удивительных технологий, что

² *PricewaterhouseCoopers* – международная сеть компаний, предлагающих услуги в области консалтинга и аудита.

когда-либо были созданы людьми. Если и нужно определять золотой век ИИ, то он, несомненно, сейчас. Потрясающие интеллектуальные технологии не просто помогают нам – они раскрывают самую суть интеллекта и в то же время ставят перед нами важные философские вопросы о том, что мы можем позволить этим технологиям делать. Наше будущее тесно связано с умными устройствами, и мы должны уметь ориентироваться на минном поле рекламной шумихи и неуместных ожиданий, одновременно учась принимать ИИ и роботов в нашу жизнь.

Успешное создание ИИ станет важнейшим событием в истории человечества. К сожалению, оно может оказаться последним, если мы не научимся избегать рисков.

СТИВЕН ХОКИНГ (2014)

Каждая глава этой книги представит вам наиболее необычные изобретения в области ИИ на настоящий момент и расскажет, что они могут значить для нашего будущего. Добро пожаловать в мир искусственного интеллекта и робототехники!

02. Выбор верного пути

*Я никогда не предполагаю. Эта
возмутительная привычка разрушительна для
логики.*

АРТУР КОНАН ДОЙЛ

*Однако часы для интуиционистов,
Когда доказательства еще не будучи моими,
Или правда – некая часть математики,
И ее элемент утверждал: и было так.*

*Он был рожден из
Аксиом-схем, коих я
Не боюсь следствий*

*Одно из понятий начала – глаз. Когда
Это математика вечна.*

Конечно, перед вами не величайшая поэзия в мире, но этот небольшой набор из катрена³, хайку⁴ и двустишия был создан ИИ, который пытался выразить идеи о логике в духе

³ Катрен – четверостишие в составе сонета с законченной мыслью. Метр и расположение рифм не канонизированы, но наиболее частая форма – *abba*.

⁴ Хайку – жанр традиционной японской лирической поэзии. Оригинальное хайку состоит из 17 слогов.

шекспировского сонета⁵, за доли секунды. Читая такие стихи, порой можно обнаружить более глубокий смысл в, казалось бы, несвязанных словах. Каким-то образом ИИ удастся уловить что-то, что заставляет нас задаваться вопросом, передается ли сообщение.

К сожалению, в этом случае смысл отсутствует. Стихи генерировались компьютером в соответствии с набором правил, определяющих структуру каждой поэтической формы. (Например, хайку состоит из трех нерифмованных строк, в свою очередь состоящих из пяти, семи и пяти слогов, а двустишие – из двух строк, которые могут быть как рифмованными, так и нерифмованными). Слова были выбраны случайно из исходного текста (нескольких абзацев, включавших общую информацию о логике, сонет Шекспира и фрагмент из статьи фон Неймана о логике 1927 года). Используя разные исходные тексты и наборы правил, ИИ сможет создавать стихи о чем угодно и в любом стиле, который вы зададите.

⁵ Шекспировский сонет, или сонет с английской рифмовкой, имеет вид *abab cdcd efef gg* (три катрена и заключительное двустишие – так называемый сонетный ключ).

Символический ИИ

При символьной обработке слова рассматриваются как связанные друг с другом в соответствии с определенным набором правил символы. Слова становятся объектами, которыми можно управлять, трансформируя таким же образом, каким мы трансформируем числа в соответствии с правилами математики. Символический ИИ позволяет компьютерам мыслить словами.

Пожалуй, неудивительно, что символический ИИ стал одной из первых и наиболее успешных форм ИИ, поскольку был основан на новых представлениях о логике, развитых несколькими десятилетиями ранее. К началу XX века Бертран Рассел, Курт Гедель и Давид Гильберт достигли пределов математики, пытаясь понять, доказуемо ли абсолютно все, или же действительно существуют некие недоказуемые утверждения, которые, однако, можно выразить математически. Эти исследователи показали, что вся математика может быть сведена к логике.

Мысль была неосязаемой и невыразимой, пока современная формальная логика не стала интерпретировать ее как манипуляцию формальными символами.

