

Если же расчленение исходной фигуры на элементы соответствует пятому способу, приведенному на рисунке, то описание структуризации сводится к следующему: $(e_1r_2e_2)$, $(e_2r_1e_1)$. Здесь через e_1 и e_2 обозначены I-образные конструкции из брусьев, отношение r_2 — это уже встречавшееся нам отношение «быть слева», а отношение r_1 — отношение «примыкать справа».

Сколько их еще? Мы рассмотрели три метапроцедуры: целенаправленный поиск в лабиринте возможностей, построение нового лабиринта возможностей и структуризацию. Ясно, что в распоряжении человека имеются и другие метапроцедуры. С некоторыми из них встречались в предшествующей главе этой книги. Такова, например метапроцедура построения решающих правил для узнавания. Метапроцедурой является и таблица управления универсальной машины Тьюринга, функционирование которой «не привязано» к какой-либо реальной алгоритмической процедуре.

К сожалению, психология долгое время не обращала внимания на важную роль, которую играют метапроцедуры во всей интеллектуальной деятельности человека. Ведь только благодаря им человек способен при решении новой для него задачи выполнять стандартные действия, позволяющие ему осмыслить суть задачи и найти пути ее решения. И задачей ближайшего будущего в изучении творческой деятельности человека должно стать изучение метапроцедур и их роли в интеллектуальной деятельности.

Сегодня мы еще не знаем конечного набора метапроцедур, хотя уверенность в существовании универсального для человеческой продуктивной деятельности конечного набора метапроцедур довольно велика. Познакомимся в заключение с двумя метапроцедурами, играющими немаловажную роль при создании систем искусственного интеллекта.

Первая из них — это *декомпозиция задачи, на подзадачи*. Она используется тогда, когда исходная задача такова, что человек не имеет готовой процедуры для ее решения. В этом случае он может попробовать свести эту сложную задачу к решению набора взаимосвязанных подзадач. При этом решение каждой из подзадач ему известно. Поясним это на простом примере. Судьба забросила вас в незнакомый город. Вы здесь никого не знаете. Но вы голодные и должны решить

возникшую перед вами задачу: утолить голод. И хотя вы не знаете окружающей вас ситуации, вы все-таки намечаете план действий, потому что вы знаете возможные пути достижения поставленной перед вами цели. Вы знаете, что поест можно в ресторане, кафе или столовой. Можно перекусить и в закусочной. Можно, на худой конец, купить в магазине молоко, хлеб и поест на улице. Вы знаете и многие другие возможности утолить голод.

Если говорить формально, то вы знаете, как глобальную задачу «найти пищу» можно свести к частным подзадачам. Выбрав на основании каких-то своих предпочтений в качестве такой подзадачи «пообедать в ресторане», вы еще не можете получить решение. Ибо город вам незнаком. Надо прежде всего выяснить, есть ли в нем хотя бы один ресторан, и узнать его местонахождение и способ добраться до него. Это означает, что подзадача «пообедать в ресторане» распадается на три подзадачи: «выяснить существование ресторана и, если их существует несколько, то выбрать один из них», «узнать местонахождение ресторана», «добраться до него». Первую из этих новых задач можно решить, используя план города, на котором указаны места общественного питания. Если плана под рукой нет, то можно выдвинуть подзадачу «узнать, где продают план города», «добраться до этого места», «купить план».

Такую декомпозицию исходной задачи на подзадачи можно продолжать до того уровня, когда они будут сведены к процедурам, выполнение которых уже не вызовет у вас новых вопросов, а будет осуществляться автоматически. Можно считать, что производится не декомпозиция задачи на подзадачи, а глобальная цель (утолить голод) последовательно декомпозируется в *дерево подцелей*. Эти два процесса декомпозиции неразрывно связаны между собой.

Приведем другой пример. В «Приключениях Тома Сойера» Марка Твена есть такой эпизод. Том Сойер и его друг Гек Финн решают найти клад. Но как это сделать? Как достичь этой глобальной цели? Между приятелями происходит следующий диалог:

— *«Где же мы будем копать?» — спросил Гек.*

— *«О, повсюду, в разных местах!»*

— *«Разве клады зарыты повсюду?»*

— Конечно, нет, Гек. Их зарывают порой на каком-нибудь острове, порой в гнилом сундуке, под самым концом какой-нибудь ветки старого, засохшего дерева, как раз в том месте, куда тень от нее падает в полночь; но все же чаще их закапывают в подполе домов, где водятся привидения...

— Как же ты узнаешь приметы?

— Мне и не нужно примет. Клады всегда закапываются под таким домом, где водится нечистая сила, или на острове, или под сухим деревом, у которого одна какая-нибудь ветка длиннее всех прочих...

— И под каждым деревом клад?

— Ишь чего захотел! Конечно, нет!

— Так как же ты узнаешь, под каким копать?

— Будем копать под всеми!

В этом разговоре двух юных кладоискателей хорошо прослеживается декомпозиция цели на подцели, хотя и не доведенная до результативного уровня детализации.

Метапроцедура декомпозиции дает в результате некоторый сценарий достижения глобальной цели. В этом сценарии описаны различные альтернативные пути достижения глобальной цели. Такие сценарии человек хранит в своей памяти, в своей модели внешнего мира для многих часто встречающихся в его жизненной практике задач. В последние годы, начиная с работ американского исследователя Р. Шейка, ведется исследование по созданию формальной теории сценариев.

Еще одной метапроцедурой, присущей интеллектуальной деятельности человека, является *формирование закономерностей на основе наблюдений*. Важность этой метапроцедуры очевидна. Без нее было бы невозможно познавать окружающий мир, выявлять то общее, что могло бы быть впоследствии положено в основу сценариев, исходных аксиом логических систем, способов формирования лабиринта и для многого другого. Частным случаем рассматриваемой метапроцедуры является формирование индуктивных заключений. Джон Милль предположил в конце прошлого века четыре процедуры формирования индуктивных заключений:

1. Процедура выявления сходства двух объектов. Суть ее заключается в следующем. Пусть мы наблюдаем за каким-то процессом и выделяем в нем некоторые элементы, наличие или отсутствие кото-

рых фиксируем. Пусть при трех наблюдениях процесса мы зафиксировали наличие следующих элементов: (a, b, c, d) , (a, b, d, e) , (a, d, e) . Что можно сказать на основании этих наблюдений? Сравнивая их между собой, можно выдвинуть гипотезу о связи между собой элементов a и d . Ведь они встретились во всех трех случаях, а остальные элементы меняются от наблюдения к наблюдению. Как вывод из этих наблюдений следует, что a и d сходны между собой. Возможно, что между ними имеется причинное отношение. Так, например, связаны между собой дым и запах гари, огонь и повышение температуры воздуха в этом месте и многое другое.

2. Процедура выявления различия двух объектов. Пусть мы имеем наблюдения; (a, b, c, d) , (b, c) , (e, f) , (a, c, e, d) . Анализ их позволяет сделать вывод о том, что элементы a и d , как и в предшествующем случае, связаны между собой, ибо отсутствие одного из них связано с отсутствием другого. Однако, в отличие от предшествующего случая, эта связь может быть односторонней. Так, возможно, что среди наблюдаемых ситуаций могут встретиться и ситуации вида (b, h, d) или (c, e, h, d) . Элемент a связан с элементом d каузальной связью типа «причина — следствие». Но у элемента d могут быть и другие причины для появления. В нашем примере причинной появления элемента d может быть не только элемент a , но и элемент h .

3. Процедура выявления остатка. Имеем наблюдения: (a, b, c, d, e, f) , (b, e) , (c, f) . Они заставляют нас предположить, что элементы b и e , а также элементы c и f как-то связаны между собой. Тогда можно сделать индуктивное заключение о том, что элементы a и d также находятся между собой в некоторой каузальной связи.

4. Процедура соответствующих изменений. Пусть до наблюдения нам известно, что элементы a' и a'' принадлежат некоторому классу элементов A . Пусть a есть произвольный элемент этого класса. И пусть нам также известно, что элементы d' и d'' принадлежат некоторому классу D и d означает произвольный элемент этого класса. Имеем наблюдения: (a', b, d') , (a'', c, d'') . Индуктивный вывод состоит в том, что классы A и D имеют каузальную связь. Например, наблюдая за работой гардеробщика, выдающего паль-

то, мы устанавливаем каузальное отношение между номерками и верхней одеждой. Зная, что конкретные номерки объединяются в класс номерков, а конкретные пальто, дубленки и плащи — в класс верхней одежды, мы можем заключить, что любой элемент из класса номерков и любой элемент из класса верхней одежды, который образован всеми своими представителями, находящимися на весалке, связаны между собой каузальным отношением.