АЛЛЕН НЬЮЭЛЛ (1976)

Логика – очень мощный инструмент представления фак-

тов. Все, что выражено логически, должно быть или истинным, или ложным, например: идет дождь – правда; дует ветер – ложь. Логические операции позволяют нам формулировать более сложные идеи: если «идет дождь» – правда, а «дует ветер» – ложь, то «взять зонтик» – правда. Это логическое высказывание также может быть представлено в виде таблицы истинности:

Идет дождь	Дует ветер	Взять зонтик
Ложь	Ложь	Ложь
Правда	Ложь	Правда
Ложь	Правда	Ложь
Правда	Правда	Ложь

Когда мы доказываем что-то в математике, мы показываем, что логические предположения гарантируют вывод. Математика построена на таких доказательствах. Поэтому, если у нас есть утверждения «все люди смертны» и «Сократ – человек», мы можем доказать, что «Сократ смертен».

Предикатная логика, более сложный и широко используемый тип логики, даже допускает превращение обычных предложений в своего рода логические обозначения (также известные как формальные логические высказывания).

Родоначальникам символического ИИ логика представлялась настолько всемогущей, что они считали, будто символическая логика – это все, что нужно для интеллекта.

Это убеждение было основано на идее, что человеческий разум лишь манипулирует символами. Исследователи утверждали, что наши представления об окружающем мире закодированы в мозге в виде символов. Идея стула и подушки может быть заключена в символах «стул» и «подушка» и абстрактных правилах, таких как «подушка может лежать на стуле» и «стул не находится на подушке».

ПАРАДОКС РАССЕЛА В ПРЕДИКАТНОЙ ЛОГИКЕ

Рассмотрим парадокс математика и философа Бертрана Рассела: «В некоей деревне живет брадобрей, который бреет всех жителей деревни, которые не бреются сами, и только их». Это парадокс, поскольку, если человек бреется сам, он не может брить себя в соответствии с правилом. Но если он не бреется сам, то должен брить себя согласно этому же правилу. В виде логического выражения это выглядит так:

$$(\exists x) \left(\text{человек}(x) \wedge (\forall y) \left(\text{человек}(y) \rightarrow (\text{бреет}(x, y) \leftrightarrow \neg \text{бреет}(y, y)) \right) \right)$$

Без паники! Если перевести на обычный язык, получится: «Существует x , являющийся человеком, и множество y , где y – человек, x бреет y тогда и только тогда, когда y не бреет y ». Это полезно, так как этот вид предикатной логики позволяет строить доказательства. В этом случае можно выявить парадокс, спросив:

«Бреет ли бородой сам себя?» Или, в логическом выражении, что получится, если $x = y$? Заменяем x на y , и в результате «бреет (x, x) » и обратное утверждение «¬бреет (x, x) » будут истинными. Другими словами, человек должен брить сам себя и он не может брить сам себя одновременно – это парадокс. (Используя его, Рассел доказал, что математика неполна – то есть в ней невозможно доказать все).