С конкретными процедурами, предложенными Джоном Миллем, можно соглашаться или не соглашаться. Это не принципиально. Принципиально же утверждение о наличии метапроцедуры, объединяющей в себе все приемы подобного типа.

3.2. Модели мира

Языки представления знаний. Ясно, что никакая система не может существовать в сложном окружающем мире, если специфика этого мира, его закономерности и структурная организация не отражены как-то в конструкции самой системы или в ее памяти. Автоматы М. Л. Цетлина и его последователей целесообразно вели себя в довольно сложных средах потому, что в их конструкции были учтены особенности тех сред, в которых они «жили». Столь же конструктивно приспособленными для выполнения, своих «жизненных» функций были и автоматы, образующие клеточное пространство у фон Неймана. Рабочая поверхность кулачка конструктивно соответствует рабочей поверхности штока, который перемещается под влиянием профиля кулачка нужным образом. Но вряд ли можно предсмотреть в конструкции системы сколько-нибудь богатый и сложный мир, в котором функционируют живые организмы. Здесь надо искать другие пути.

Самолет сделал стремительный короткий разбег и стал круто набирать высоту. Летчик-испытатель внимательно следит за показаниями приборов. Пока все в порядке. Но вот, еле ощутили, по телу самолета прошло какое-то дрожание. Колебания становятся все ощутимее. Крылья начинают вибрировать со все возрастающей амплитудой. И металл не выдерживает. Катастрофа! Это флаттер - грозное явление, вставшее несколько десятилетий тому назад на пути развития ско-

ростной авиации. Удалось создать математическую модель процесса флаттера. Она представляла собой дифференциальное уравнение, решения которого объяснили суть катастрофы самолета.

Вы сняли телефонную трубку и начали разговор. По малоприятное дребезжание сопровождает весь разговор. Звуки как бы вибрируют. Это колеблется мембрана в телефонной трубке, и ее колебания накладываются на слова говорящих. Явление не слишком приятное. Специалисты в области телефонной связи изучили процесс, приводящий к подобным колебаниям мембраны, и создали математическую модель процесса. Они сумели описать нежелательные колебания мембраны с помощью дифференциального уравнения. Самое поразительное, что это уравнение полностью совпадает с уравнением, описывающим явление флаттера.

Два столь непохожих внешне друг на друга физических процесса с точки зрения математики оказались идентичными. Это свойство математических моделей не случайно. Фактически вся сила математики, вся ее универсальность в том и состоит, что математические модели в силу их высокого уровня абстрактности описывают явления действительности на уровне целых классов явлений. Мы уже говорили об этой стороне математики, когда обсуждали содержание такого математического понятия, как алгоритм. Свойство массовости, присущее ему, как раз и связано с этой общностью моделей математики. Это позволяет математику иметь иллюзию того, что он может оперировать лишь математическими знаниями, не обращаясь к той реалии, которой соответствуют математические модели. Знания, заключенные в подобных моделях, обычно называют *синтаксическими*, а сами модели такого типа — *синтаксическими моделями*. В этих названиях подчеркивается, что в знаниях, заключенных в них, семантика реальных объектов и процессов доведена до такого уровня формализации, что индивидуальные особенности тех или иных реалий заменены абстрактными сущностями.

Однако далеко не всегда удается при моделировании действительности дойти до столь высокого уровня формализации. Тогда модель останется на *семантическом уровне*, на котором те или иные особенности реальных объектов и процессов будут иметь индивидуальный характер.

Поясим это на следующем примере. Пусть мы разрабатываем систему автоматического управления движением поездов метрополитена. На основании изучения имеющейся системы управления и действий человека — машиниста мы можем написать формальную схему алгоритма управления движением поезда (возможность этого не надо доказывать, такие алгоритмы действительно созданы, и в Москве проведены первые испытания движения поездов метро, при которых работу машиниста выполняет автомат). После этого можно создать техническое устройство, конструкция которого позволяет этот алгоритм реализовать. Когда и это будет сделано, то подобное устройство может быть поставлено на любой поезд и будет действовать успешно. Происходит это потому, что объекты управления (поезда метро) типизированы (одинаковы).

Но попробуйте провести подобные же действия при создании системы оперативного диспетчерского управления каким-либо производством на современном заводе, например, управления в кузнечно-прессовом цехе. Очень быстро наступит момент, когда возможность создания типовой процедуры для такого управления станет сомнительной. А потом станет ясна и неразрешимость такой задачи. Ибо не бывает типовых с точки зрения управления кузнечно-прессовых производств. Даже на одинаковых по профилю предприятиях, даже в родственных цехах одного предприятия индивидуальные различия в объекте управления не позволяют создавать модели управления ими без учета этих специфических, индивидуальных, семантических знаний.

Это означает, что модели объектов подобной природы не могут быть строго математическими. Формализация знаний об их структуре и функционировании не может быть доведена до уровня синтаксической модели.

Если же нас интересуют технические системы, действия которых имитируют интеллектуальную деятельность человека, протекающую в сложном динамическом мире, то тем более нет никаких надежд на достижение уровня синтаксических моделей, в которых аккумуляровались бы все необходимые для функционирования интеллектуальной системы знания о внешнем мире. Следствием этого является укorenившееся среди специалистов в области искусственного интеллекта убеждение, которое хорошо выразил ведущий американский

ученый в этой области М. Минский. В одной из своих работ он писал:

«Центральной проблемой при создании интеллектуальных роботов, способных заменить человека во многих сферах его жизнедеятельности, является проблема предоставления знаний об окружающем робота мире и его действиях в нем. Именно эта проблема ставит пока перед исследователями недолимую преграду на пути к практическому осуществлению их смелых проектов».

Как читатель уже понял из сказанного, знания должны быть описаны на некотором языке. Другими словами, должны существовать специальные языки предоставления знаний о внешнем мире и действиях в нем. Поскольку мы в дальнейшем будем много говорить о подобных языках, то будем называть их сокращенно ЯПЗ.

Каково должно быть устройство ЯПЗ? Обратимся к человеческой практике. Каковы те языковые системы, с помощью которых люди формируют знания о мире и своем поведении в нем? Наблюдения показывают, что такой язык не один. Во-первых, функцию ЯПЗ выполняет обычный естественный язык (как мы увидим дальше, это не единственная его функция). Тексты на естественном языке могут содержать необходимые знания и хранить эти знания в печатных изданиях или записях. Но кроме естественного языка в роли ЯПЗ выступают и другие языковые системы. Например, язык технических чертежей, позволяющий хранить знания о различных механизмах, строительных конструкциях или предметах быта. Рисунок и живопись также служат для хранения знаний о внешнем мире. Макет и копия материального предмета также хранят знания о нем. Но, пожалуй, естественный язык является наиболее мощной известной нам системой хранения знаний о внешнем мире, текущей ситуации или наших действий в этом мире.

Какими же средствами он располагает для этого? Посмотрим на средства языка с этой точки зрения. Первым классом функциональных элементов в естественном языке являются обозначения единичных объектов, явлений и процессов, а также средства для обозначения классов таких элементов. Такие, например, сочетания слов и отдельные слова, как «дом № 28 по улице Усневича в городе Москве», «город Москва», «город»

демонстрирует эту возможность в отношении объектов, а «встреча русских полководцев в Филях в 1812 году», «встреча окончивших школу № 211 города Ленинграда» или «встреча» демонстрируют такие же возможности в отношении некоторых ситуаций.

Вторым классом функциональных элементов языка являются отношения. О них уже шла речь, когда мы говорили о структуризации. С помощью языковых средств можно выразить все необходимые основные и производные отношения между объектами, явлениями и процессами. Примером этого могут служить фразы типа «Дом находится зади от Петра» или «Мальчик идет в лес». В первом случае имеет место отношение «быть зади», устанавливаемое между объектами «дом» и «Петр». Во втором случае фраза фиксирует отношение «двигаться к» между объектами «мальчик» и «лес».

Прямая аналогия между тем, что мы говорили о метапроцедуре структуризации, и тем, что мы говорим сейчас, показывает, что структуризация тесно связана с построением модели знаний о внешнем мире. И тройки вида (a_i, r_j, a_k) , где a_i и a_k — символы, соответствующие тем единицам языка, которые описывают объекты внешнего мира, а также явления и процессы в нем, а r_j есть символ отношения между ними, могут служить тем исходными «кирпичиками», из которых можно построить ЯПЗ, входящий в структуру естественного языка.

Конечно, кроме элементов вида a_i или r_j в состав этого ЯПЗ войдут и другие классы элементов. Примерами этих иных элементов могут служить: императивы («делай», «передвинь», «переместись»), состояния («аварийное», «начальное», «целоевое»), оценки («хорошо», «полезно», «опасно»), модификаторы («маленький», «острый»), квантификаторы («сильно», «часто», «глубоко», «давно»), модальности («возможно», «необходимо»). Каждый из этих классов играет свою роль в ЯПЗ. Но поскольку основную роль в таких языках играют отношения, то ЯПЗ, построенные по принципу выделения структур из текстов на естественных языках, обычно называют *реляционными, языками* (от английского *relation* — отношение). Реляционные языки обладают большой выразительной силой и позволяют описывать весьма сложные факты, явления и процессы, протекающие во внешнем мире. Приведем пример.

Повесть «Пьеретта» Оноре де Бальзака начинается со сцены, когда юноша по имени Бриго стоит на маленькой площади в нижней части города Провена, в котором живет Пьеретта, девушка, с именем которой связаны для него волнующие воспоминания. Бриго неторопливо осматривается кругом и видит следующее:

«Дама вдоль площади ... представляли собой два ряда незамысловатых строений... Площадь одним концом своим почти соприкасалась с главной улицей нижегородского города, а вторым — упиралась в другую, параллельную ей улицу, сады которой спускались к одной из двух рек, орошающих долину Провена».

Переведем это описание на язык ЯПЗ, построенный по принципу реляционных языков. Пояснения вводимых элементов ЯПЗ будут даваться по ходу изложения.

Пусть a означает «площадь Провена», а b_1, b_2, \dots, b_n — «дома, стоящие вдоль площади». Значение n является неопределенным, так как в тексте ничего не сообщается относительно количества домов, которые видит Бриго. Введем также символ c , означающий («строение», и модификатор m , со значением «незамысловатый»). Начнем теперь описывать то, что видел когда-то Бриго, стоя на площади в Провене. Рассмотрим запись

$(ar_1i_1) (ar_1i_2) (ar_1i_3) (ar_1i_4)$.

В ней r_1 означает отношение «иметь сторону с названием» (на самом деле это отношение есть композиция двух базовых отношений «быть стороной» и «иметь название», но мы для наглядности примера не будем стремиться к использованию лишь базовых отношений). Чтобы не усложнять индексацию элементов и отношений, мы снова используем индексы, начиная с единицы. Поэтому использованная в предшествующих примерах индексация элементов и отношений читателем должна быть забыта. Символы i_1, i_2, i_3, i_4 суть названия сторон площади. В реальном Провене эти стороны могли иметь свои названия, как это бывало в старинных средневековых городках. Однако Бальзак не сообщает нам эти названия, и они остаются для нас столь же неопределенными, как и число домов, стоящих по сторонам площади. Таким образом, приведенная нами запись на ЯПЗ означает, что площадь Провена имеет четыре стороны с присвоенными им названиями. Отметим также тот факт, что отсутствие разделителей меж-

ду скобками означает наличие между нами операции конъюнкции (мы договорились опускать знак этой операции, когда описывали исчисление высказываний).

Рассмотрим теперь следующую запись:

$$(b_1r_2i_2)(b_1r_3(m_1c))(b_2r_2i_2)(b_2r_3(m_1c)) \dots (b_kr_2i_2)(b_kr_3(m_1c)) \\ (b_{k+1}r_2i_4)(b_{k+1}r_3(m_1c)) \dots (b_nr_2i_4)(b_nr_3(m_1c)).$$

Она состоит из записей двух типов. В записях первого типа отношение r_2 имеет смысл «находиться». Поэтому записи этого типа, которые стоят на нечетных местах текста на ЯПЗ, имеют тот смысл, что соответствующие дома находятся на сторонах площади с названиями i_2 и i_4 . Так как из текста повести Бальзака не следует, сколько именно домов находилось на одной стороне площади, а сколько на противоположной, то значение индекса k является неопределенным. В записях второго типа используется отношение r_3 , трактуемое как «быть». Эти записи означают, что все дома, находящиеся на площади, принадлежат к «незамысловатым строениям».

Два приведенных нами фрагмента описания того, что видел Бриго, соответствуют первому предложению из описания. Правда, из нашего описания ниоткуда не следует, что дома по сторонам площади стояли рядами (в тексте это специально отмечено). Поэтому введем еще запись вида.

$$(b_1r_4b_2)(b_2r_4b_3) \dots (b_{k-1}r_4b_k)(b_{k+1}r_4b_{k+2}) \dots (b_{n-1}r_4b_n),$$

в которой отношение r_4 имеет смысл «быть слева». Тогда упорядоченность домов по сторонам площади будет обеспечена.

Пусть d и h соответственно означают «улица» и «город». Модификаторы m_2 и m_3 — «главная» и «нижний», а квантификатор k_1 — «почти». Отношение r_5 трактуется как «примыкать». Тогда запись

$$(i_1(k_1r_5) (m_2d)r_3(m_3h))$$

соответствует фразе «Площадь одним концом своим почти соприкасалась с главной улицей нижнего города». Читатель должен обратить внимание на то, что в последней записи нет конъюнкции между скобками, так как это просто сложно организованная структура, в которой одни скобочные выражения стоят внутри других. Расшифровывать их надо «изнутри», начиная с самых

глубоких вложений. Все выражение целиком есть трехчленная обычная конструкция, в которой на левом месте стоит i_1 , а в середине — k_1r_5 , а все остальное занимает правое место в этой конструкции.

Теперь нам осталось записать последнюю информацию, содержащуюся в том отрывке, который мы заимствовали из «Пьеретты». Введем отношение r_6 — «быть параллельным», модификатор m_4 — «другой», f — «сады», тернарное отношение r_7 — «быть между», g — «речка», модификатор m_5 — «одна из двух», e — «долина» и, наконец, отношение r_8 — «орошать» (также весьма сложное отношение, сводящееся к композиции отношений «совершать действие» и «действие — название»). Теперь рассмотрим запись на ЯПЗ:

$$(i_3r_5(m_4d))((m_4d)r_6(m_2d))(fr_2(m_4d))(fr_7\{m_4d, m_5g\}) \\ ((m_5g)r_8e)(hr_2e).$$

Первая скобка в этой конъюнктивной записи говорит о том, что площадь стороной i_3 упирается в «другую улицу». Вторая скобка устанавливает факт параллельности этой «другой улицы» главной улице города. Третья скобка указывает, что на «другой улице» были сады. В четвертой скобке впервые встречаются фигурные скобки. Они связаны с тем, что отношение r_7 не бинарное, а тернарное. Смысл этой части записи состоит в том, что сады располагаются между «другой улицей» и «одной из двух, речек». Оставшиеся две скобки содержат информацию о том, что «одна из двух речек» орошает долину и что город находится в этой долине.

Какие выводы можно сделать из рассмотренного примера? Прежде всего этот пример показывает, что реляционные ЯПЗ могут быть использованы для отображения довольно богатой ситуации в памяти технических устройств. Возникает уверенность, что подобные ЯПЗ могут действительно описывать знания, по крайней мере определенные типы знаний. Во-вторых, видно, что реляционные ЯПЗ дают достаточно громоздкие записи по сравнению с текстом на естественном языке. Причина этого очевидна. Тексты на естественном языке рассчитаны на восприятие их людьми. Поэтому они не содержат большого количества информации, которая подразумевается человеком, воспринимающим текст. Ведь у человека уже есть в сознании модель мира. Текст должен лишь возбудить в ней те минимальные

знания, на основании которых человек воспринимает все содержание текста. Техническое же устройство априорно ничего не знает об окружающем мире, кроме того, что ему сообщается в текстах. Лишь интерпретация символов ЯПЗ заложена в память системы заранее. Поэтому так подробно и требуется объяснять искусственной системе многие «само собой разумеющиеся» факты (например, пояснить, что площадь имеет четыре стороны, что в средневековых городах дома всегда стоят в один ряд плотно друг к другу и многое другое, что человек «и так знает»).

Ниже мы остановимся на проблеме выводимости новых знаний из неполных текстов. Пока же отметим, что даже при наличии таких процедур в технической системе описания на реляционных ЯПЗ все-таки остаются громоздкими.

Наряду с реляционными ЯПЗ исследовались и другие языки. В частности, делались попытки использовать в качестве ЯПЗ язык исчисления предикатов. При описании, знаний о небольших проблемных областях (например, всех знаний, относящихся к игре в шашки, или всех знаний, относящихся к диспетчерскому управлению энергосистемой) такой ЯПЗ оказывается весьма удобным. Предикаты играют в нем роль отношений. Если классическое исчисление предикатов пополнить модификаторами и квантификаторами, то язык исчисления предикатов еще более приблизится к реляционному языку. Достоинством предикатных языков и вообще языков логического типа является наличие процедур, позволяющих осуществлять в этих языках логический вывод, т. е. получать формальным путем одни знания из других. К этой их особенности мы еще вернемся. Но выразительные возможности логических языков гораздо меньше, чем языков реляционного типа. Это означает, что описание знаний на этих языках еще более громоздко, чем на реляционных ЯПЗ. Поэтому они не нашли применения в системах, которые должны функционировать в сложной внешней среде и выполнять в ней разнообразные программы действий.