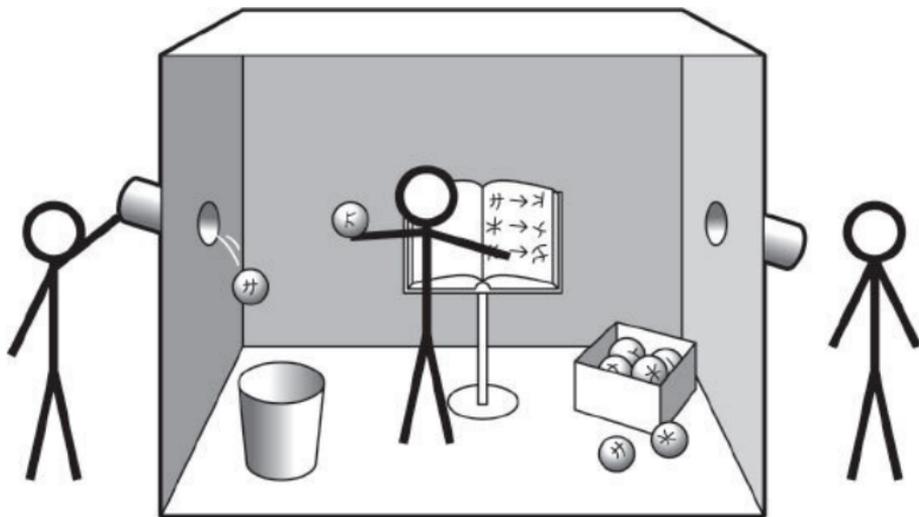
Китайская комната

Однако некоторые философы не соглашались с подобным подходом. Они считали, что манипулирование символами кардинально отличается от действительного понимания их значения. Джон Серл, один из таких философов, тактично возразил оппонентам в форме рассказа о китайской комнате. Суть его в следующем. Человек, не знающий китайский язык, находится в комнате, куда через специальное отверстие ему передают листы бумаги с вопросами, написанными китайскими иероглифами. У человека есть четкая инструкция, в которой говорится, каким образом можно получить ответ на поставленный вопрос. В результате человек находит ответ, записывает его на другой лист и возвращает.

У системы физических символов есть необходимые и достаточные ресурсы для решения общих интеллектуальных задач.

АЛЛЕН НЬЮЭЛЛ И ГЕРБЕРТ САЙМОН (1976)

Казалось бы, человеку в комнате можно задать любой вопрос и получить на него разумный ответ. Но на самом деле в ответе не будет истинного понимания. Человек всегда следует инструкции, используя символы для поиска других символов. Он никогда не понимает ни вопроса, ни ответа, потому как не знает ни одного китайского иероглифа.



Серл утверждал, что именно это и делает ИИ, когда выполняет обработку символов. Он манипулирует ими в соответствии с установленными правилами, но никогда не понимает, что эти символы и правила значат. На вопрос «какого цвета спелый банан?» ИИ, вероятно, сумеет найти ответ и «сказать»: «желтого». Кроме того, он сможет последовать еще ряду правил, чтобы сделать ответ более человечным: «Желтого, конечно. Вы думаете, что я глупый?». ИИ не знает, что означает «желтый». Он не видит связи между символом «желтый» и внешним миром, поскольку не знает, что такое внешний мир, и ИИ никогда не удастся получить какой-либо жизненный опыт. Такой ИИ не обладает интенциональностью – способностью принимать решение на основе собственного понимания. Поэтому Серл утверждал, что

ИИ просто симулирует интеллект. «Формальные символичные манипуляции сами по себе не обладают интенциональностью; они совершенно бессмысленны, – писал он. – Эта интенциональность, которой, как считается, обладают компьютеры, находится исключительно в умах тех, кто эти компьютеры программирует, использует, вводит в них данные и интерпретирует данные на выходе».

Ни одна логика не является достаточно сильной, чтобы поддерживать общую конструкцию человеческого знания.

ЖАН ПИАЖЕ, психолог

Даже если такой ИИ пройдет тест Тьюринга, это не будет иметь значения. ИИ – это механизм, разработанный, чтобы обманывать нас, подобно античным родосским автоматам. ИИ слаб, а создание так называемого сильного ИИ, то есть обладающего реальным интеллектом, может оказаться непосильной задачей.

Логика поиска

Несмотря на критику, идеи символьной обработки привели к значительному успеху. Еще в 1955 году Ньюэлл, Саймон и Шоу разработали первую программу ИИ (даже до того, как был предложен термин «искусственный интеллект»). Они назвали ее «Логический теоретик» и на Дартмутской конференции в 1956 году с гордостью представили другим исследователям. Используя логические операции, программа могла доказывать математические формулы. Чтобы это продемонстрировать, Ньюэлл и Саймон взяли популярную книгу Альфреда Уайтхеда и Бертрانا Рассела «Основания математики» и показали, что программа способна доказать многие из приведенных там формул. Более того, в некоторых случаях «Логический теоретик» предлагал более короткие и элегантные доказательства.

НЬЮЭЛЛ, САЙМОН И ШОУ

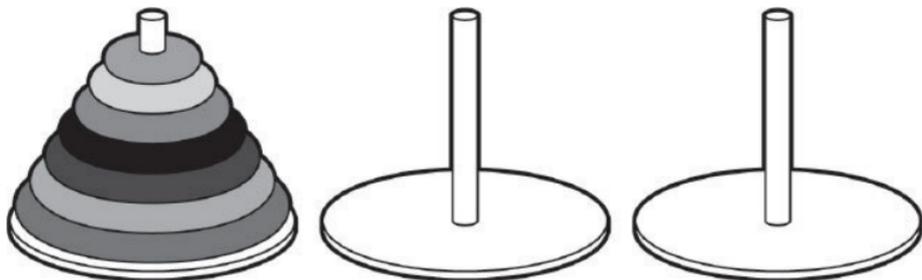
Аллен Ньюэлл, ученый-программист и когнитивный психолог в корпорации *RAND* и Университете Карнеги – Меллона, работал с Саймоном и Шоу над программой «Логический теоретик», и вместе они стали авторами многих фундаментальных изобретений в области ИИ. Ньюэлл также создал концепцию

обработки списков, которая впоследствии превратилась в важный язык ИИ – *LISP*. А программисту Джону Шоу принадлежит идея связанного списка – способа связывания данных, который с тех пор используется в языках программирования во всем мире. Помимо разработки «Универсального решателя задач» Герберт Саймон участвовал также в подготовке программ ИИ для игры в шахматы и оказал заметное влияние на развитие экономики и психологии. Он даже написал одну из первых работ по эмоциональному познанию, которое он описывал как стимулы и потребности, способные возникать параллельно, прерывая и изменяя поведение программы. Ньюэлл и Саймон создали лабораторию ИИ в Университете Карнеги – Меллона и достигли немалых успехов в области символического ИИ в конце 1950 – 1960-х годах.

В 1959 году появилось несколько других версий «Теоретика», одну из которых называли «Универсальный решатель задач». Он смог проводить также логические и физические манипуляции и к тому же обладал очень важной особенностью, благодаря которой так хорошо работал: он отделял знания (символы) от метода, используемого для манипулирования этими знаниями. Манипулирование символами производилось с помощью программного обеспечения, названного «решатель», который использовал поиск, чтобы найти правильное решение.

Представьте, что вы робот и вам нужно переместить пи-

рамидку из дисков разного размера с одного стержня на другой, сохраняя их в порядке уменьшения размера. Эта головоломка, называется «Ханойские башни». Вы можете перемещать лишь по одному диску за раз и брать диск только сверху. Нельзя положить диск большего размера поверх меньшего. И есть всего три стержня. Каким образом нужно перекладывать диски? В рамках каждого хода, учитывая текущее состояние стержней, возможны два или больше перемещений. Какой же диск выбрать? На какой стержень его перенести? После того как вы перенесете диск, у вас появится больше доступных ходов, и после очередного принятого решения их количество будет расти. Игра подобна дереву возможностей, каждая ветвь которого ведет вас к решению, если вы сделали верный ход. Но как с таким множеством вариантов выбрать правильный?



Решение – это поиск. ИИ представляет, что, делая выбор за выбором, он движется по дереву возможностей вниз и выносит суждение: в этот момент, если бы я сделал такой ход, я

бы стал ближе к решению? Рассмотрев достаточное количество комбинаций вариантов, ему удастся найти правильный путь, а значит, теперь можно принять следующее решение – я положу этот диск туда. После этого ИИ находит новое дерево возможностей, на один шаг дальше, и ищет следующий ход.

Поиск в сочетании с символическим представлением знаний стал стандартным подходом в ИИ. Независимо от того, ищет ли ИИ способ, как выиграть партию в шахматы или го, пытается доказать формулу или планирует маршрут, позволяющий роботу избежать препятствия на пути, он, вероятно, ищет среди тысяч, миллионов, а возможно, и триллионов вариантов. Размер пространства поиска быстро стал ключевым ограничивающим фактором в основанном на поиске символическом ИИ, поэтому было разработано много умных алгоритмов для удаления маловероятных областей «деревьев» или деления большой проблемы на более мелкие задачи. В меньшем пространстве и вариантов для поиска тоже меньше.