В последние годы внимание специалистов, работающих в области интеллектуальных систем, привлекает еще один класс ЯПЗ.

Процедуральные и декларативные представления. Знания об окружающем мире могут храниться в памя-

ти человека или в памяти технической системы в двух видах: *процедуральном* и *декларативном*. Процедуральные представления хранят сведения о процедурах, выполнение которых приносит пользу при решении определенной задачи. Они могут храниться в виде некоторых алгоритмических процедур, записанных на алгоритмических языках. Но могут храниться и в другом виде. Например, в виде сценариев, о которых мы говорили при описании метапроцедуры декомпозиции задач и целей.

Декларативные представления хранят сведения о фактах, явлениях, закономерностях. Эти знания могут быть записаны, например, на реляционном языке.

В начальный период развития и использования ЭВМ процедуральные представления были единственными, которые использовались при решении задач. Программы для ЭВМ были хранителями этих знаний. Декларативные знания играли подчиненную роль. Они описывали данные, с которыми работали программы. Однако ясно, что у человека в модели окружающего мира и его деятельности в нем оба вида представлений используются весьма активно. Поэтому специалистов в области систем искусственного интеллекта очень занимает проблема построения единого подхода к представлению знаний обоих типов.

Одним из перспективных подходов к этому является создание *языков фреймового типа*. Слово «*фрейм*» ввел в употребление уже упоминавшийся нами М. Минский. Это английское слово может быть переведено на русский язык как рамка, окопный переплет, внутренний скелет и т. п. В общем, фрейм это то, на чем держится вся более сложная конструкция. Мы не будем переводить этот устоявшийся в науке термин на русский язык. Суть его будет понятна из примеров, к описанию которых мы и переходим.

Начнем с текста из газеты:

«Вчера, около семи часов вечера в районе площади Тургенева в доме № 5 возник пожар. Как было установлено, пожар возник из-за неисправности электропроводки. В квартире, расположенной на втором этаже, оставался дома один ребенок пяти лет. Дверь квартиры родители, уходя, заперли. Огонь отрезал путь по лестнице на второй этаж, и жизнь ребенка висела на волоске. Еще до прибытия пожарников один из слу-

чайных прохожих (как выяснилось, это был студент строительного института В. Малявин), рискуя жизнью, взобрался по уже охваченной огнем наружной стене дома до окна квартиры, где находился ребенок, и благополучно спустился с ним вниз. В. Малявин, получивший несерьезные ожоги, был отправлен в больницу, где ему была оказана необходимая помощь. В настоящее время он вполне здоров).

Если поставить вопрос «Как называлась заметка?», то, по-видимому, большинство; не задумываясь, дадут ответ типа «Смелый поступок», «Героический поступок», «Самоотверженный поступок» и т. п. Почему это происходит? Вероятно, потому, что в нашем сознании имеется некоторое типовое описание поступков с такими названиями. Попробуем начать сокращать текст газетной заметки, но так, чтобы указанные заголовки все еще подходили бы к ней. Начальная ее часть легко сокращается до фразы «Был пожар». Последующая часть может быть заменена текстом «В квартире на втором этаже остался ребенок. Он не мог выйти из квартиры». Далее: «В. Малявин взобрался по уже охваченной огнем наружной стене до окна квартиры и спас ребёнка». Эта выжимка из начального текста все еще сохраняет то, что позволяет озаглавить ее так же, как исходный текст. Можно ли еще сократить текст? Можно ли, например, убрать из него то, что наружная стена дома была уже охвачена огнем? По-видимому, если это сделать, то название «Героический поступок» вряд ли будет уместным, хотя названия «Смелый поступок» и «Самоотверженный поступок» с некоторой натяжкой можно еще использовать. А если «убрать из текста» В. Малявина и заменить его пожарным, который прибыл на место пожара? Тогда вряд ли сохранятся и эти заголовки, ибо пожарный просто выполнял свою обычную работу.

Итак, факт пожара, факт опасности для жизни беспомощного ребенка, факт добровольности действий спасителя и факт угрожавшей ему при этих действиях опасности составляют суть того поступка, который мог бы быть назван смелым, героическим или самоотверженным. Эти факты составляют то минимальное описание, которое должно содержаться в описании ситуации, которую мы можем классифицировать словами: смелый поступок, героический поступок, самоотвержен-

ный поступок. Слова эти в значительной степени синонимичны. Мы не будем пока уточнять их индивидуальный смысл. Мы это сделаем позже. Сейчас же для нас важно то, что мы вычленили тот «скелет», ту «опорную рамку», другими словами, тот фрейм, на котором «держится» все описание.

В истолковании М. Минского фрейм и определялся, как то минимальное описание, которое еще сохраняет сущность описываемого явления, и такое, что всякое его дальнейшее сокращение приводит к потере этой сущности. Для нашего примера это минимальное описание могло бы выглядеть так: «Пожар. X добровольно, рискуя жизнью, спасает Y ». А если отвлечься от ситуации пожара, то фрейм смелого поступка можно было бы задать следующим образом: «Жизнь Y в опасности. X добровольно, рискуя жизнью, проявляет действия по спасению Y ». Такое выхолощенное описание и будет фреймом понятия «смелый поступок» *).

Рассмотрим еще один пример. В конце двадцатых годов советский литературовед В. Пропп опубликовал удивительную книгу, которая называлась «Морфология сказки». В ней он впервые в литературоведческой практике довел до формального уровня анализ сюжетных ходов в литературном произведении. Он сумел вычленить основные функции действующих лиц и обстоятельств в сказочных сюжетах. Для каждой такой функции В. Пропп написал фрейм, позволяющий вычленять ее из текста сказки. Эта пионерская работа была не понята современниками и забыта почти на тридцать лет. И только после появления ЭВМ, программирования и развитого интереса к формализации творческих процессов снова, возник интерес к работе ленинградского исследователя. Книга была переиздана в нашей стране и вышла в переводах на многие европейские языки. Она мгновенно стала научным бестселлером. Идея дождалась своего времени.

Если функции, введенные В. Проппом, описать так, как это принято сейчас в ЯПЗ фреймового типа, то, например, функции «Похищение» и «Вредительство» будут иметь следующие описания: « X с помощью M переносит в место Z персонаж или предмет Y »; « X со-

*) Ниже мы дадим более точное описание фреймов поступков и уточним там понятия поступка и нормативного поведения.

вершает похищение Y , или порчу M , или членовредительство W , или уничтожение Z , или околдование V , или заточение N ». Отметим своеобразную вложенность описаний. Во втором описании используется функция «Похищение», которая сама структурно описывается. Можно дать немного другое описание, из которого более ясно можно увидеть принцип описания. Например, описание функции «Похищение» можно представить в следующей форме: ПОХИЩЕНИЕ: (<КТО> <КАК> <КОГО ИЛИ ЧЕГО> <ОТКУДА> <КУДА> <ЗАЧЕМ>). В угловых скобках написаны слова, на место которых надо подставлять конкретные элементы из соответствующих множеств (например, для замены слова <КТО> можно использовать элементы множества, содержащего такие персонажи, как Кашей Бессмертный, Змей Семиголовый, Злой Колдун и т. п.).

Фреймовые описания в данном примере несколько отличаются от фреймов — минимальных описаний. Такие фреймы принято называть *ролевыми*. Они указывают роли, которые должны быть заполнены конкретными представителями при описании конкретных случаев (в наших примерах — при описании конкретных случаев похищения и вредительства). Отметим, что ролевые фреймы описывают некоторые процессы, т. е. процедуральные представления. А фреймы — минимальные описания дают возможность описывать декларативные представления. Поэтому во фреймовых языках, где оба типа фреймов прекрасно сосуществуют и на самом деле описываются единообразным способом, оказывается возможным совместить описание представлений обоих типов. Именно поэтому специалисты, работающие над созданием интеллектуальных систем, возлагают особые надежды на то, что именно фреймовые языки станут основой для построения моделей мира.

Логика мира. Уже говорилось, что модели внешнего мира не состоят из отдельных фактов и описаний, сваленных в бесформенную кучу в памяти системы. Все эти сведения связаны между собой в структуру. Мы хорошо видели это при анализе реляционных описаний. Во фреймовых описаниях структуризация образуется за счет того, что одни фреймы входят в качестве элементов в другие фреймы, как это было в случае фреймов, описывающих функции В. Проппа «Похищение» и «Вредительство». Но кроме этой структуриза-

ции в модели мира должна работать и некоторая логика этого мира, отражающая закономерности и связи, присущие ему.