Все, что дает нам новые знания, дает нам возможность быть более рациональными.

ГЕРБЕРТ САЙМОН (2000)

Но размер пространства (его комбинаторика) все же оставался проблемой. По иронии судьбы выяснилось, что программы вроде «Универсального решателя задач» непригодны для решения общих задач – пространство возможностей оказывалось слишком большим, что делало поиск невозмож-

ным в обозримом временном промежутке. Хотя эти программы могли справиться с проблемой вроде головоломки «Ханойские башни», они пасовали перед сложностями реального мира. Как оказалось, большего успеха можно достичь, если каждый ИИ сосредоточить на определенной задаче. Создайте набор правил о соответствии медицинских симптомов и различных заболеваний. Тогда компьютер сможет задать ряд вопросов, например «вы чувствуете боль?», «это острая боль или тупая?», «где локализуется боль?» и так далее, которые выявят симптомы, и в результате предложить одну или несколько версий вероятных заболеваний.

Подобные версии ИИ известны как экспертные системы, и на какое-то время они стали чрезвычайно популярны (возможно, даже слишком, как вы поняли по предыдущей главе). Хотя у крупных экспертных систем есть проблемы с техническим обслуживанием, они продолжают использоваться в медицине для диагностики, системах поддержки для автомобильных инженеров, системах обнаружения мошенничества и интерактивных сценариях для продавцов.

Хранение знаний

Многие идеи символического ИИ связаны с тем, как лучше всего представлять и использовать информацию. Правила и структурированные фреймы (формы представления знаний) слились с объектно ориентированными языками программирования, и сегодня существует множество способов хранения знаний: например, вкладывание, при котором родительский объект «дерево» содержит дочерние элементы «дуб» и «береза», или передача сообщений, при которой объект «продавец» может отправить аргумент «скидка 10 %», чтобы вызвать действие с объектом «цена». Были созданы языки для представления всех знаний, иногда называемые онтологическими, со своими сложными структурами и правилами. Все они основаны на логике и могут быть объединены с автоматизированными системами формирования рассуждений, для того чтобы логически выводить новые факты, которые затем могут быть добавлены к их знаниям, или проверять соответствие существующих фактов.

Например, ИИ узнал, что «велосипед» – это вид «транспорта с педальным приводом», имеющий «два колеса». Если «тандем» – это вид «транспорта с педальным приводом», который тоже имеет «два колеса», то ИИ легко может вывести новый факт: «тандем – это разновидность велосипеда». Но другой вид «транспорта с педальным приводом», имею-

щий «ноль колес», не соответствует этому правилу, поэтому ИИ придет к выводу, что «катамаран» не является «велосипедом».

С развитием интернета компилировать обширный набор фактов становится все проще и проще. И одно из основных направлений при разработке общего искусственного интеллекта – это объединение достаточного объема знаний, чтобы ИИ мог начать помогать нам во многих областях. Сус – один из таких проектов, который в течение нескольких десятилетий собирал факты и взаимосвязи, формируя гигантскую базу.

Уильям Тунсталл-Педо развил эту идею. Он создал *True Knowledge* («Подлинное знание») – программу, сформировавшую обширную сеть знаний, предоставляемых пользователями интернета. Она насчитывает более 300 миллионов фактов. В 2010 году Тунсталл-Педо решил, поскольку ИИ уже знает так много, задать ему вопрос, на который не сможет ответить ни один человек: «Нам пришло в голову, что, имея дело с более чем 300 миллионами фактов, большой процент которых связывает события, людей и места с определенными точками во времени, мы сможем вычислить объективный ответ на вопрос “Какой день в истории был самым скучным?”».

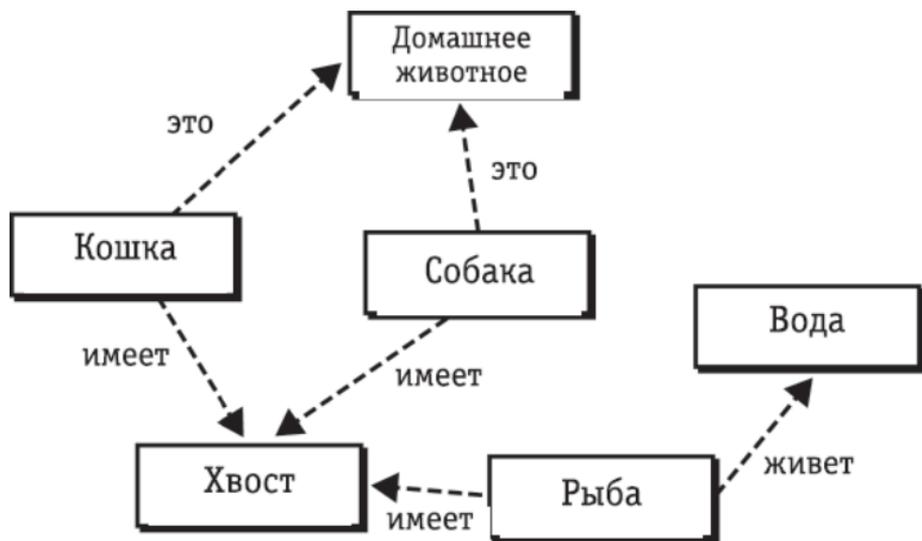
Программа *True Knowledge* изучила все дни, о которых знала с начала XX века, и пришла к выводу, что ответ – 11 апреля 1954 года. В этот день, согласно ИИ, состоялись все-

общие выборы в Бельгии, родился турецкий академик Абдулла Аталар и умер футболист Джек Шаффлботэм. Подобных событий оказалось меньше по сравнению со всеми другими днями, поэтому ИИ решил, что это самый скучный день. *True Knowledge* в конечном итоге стала *Evi* – ИИ, которому вы можете задать вопросы или просто предложить поговорить. В 2012 году *Evi* приобрела компания *Amazon* и превратила ее в *Amazon Echo* – известный домашний говорящий ИИ.

Символический ИИ развивается вместе с интернетом. В то время как ИИ, такие как *Сус* и *Evi*, полагались на тысячи пользователей, предоставлявших сведения вручную, сэр Тим Бернерс-Ли, создатель Всемирной паутины, давно высказал идею, что *WWW (World Wide Web)* должна стать *GGG (Giant Global Graph)* – гигантским глобальным графом⁶ данных. То есть помимо того, что веб-сайты стоит делать удобными для пользователей, на них также необходимо хранить данные в форме, понятной компьютерам. Сайты традиционно создавались как документы с текстом, изображениями и видео или как программы со сценариями, которые запускаются при заполнении форм и нажатии кнопок. В мечтах же Бернерса-Ли внутри каждой веб-страницы данные поименованы и имеют уникальные идентификаторы. В семантической паутине веб-сайты становятся базами данных сведений,

⁶ Граф – структура данных, состоящая из множества вершин и ребер, соединяющих их.

где каждый элемент является самостоятельным объектом, который может быть найден независимо и имеет четкую текстовую метку или тип. Если вся WWW станет GGG, то наши ИИ смогут искать знания всего мира, рассуждать о них и делать выводы.



Эта великая мечта о символическом ИИ, к сожалению, не была принята большинством веб-разработчиков – они продолжают размещать огромные объемы данных в интернете в форме, которую ИИ с трудом распознает. Но такая необходимость становится насущной. Было подсчитано, что в 2019 году 80 % новых данных оказались неструктурированными, то есть не были представлены в такой форме, которую могут

понять компьютеры, – это текстовые документы, изображения и видео. (Подумайте обо всех электронных письмах и отчетах, которые вы пишете в виде «свободного текста», не разбивая его на разделы. Или о фотографиях и видео, что вы снимаете на телефон, – вы не просматриваете и не обозначаете каждую сцену или элемент в кадре.) В то же время объем данных растет с каждым годом. В 2019 году число пользователей интернета составило 4,4 миллиарда, что на 80 % больше чем пятью годами ранее, и ежедневно отправлялось 293 миллиарда электронных писем. Каждую секунду в *Google* создавалось 40 000 поисковых запросов и публиковалось 7 800 твитов. Все больше и больше компаний использовали интернет в качестве части своего бизнеса и генерировали огромные объемы данных. В 2016 году в день собиралось 44 миллиарда гигабайт данных. Подсчитано, что к 2025 году в день мы будем генерировать 463 миллиарда гигабайт.