Обсуждая силлогистику Аристотеля, мы уже говорили, что во времена Фрэнсиса Бэкона логика использовалась для согласования мнений человека с его чувственным опытом, с фактами окружающего его мира. Естественным развитием этой идеи явилось создание специальных логик, описывающих явления этого внешнего мира. Их можно назвать *псевдофизическими*. Приставка «псевдо» отражает тот факт, что эти логики описывают не абсолютные процессы во внешнем мире, а то, как эти процессы воспринимаются человеком.

Существует большое количество псевдофизических логик. Это — логики времени и пространства, логики действий, каузальные логики, описывающие причинно-следственные отношения во внешнем мире, логики оценок и норм, отражающие поведение человека во внешнем мире, и многие другие логики, далеко ушедшие от классических исчислений высказываний и предикатов.

Мы, конечно, лишены возможности хотя бы в краткой форме описать все эти логики. Да это и не нужно. В каком-то смысле все они построены по единым принципам. Поэтому мы выберем для иллюстрации этих принципов технически наиболее просто устроенную временную логику.

Рассмотрим множество событий $e_1, e_2, \dots, e_n, \dots$, которое не обязано быть конечным. Каждое событие будет характеризоваться своей длительностью, выраженной в некоторых единицах времени (например, в минутах). Однако могут встречаться и такие события, которые происходят мгновенно. Они как бы не имеют длительности. Это связано с тем, что их длительность меньше минимальной длительности, учитываемой в логике событий. Так, например, не различаются результаты бегунов на стометровку, если отличия во времени пробега становятся меньше одной сотой секунды. Кроме того, допускаются и такие события, длительность которых нам точно неизвестна.

Рассмотрим теперь множество временных шкал, на которые будут проецироваться события e_i . Логика времени, как и почти все остальные псевдофизические логики, будет логикой шкалированной. События на шка-

лах будут определенным образом упорядочены по времени. Шкалы бывают трех типов: абсолютные, относительные и размытые.

Абсолютные шкалы имеют метки, соответствующие принятым системам отсчета времени. Такова, например, шкала годов, отсчитываемых от условной даты Рождества Христова. Такова шкала мусульманского летоисчисления, в котором за основу отсчета принят год хиджры. Таковы и другие абсолютные шкалы времени. Единицами измерений на этих шкалах могут быть солнечные и лунные годы, сутки, часы, минуты и вообще любые мыслимые временные интервалы. Между всеми

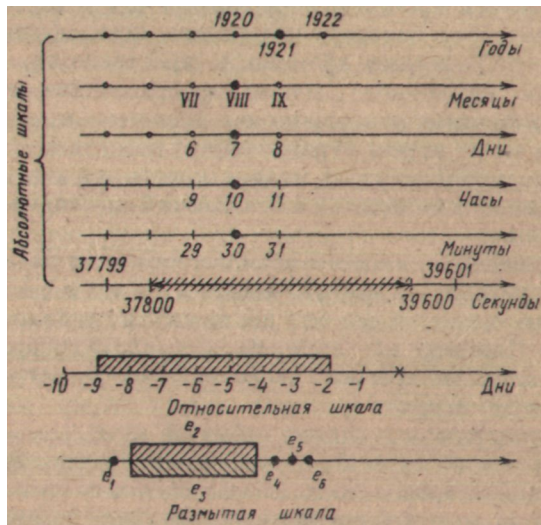


рис. 12.

абсолютными шкалами можно установить определенное соответствие и переносить со шкалы на шкалу те или иные события. На рис. 12 показано, как на различных абсолютных шкалах отражается один и тот же факт — смерть Александра Блока (он скончался 7 августа 1921 года в 10 часов 30 минут). Из рисунка видно, что на различных шкалах событие может иметь различную длительность в единицах шкалы, а на некоторых шкалах может превращаться в интервальное событие.

Относительные шкалы времени связаны со специальной точкой начального отсчета, называемой «точ-

кон говорения». Эта точка на нашем рисунке отмечена крестиком. На шкале зафиксировано событие, соответствующее высказыванию «Два дня тому назад закончилось это тяжелое дело, тянувшееся целую неделю». Существует не единственная относительная шкала, а целое множество их, отличающихся между собой масштабами временных единиц. Если точку говорения можно совместить с какой-нибудь отметкой на абсолютной шкале, то все события на относительных шкалах привяжутся к абсолютной шкале времени.

Размытые шкалы устроены сложнее. Они не являются метрическими, как шкалы предшествующих типов. На них не отложены какие-либо временные единицы (часы, сутки, годы и т. п.). Эти шкалы устанавливаются лишь частичный порядок в реализации событий. Типичными примерами слов, используемых для установления этого порядка в естественном языке, могут служить: давно, вскоре, через несколько мгновений и т. п. Пусть, например, мы имеем следующий текст: «Он встал и прошелся по комнате. Пока он шел, Анисья сидела молча. Но, когда он снова опустился на табурет, Анисья подняла голову и сказала ему...». Если для событий использовать обозначения e_1 — «он встал», e_2 — «прошелся по комнате», e_3 — «Анисья сидит молча», e_4 — «он опустился на табурет», e_5 — «Анисья подняла голову», e_6 — «Анисья сказала ему...», то описанные в тексте события отобразятся на размытой шкале так, как показано на нижней части рисунка.

Сделаем некоторые замечания. Длительности событий e_1 , e_4 , e_5 и, возможно, e_6 можно считать мгновенными, а длительности событий e_2 и e_3 , хотя нам и не известны, но явно не мгновенны. Поэтому на рисунке эти длительности показаны произвольно.

Таким образом, размытые шкалы позволяют отображать в модели мира временные структуры даже тех событий, относительно которых нам известно весьма мало. И, пожалуй, единственное, что не находит отражения на шкалах нашей системы, это сказочное время, традиционными формулами которого являются выражения типа «долго ли коротко» или «скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается», а также тексты, подобные тому, который привел Н. В. Гоголь в «Записках сумасшедшего»: «Числа не помню. Месяца тоже не было. Было чорт знает, что такое». Эта абсолют-

ная размытость не отражается во временной логике даже на размытых шкалах.

Всякий иной текст на естественном языке дает возможность представить его структуру в виде упорядоченных на шкалах событий. Возьмем для примера следующий текст*):

«В тот вечер все виделось мне, как во сне, чему немало способствовала усталость. Шагая в таком настроении, я не особенно заинтересовался девушкой, что стояла на той стороне улицы. Но потом я отметил странность ее поведения. Стоя на краю тротуара, она словно в реку бросала цветы. Я остановился, разглядывая ее. Это была Джулиан. Из рук ее на мостовую летели не цветы, а клочки бумаги. Я приблизился к ней. „А, Брэдли, здравствуй... Теперь я с тобой распрощаюсь; мне надо заглянуть в магазин“».

При анализе такого текста во временной логике сначала необходимо разбить его на блоки, каждый из которых, имеет временную фиксацию. Потом надо установить отношения между этими блоками и выделить указание на маркеры начала и конца действий, связанных с блоками. В приведенном тексте можно выделить пять таких блоков (конечно, выделение блоков не является однозначной операцией). Первый блок заканчивается после второй фразы текста. Второй блок также состоит из двух фраз. Третий блок содержит три фразы. А два оставшихся блока включают в себя по одной фразе. Все блоки упорядочены на некоторой размытой шкале. Однако если перейти к событиям, составляющим содержание этих блоков, то линейность их расположения на шкале исчезает. События как бы «налезают» друг на друга. А величина их совмещения во времени нам из текста неизвестна. В качестве задачи, которая всегда возникает в этот момент перед системой искусственного интеллекта, читатель может построить временную структуру отношений между событиями, описанными в тексте нашего примера.

Перейдем к изложению собственно временной логики. Эта логика базируется на основных отношениях, которые существуют между событиями во времени. На рис. 13 показаны семь основных отношений, которые могут существовать между событиями, расположенными

ми на размытых шкалах. На метрических шкалах (абсолютной и относительной) к ним прибавляются такие отношения: «событие e имеет длительность l единиц», «начало события e совпадает с отметкой t », «начало события e находится от точки говорения слева на расстоянии m » и «начало события e находится от точки говорения справа на расстоянии m ». Это множество отношений исчерпывает все базовые отношения, необходимые для описания временной структуры совокупности событий, содержащихся в некотором тексте.