У меня есть мечта...⁷ Машины смогут анализировать все данные в сети... сегодняшние механизмы торговли, бюрократии и повседневной жизни будут управляться машинами, разговаривающими с машинами, оставив людям вдохновение и интуицию.

ТИМ БЕРНЕРС-ЛИ (2000)

⁷ Отсылка к наиболее известной речи Мартина Лютера Кинга *I have a dream* («У меня есть мечта»).

У нас больше нет выбора: ни один человек не сможет осмыслить эти ошеломляющие объемы данных. Наша единственная надежда – использовать ИИ в качестве помощника. К счастью, об этом речь пойдет в следующих главах, другие формы ИИ теперь способны обрабатывать неструктурированные и немаркированные данные и помечать их особыми метками, давая символическим ИИ то, что им необходимо, чтобы оперировать такими данными. В конце концов, пожалуй, не имеет значения, будет ли это истинный интеллект (сильный ИИ) или своего рода притворный (слабый ИИ). Обработка символьных сетей в соответствии с правилами позволяет нашим компьютерам осмысливать обширную вселенную данных. Так что, возможно, мечта Бернерса-Ли однажды все же станет реальностью.

03. Мы все падаем

Вы учитесь ходить не следуя правилам. Вы учитесь пробуя и падая.

РИЧАРД БРЭНСОН

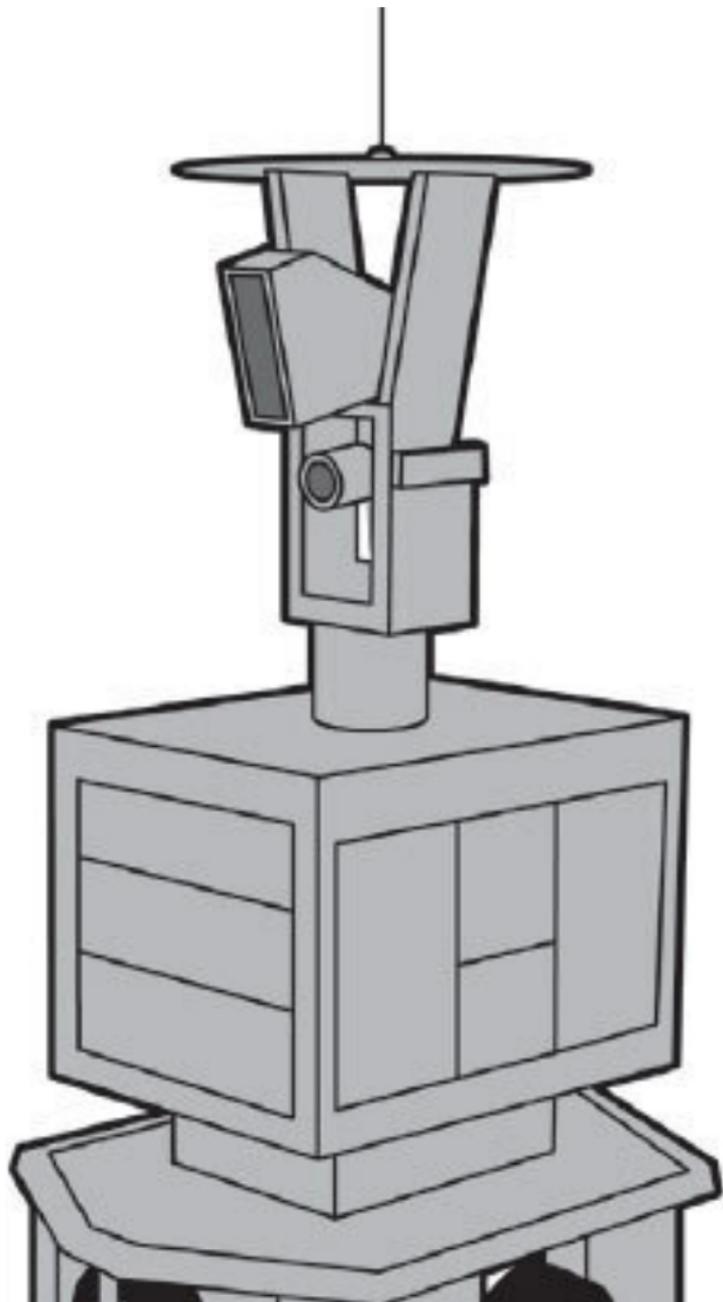
Мы видим зернистые кадры из фильма. Странный робот, похожий на неустойчивый фотокопировальный аппарат на колесах, с камерой вместо головы, кружит вокруг пространства, занятого большими цветными кубиками и другими простыми фигурами. Слышны мягкие джазовые интонации песни *Take Five* в исполнении квартета Дейва Брубeka. Повествование начинается с пронзительного писка на заднем плане.