Правила вывода временной логики, с помощью которых происходит восстановление всех фактов, отсутствующих в явной форме в тексте сообщения, довольно разнообразны. Приведем их примеры, опираясь на

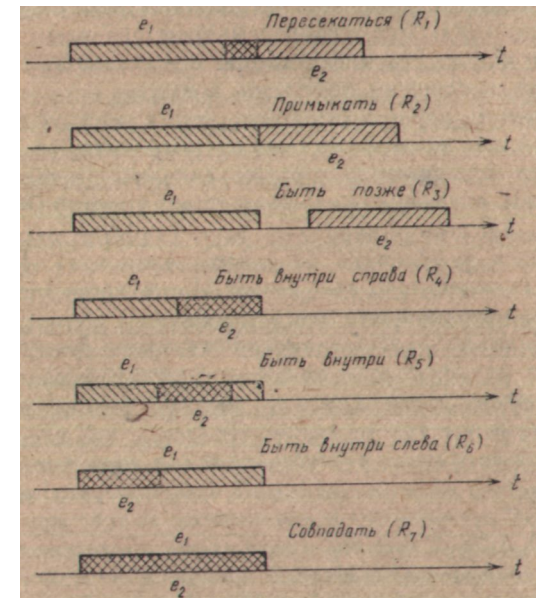


Рис. 13.

обозначения и интерпретацию отношений, приведенные на рис. 13.

В качестве первого примера рассмотрим правило вывода вида $(e_1 R_4 e_2) \Rightarrow (e_1 R_1 e_2)$. Его смысл очевиден. Если некоторые два события на временной шкале расположены так, что событие e_2 лежит «внутри события e_1 », то события e_1 и e_2 пересекаются во времени меж-

*) Айрис М э р д о к. Черный принц.

ду собой. Вторым примером может служить правило вывода $(e_1 R_2 e_2) \Rightarrow (e_2 R_2 e_1)$, отражающее симметричность отношения R_2 . Подобные правила вывода могут использоваться и при наличии квантификаторов времени. Если, например, k_1 есть квантификатор «давно», то очевидна справедливость вывода $(k_1 e_1)(e_1 R_3 e_2) \Rightarrow k_1 e_2$. Здесь в левой части правила вывода между скобками подразумевается операция конъюнкции. Примером более сложного правила вывода является правило вида $(k_2 e_1)(k_1 e_2)(e_1 R_6 e_2) \Rightarrow k_2 e_2$, в котором квантификатор k_2 трактуется как «очень давно». В отношении справедливости этого правила вывода мнения людей могут и не совпадать. Но это неизбежно, ибо люди придерживаются неодинаковых точек зрения, когда они рассуждают о событиях, опираясь на закономерности окружающего их мира. Правила рассмотренного нами типа помогают пополнить информацию о временной структуре событий, о которых идет речь в тексте.

Конечно, даже в такой «простой» псевдофизической логике, как временная, трудно отразить те многочисленные ассоциации, которые связаны у человека со временем и словами, отражающими временные соотношения, например передать всю глубину ассоциаций, связанных у человека со словом «некогда». И только таким художникам, как Томас Манн, доступно ассоциативное истолкование этого термина:

«„Некогда“ — слово неограниченное, двуликое; оно смотрит назад, далеко назад, в торжественно смеркающиеся дали, и оно смотрит вперед, далеко вперед, в дали, не менее торжественные в силу того, что они будут, чем те, другие, торжественные в силу того, что они были... Кто не чтит „некогда“ будущего, тот недостойн „некогда“ прошлого и к нынешнему дню относится тоже неверно... да и как же иначе, если он рассказывал ей мир, а девиз мира именно „некогда“ — и повествовательское, и пророческое?» («Иосиф и его братья»).

Задача временной логики куда проще. Но и для этой «простой» логики при ее использовании в искусственных системах нужно еще решить немало сложных задач, среди которых: разбиение текста сообщения на блоки, выделение событий в блоках, установление отношений между событиями, истолкование размытых квантификаторов. И поэтому до сих пор специалисты в области псевдофизических логик все еще не уверены,

что созданные ими варианты временной логики полностью решают для искусственных систем все проблемы, связанные с оценкой времени и рассуждениями о нем.

Другие псевдофизические логики еще сложнее. Всем им присущи некоторые особенности, не имеющие места в классических логических системах. Отметим некоторые из этих особенностей.

Обычные логики существуют как бы вне времени, вне ситуаций, в рамках которых происходят выводы. Выводы в классических исчислениях «вечны». Если некоторое утверждение выводится из заданной системы аксиом, то, будучи выведенным, оно всегда таковым остается, и это не зависит ни от предыстории вывода, ни от того, что будет выведено потом. Псевдофизические логики этим свойством не обладают, в чем проявляется их новая особенность. Эти логики *ситуативны*. Принятие тех или иных выводов привязано к текущей ситуации и определяется ею. Поясним это на простом примере, связанном с поведением робота в реальном мире.

Пусть в памяти робота имеется логическая система, соответствующая пространственной логике и логике действий*). С помощью правил этой системы робот, находясь в некоторой ситуации и наблюдая с помощью имеющихся у него рецепторов за окружающим миром, может, например, убедиться, что в данной ситуации он может вывести два утверждения: «Можно двигаться вперед на расстояние 200 метров, так как по пути движения препятствий для этого нет» и «Можно повернуть манипулятор против направления движения часовой стрелки на девяносто градусов, так как нет препятствий, которые манипулятор может задеть». Оба факта выведены роботом в той ситуации, в которой он оценивал окружающую обстановку. В обычной классической логике выводимость этих фактов была бы абсолютна. В частности, можно было бы считать, что выведена и их конъюнкция. Другими словами, что выведен факт: «Можно двигаться вперед на расстояние 200 метров и можно поворачивать манипулятор против направления движения часовой стрелки на девяносто градусов, так как нет препятствий для совершения этих действий». Но в псевдофизических логиках такой-

*) Такие системы уже существуют. Укажем, например, на известную американскую систему СПРИС или систему, разработанную в Вычислительном центре АН СССР,

вывод мог бы привести к поломке манипулятора, например, о дерево, стоящее в пятидесяти метрах впереди робота по маршруту его предполагающегося движения. Это объясняется тем, что как только робот начинает двигаться, ситуация начинает меняться и выводимость тех или иных фактов также меняется.

Многие выводы вообще не могут быть сделаны, если неясна ситуация, в которой происходили действия. Рассмотрим следующий наглядный пример: «Козел забрел в огород, где рисовал Джек. Козел опрокинул краски на себя. Когда мать Джека увидела козла, она спросила сына: „Джек, это ты сделал?“». Как понять в этом тексте слово «это»? К чему оно относится? Мы легко устанавливаем тот факт, что мать спросила Джека, не он ли выкрасил козла. Но в искусственной системе необходимо суметь создать средства, которые позволят ей придти к такому же выводу.

Вообще, проблемы *лексического вывода*, или вывода по тексту, написанному на естественном языке, это вторая особенность псевдофизических логик. Ведь в самом простом языковом сообщении содержится, как правило, весьма богатая информация, которую необходимо из него логически извлечь. Пусть, например, в систему вводится факт «Иван отдал Петру зонтик» и общается, что это высказывание является истинным. Тогда, по логике нашего восприятия мира и рассуждений о нем, система должна вывести дополнительно следующие утверждения: «Существует человек по имени Иван», «Существует человек по имени Петр», «Существует предмет, называемый зонтиком», «Был момент времени t , лежащий левее точки говорения, когда Иван имел зонтик», «Был момент времени t' такой, что $t'R_3t$ и t' лежит левее точки говорения, в который осуществлялось действие передачи предмета от Ивана к Петру», «Был момент времени $t''R_3t'$, когда Петр обладал зонтиком, и, возможно, что и сейчас зонтик находится у него». Так много информации мы получаем из короткого сообщения о передаче Иваном зонтика Петру.

Третьей особенностью псевдофизических логик является использование в них размытых квантификаторов. Во временной логике — это уже встречавшиеся нам квантификаторы «давно» и «очень давно», а также «вскоре», «через некоторое время» и т. п. В пространственной логике примерами таких квантификато-

ров служат «далеко» и «очень близко». В частотной логике — «редко», «часто», «почти никогда». В других псевдофизических логиках — это «много» и «мало», «сильно» и «слабо» и многие другие квантификаторы, столь привычные для человека. Кроме квантификаторов такого типа, существуют еще размытые модификаторы (например, «светлый», «теплый» и многие другие), модальности и целый ряд других, же трудно формализуемых в логиках элементов.

Тем не менее поиск в области псевдофизических логик продолжается.

«Слоенный пирог». Наши знания о мире не лежат на одном уровне. Одни из них отражают единичные факты, другие обладают определенной степенью общности. Мы уже говорили о том, что в основе наших знаний о мире лежат системы классификации, позволяющие нам воспринимать мир не в виде хаотического нагромождения событий и фактов, а как структуризованный, упорядоченный по степени общности мир. Как бы мы ни вычленяли объекты в окружающем нас мире, как бы ни объединяли эти объекты в классы, мы всегда исходим из прагматической ценности организации наших знаний, и именно поэтому логически правильные классификаторы, но не имеющие ясно выраженной прагматической ценности, о которых мы говорили в связи с решением проблемы узнавания, характеризуют «неправильное человеческое мышление».