В *SRI* мы экспериментируем с мобильным роботом. Мы зовем его Шейки. Наша цель – наделить Шейки некоторыми способностями, связанными с интеллектом, например планировать и обучаться. Хотя задачи, которые мы ставим перед Шейки, кажутся довольно простыми, программы, необходимые для планирования и координации его действий, сложны. Основная цель нашего исследования – научиться разрабатывать такие программы, чтобы роботы помогали нам решать самые разные задачи: от освоения космоса до автоматизации производства.

Таким было состояние робототехники в 1972 году. Шей-

ки (чей мозг создавался на основе большого компьютера) мог использовать камеру, чтобы распознавать простые объекты вокруг себя, строить модель своего примитивного мира и планировать, куда идти и что делать, а также прогнозировать, как его действия будут менять эту его внутреннюю модель. Шейки не был очень быстрым или очень умным, но он представлял собой революцию в исследованиях ИИ. Впервые ИИ позволил роботу ориентироваться и выполнять действия (хотя и в очень дружелюбной среде).

Это стало отличным началом, но сложности по-прежнему оставались. Планирование и принятие решений требовали большого количества вычислительных мощностей, поэтому – вспомним также об ограниченности обзора тогдашних систем – Шейки и роботы, подобные ему, были медлительны, ненадежны и не могли работать в условиях реального мира. Этот способ создания разумных роботов считался общепринятым, но исследователи понимали, что добиваться прогресса становится все труднее. Так возникло желание внести немного беспорядка в логичный и понятный подход к робототехнике. И это привело к разделению исследователей на два лагеря: «чистюль» и «грязнуль».



РОБОТЫ В ШЕСТИДЕСЯТЫХ

Конструкция роботов сложна. Достаточно непросто заставить их двигаться, но проблемы, связанные с контролем и восприятием окружающего мира, – это та область, где необходима помощь ИИ. В 1960 году, когда полностью работоспособного ИИ еще не существовало, роботы выглядели достаточно пугающе. Разработанный компанией *General Electric* между 1965 и 1971 годом *Hardiman* был одним из таких роботов. Задуманный в качестве экзоскелета для человека (вдохновившего создание экзоскелета-погрузчика, который носила героиня фильма «Чужие» Эллиен Рипли), костюм мог совершать лишь резкие неконтролируемые движения, и разработчики так и не смогли заставить его выполнять работу не только одной рукой. *Beast* («Зверь») Джона Хопкинса, усложненная версия робота *Elsie* Грея Уолтера, управлявшаяся несколькими транзисторами, что позволяло ему случайным образом бродить по залам Университета Джона Хопкинса и подключаться к розеткам для подзарядки, стал более успешным. *Walking Truck*

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.