По мнению крупнейшего советского психолога и нейрофизиолога А. Р. Лурии, классификации, которыми пользуются люди в повседневной практике, бывают двух типов: *категориальные* и *ситуативные*. В классификациях первого типа элементы объединяются в родо-видовые классы, например «орудия труда», «мебель» и т. п. В первый класс будут включены молоток и пила, лопата и грабли и многое другое. Во второй класс войдут стул и шкаф, этажерка и комод, а также все те вещи, которые человек склонен относить к мебели. Другими примерами категориальных классификаций могут служить классы, образованные по общности некоторых признаков, присущих всем предметам данного класса. Программа узнавания М. М. Бонгарда, о которой мы говорили ранее, осуществляет именно такую категориальную классификацию. Так образуются, например, понятия типа «красные предметы» или

«блондины». При ситуативной классификации в один класс объединяются элементы, встречающиеся в типовых ситуациях. Примером ситуативного класса может служить класс, в котором объединены стол, скатерть, тарелка, вилка, нож, хлеб и перец. Буденовка, шашка и барабан, о которых шла речь при обсуждении узнавания, также образуют ситуативный класс.

Категориальные классификации являются порождением логики, вербального (словесного) мышления. Ситуативные классификации, опираются на наглядный опыт человека, на его наблюдения за реальностью. Следовательно, при формировании модели мира должны существовать по крайней мере два класса метапроцедур обобщения знаний: *категориальные процедуры* и *ситуативные процедуры*. Примером категориальной процедуры обобщения может служить уже упоминавшаяся процедура узнавания М. М. Бонгарда. Поэтому приведем здесь пример только одной из возможных ситуативных процедур.

Пусть имеется описание некоторой реальной наблюдаемой ситуации с помощью реляционного ЯПЗ. Пусть a есть понятие «автомобиль», а i_1, i_2, \dots, i_{40} суть различные, но конкретные государственные номерные знаки для автомобилей. Пусть модификатор m определяет некоторую фиксированную марку автомобиля (например, m означает ВАЗ 2103). Пусть, далее, b означает понятие «улица», j —«Садовое кольцо», c —«город», p — «Москва». Рассмотрим запись вида

$$[[((ma)r_{1i_1})r_2((br_{4j})r_3(cr_{4p}))][((ma)r_{1i_2})r_2((br_{4j})r_3(cr_{4p}))]] \dots$$

$$\dots [((ma)r_{1i_{40}})r_2((br_{4j})r_3(cr_{4p}))].$$

Эта запись весьма однородна. Все ее части, выделенные квадратными скобками, одинаковы и отличаются лишь индексами при i . Поэтому объясним смысл только первой части записи, заключенной в квадратные скобки. Отношение r_1 есть отношение «иметь». Запись в круглых скобках слева от отношения r_2 имеет такой смысл: «Автомобиль марки ВАЗ 2103 имеет государственный номерной знак i_1 ». Справа от r_2 стоят скобки, смысл записи в которых определяется отношениями r_3 и r_4 . Первое из них—«находиться», а второе — «называться». Поэтому вся запись в этих скобках означает, что «Улица Садовое кольцо находится в городе Москве». Наконец, отношение r_3 есть отношение «двигать-

ся по». И смысл записи в первых квадратных скобках состоит в фиксации того факта, что по Садовому кольцу в городе Москве движется автомобиль марки ВАЗ 2103 с определенным государственным номерным знаком. И таких автомобилей ровно 40.

Рассмотрим еще одну запись, относящуюся к той же наблюдаемой нами ситуации:

$$[[((ma)r_{1i_1})r_5((ma)r_{1i_2})][((ma)r_{1i_1})r_6((ma)r_{1i_2})]]$$

$$[[((ma)r_{1i_2})r_5((ma)r_{1i_3})][((ma)r_{1i_2})r_6((ma)r_{1i_3})]] \dots$$

$$\dots [((ma)r_{1i_{39}})r_5((ma)r_{1i_{40}})[((ma)r_{1i_{39}})r_6((ma)r_{1i_{40}})].$$

Эта запись также весьма однородна. В ней повторяются пары квадратных скобок, отличающиеся только используемыми индексами при i . Смысл отношения r_5 — «быть одинаково ориентированным». И все записи в квадратных скобках, стоящих на нечетных местах, отражают тот факт, что все 40 автомобилей, наблюдаемые нами, «смотрят» передней частью в одну и ту же сторону. Смысл отношения r_6 заключен в словах «быть сзади и близко». Это, конечно, не исходное базовое отношение, а композиция двух базовых отношений «быть сзади» и «быть близко». Таким образом, наши 40 автомобилей упорядочены друг за другом и находятся друг от друга на близком расстоянии.

Объединяя в одно описание две наших записи, мы можем сказать, что по Садовому кольцу города Москвы движется колонна из 40 автомобилей марки ВАЗ 2103 со следующими номерами: i_1, i_2, \dots, i_{40} . Обратим внимание на появление в этом истолковании ситуации словосочетания «колонна автомобилей». По существу, это некоторый ситуативный класс. Чем же он характеризуется? Каков фрейм описания, соответствующий ему? Постараемся это выяснить. Что является несущественным с этой точки зрения в приведенном описании? Прежде всего, те конкретные государственные номерные знаки автомобилей, которые перечислены в описании. Во-вторых, марка автомобиля. Затем, конечно, не играет особой роли и число автомашин, следующих друг за другом. По-видимому, достаточно, чтобы их было больше двух — трех. И, наконец, для нашего ситуативного класса совершенно не играют роли название улицы и название города, где находится эта улица, по которой движутся автомашины. Это дает возможность

записать фрейм — минимальное описание для понятия «колонна автомобилей» в следующем виде:

$$[(a_1r_2x)(a_2r_2x)...(a_qr_2x)][(a_1r_5a_2)(a_2r_5a_3)... \\ \dots (a_{q-1}r_5a_q)][(a_1r_6a_2)(a_2r_6a_3)...(a_{q-1}r_6a_q)].$$

В этой записи a_i означают произвольные элементы из класса A — «автомобили», x есть произвольный элемент из класса X — «места, по которым могут двигаться автомобили» (например, улица, площадь, шоссе, проселочная дорога и т. п.), а q — произвольный параметр с единственным ограничением: $q \geq 3$.

Можно продолжить обобщение. Заменяем a_i на y_i , где y_i суть произвольные элементы класса Y — «все, что может двигаться» (например, автомобили, пешеходы, лошади, роботы и т. п.). Тогда вместо класса «колонна автомобилей» мы получим описание в виде фрейма ситуативного класса «колонна движущихся объектов». По такому же способу обобщения в ситуативные классы можно получить описания в виде фреймов для таких объектов, как «толпа людей», «косяк рыбы», «семья», «хоровод» и многих других.

Наличие метапроцедур обобщения показывает, что наша модель мира имеет иерархический вид. Элементы разного уровня общности лежат на различных срезах этой модели, и между срезами устанавливаются отношения классифицирующего типа: «род — вид», «быть элементом класса», «включать в себя» и другие. Модель мира становится похожей на «слоеный пирог», в каждом слое которого содержится описание действительности на данном уровне общности. Механизмы *логического пополнения описаний* и *логического вывода новых фактов* также иерархичны. Они используются в отдельных слоях модели мира и между слоями.

Именно такая организация модели мира характерна для всех сколько-нибудь богатых по своим возможностям искусственных интеллектуальных систем.

3.3. Общение

Язык как семиотическая система. Модель мира не изолирована от действительности. В противном случае она может быть полностью задана заранее, а значит, и описана на синтаксическом уровне. Если модель мира не получает никакой новой информации о внешней сре-

де и действиях в ней, то она может быть заменена формальной системой, автономно действующей на основе заложенных в нее «вечных» аксиом и правил вывода. Мы уже говорили, что это невозможно, что ситуативность выводов исключает такую автономность. Именно поэтому остается важной проблема общения модели мира с самим этим миром. Язык такого общения должен быть достаточно богат по своим возможностям, чтобы описывать действительность с необходимой для системы точностью и степенью подробности.

В нашем распоряжении имеется такое средство общения. Это — наш естественный язык. Одной из важнейших функций его является отражение явлений и фактов внешнего мира в модель мира, хранящуюся в нашей памяти. При этом знаки языка сами по себе не несут информации о действительности. Они просто называют ее, обозначают некоторыми кодами-именами, свойственными данному языку. С этой точки зрения естественные языки принадлежат к так называемым *семиотическим системам* (или, как их иногда называют, *знаковым системам*). Задачей знаковых систем является передача смысла и прагматики тех или иных явлений с помощью набора определенных знаков. Примерами подобных систем могут служить система уличных знаков, которой пользуются водители автомобилей и другого транспорта, совокупность жестов, используемых человеком для выражения согласия и несогласия, призывов и запретов и т. п., морской флажковый код и многое другое. Человек окружен семиотическими системами со всех сторон. Он все время пользуется ими, чаще всего не зная, что он «говорит прозой». Карточная игра — это семиотическая система, шифрованный счет за обед в ресторане, где вместо названий блюд стоят условные их изображения, также семиотическая система. Многочисленные способы указаний на принадлежность к классам «мужской», «женский» — еще одна семиотическая система, с которой человек сталкивается постоянно.

Естественный язык также принадлежит этому великому множеству знаковых систем. Его знаками являются слова и словосочетания. И лишь в весьма немногих случаях в этих словах содержится прямая информация о назначении или особенностях того, что этим словом обозначается. Американский исследователь язы-

ка Г. Форстер недаром писал: *«Понятие розы так же мало обладает ароматом, как мало понятие прыжка прыгает»*. И смысловая нагрузка, которая имеется в словах типа «рукомойник» или «пароход», — это скорее исключение из общего правила, чем закономерность.

Но для того, чтобы могла функционировать семиотическая система, чтобы отношение «обозначаемое — обозначающее» стало иметь какой-то смысл, должны, очевидно, существовать по крайней мере две системы общения с действительностью: непосредственное и опосредованное через семиотическую систему. За любым знаком должно стоять некоторое представление о том, что этот знак обозначает. Если мы имеем текст на естественном языке, которого мы совершенно не знаем, то мы ничего и не понимаем. Другими словами, знаки этого языка остаются мертвыми для нас. Но вот способ чтения текста изменился: одновременно с произнесением некоторого слова на незнакомом языке нам показывают на некоторый предмет или демонстрируют некоторую понятную ситуацию. И мы начинаем соотносить незнакомые слова и словосочетания с этими реалиями. Так возникает отношение «обозначаемое — обозначающее». И только так, во взаимодействии двух систем восприятия действительности, становится возможным использование семиотических систем.

Естественный язык и язык ЭВМ. Основной недостаток вычислительных машин, этих универсальных переработчиков информации, состоит в том, что их язык в принципе одноплановый. Знаки этого языка не соотносятся ЭВМ с какой-либо реальной действительностью. Они выступают для машины не как знаки, а как коды-команды, вынуждающие техническую систему откликаться на них раз и навсегда установленным способом, зафиксированным в структуре ЭВМ и особенностях ее функционирования. За каждым словом у человека скрыта громада представлений, идущих от внязьюкового, чувственного общения с миром. Этот способ общения настолько важен для человека, что даже с абстрактными понятиями языка человек всегда связывает некоторое чувственное представление. Психолингвисты неоднократно проводили эксперименты, подтверждающие этот факт.

Вот описание одного из таких экспериментов. В затененном помещении, где сидят испытуемые, прово-

дится специальный тренинг, цель которого — максимально расслабить испытуемых. Экспериментатор читает бесцветным голосом, без всякого выражения списка таких слов, как скука, здоровье, утомленность и т. д. Испытуемые должны фиксировать те образы, которые возникают у них при чтении этих слов. Результат эксперимента подтверждает, что такие образы всегда возникают. Правда, яркость их различна у разных людей. Особенно выделяется группа людей, которых психологи называют эйдетиками. У эйдетиков особенно тесна связь между информацией, поступающей от различных органов чувств, и словами. Удивительным человеком такого типа был Шерешевский, которого долгие годы наблюдал уже упоминавшийся нами психолог А. Р. Лурия. В своей книге о Шерешевском А. Р. Лурия описывает такой эпизод. Вместе они были в гостях в подмосковном поселке, застроенном однотипными дачными домиками. Когда они уходили из гостей с намерением еще раз прийти сюда, Лурия спросил Шерешевского, сможет ли он найти дорогу сюда. «Конечно, — ответил Шерешевский. — Около этого дома такой забор, который невозможно ни с чем спутать. Он такой яркий, зеленый, соленый и пронзительно кричащий».

Образы, возникающие в ответ на слова-раздражители, у разных людей могут быть различными. Например, слово «здоровье» у большинства испытуемых вызывает образ краснощекого ребенка, чаще мальчика. Но зафиксирован и такой случай, когда при произнесении этого слова у испытуемого возник образ обложки журнала «Здоровье».

Глубокие связи между словами и чувственными образами исследовал известный специалист в области математической логики и теории вычислений, советский математик В. А. Успенский. Он проделал следующий мысленный эксперимент. Пусть, например, человек, знающий русский язык достаточно хорошо, не знаком со значениями таких слов, как «авторитет», «горе», «радость». И под рукой у него нет словаря, в котором он мог бы узнать эти значения. Тогда он может попытаться определить значения слов из контекста, анализируя вхождение этих слов в предложения. Какой же результат он получит? Скорее всего, говорит В. А. Успенский, он усвоит, что «авторитет» — это полезный и нужный предмет (пользоваться авторитетом, использо-

вать авторитет, уповать на авторитеты). Этот предмет можно иметь и не иметь. Его можно потерять, но можно и завоевать или заслужить. Хороший по качеству авторитет должен быть большим, еще лучше огромным, весомым, прочным и твердым. Его кладут на чашу весов, чтобы что-нибудь перевесить. Низкосортный авторитет бывает легковесным, хрупким, дутым, маленьким. Вещь эта ценная, поэтому авторитет надо хранить.

А «горе» — это тяжелая жидкость (испить горя, хлебнуть горя, давит горе) и, по-видимому, ядовитая (убит горем). В отличие от горя, радость — это легкая жидкость, похожая на шампанское (искрится радость, захлестывает радость, опьяняет радость).

В современных ЭВМ этого пласта представлений, чувственных образов того, что обозначается словами-знаками, нет. А, как мы уже подчеркивали, без наличия таких двух систем мышление невозможно.

«Дело Дрейфуса». Это не то нашумевшее во Франции дело, которое взбудоражило почти весь мир. Но среди специалистов в области искусственного интеллекта выступление Г. Дрейфуса и дискуссии, прошедшие в связи с этим в 1973 году во многих университетах США, вызвали не меньшее волнение, чем во времена судебного процесса над его однофамильцем. Г. Дрейфус подверг критике положение о возможности создания систем, подобных по своим возможностям человеку. Он выдвинул несколько аргументов в пользу своего утверждения, один из которых звучит так: «Мышление без тела невозможно».

В интеллектуальной системе надо иметь не только языковую систему, но и систему, которая непосредственно воспринимала бы окружающий мир. В ЭВМ этого нет. Но Г. Дрейфус, выдвигая свой аргумент, не подумал о тех технических системах, которые называются роботами. Мы прервали их историю на довоенных годах XX века. Сейчас они переживают новый этап своей жизни. Снабженные управляющей ЭВМ, эти «механические люди» приобрели возможность выполнять не только фиксированные, раз навсегда заложенные в них процедуры. Они стали способны учитывать изменения в окружающем мире и адаптироваться к этим изменениям.

Роботы, в отличие от ЭВМ, обладают тем, что Г. Дрейфус назвал «телом». Они имеют в своем рас-

поряжении рецепторы и эффекторы. С помощью рецепторов робот может воспринимать зрительную информацию, которая обрабатывается на ЭВМ, входящей в состав робота, с помощью таких метапроцедур, как выделение предметов на фоне, определение структуры пространственного расположения предметов, фиксация динамических изменений, происходящих в наблюдаемом мире. Роботы сего дня обладают слухом, осязанием и обонянием.

Правда, мы еще не знаем, как объединить между собой эти различные системы восприятия внешнего мира, как формировать тот единый образ предметов и явлений внешнего мира, в котором сплетаются все наши чувственные образы. Робот пока еще не может достичь синтеза чувственного образа. И этот последний шаг отделяет нас от того момента, когда в искусственной системе типа робота начнут функционировать две независимые системы: система чувственного восприятия, непосредственно отображающая внешний мир, и система знаковой переработки информации об этом мире. Тогда представления и их знаковые эквиваленты позволят осуществить те основные метапроцедуры мышления, которые связаны с одновременным функционированием указанных двух систем и деятельностью систем во внешнем мире.

Эта деятельность реализуется в роботах уже сейчас. Их эффекторы — манипуляторы позволяют современным роботам совершать сложные и точные движения, ничуть не уступающие действиям естественного манипулятора — руке человека. А у подвижных роботов имеются достаточно разнообразные способы перемещаться в пространстве (колеса, гусеницы и просто ноги, во многом похожие на те, которыми природа снабдила живые организмы различного типа).

Поэтому Г. Дрейфус, выдвигая аргумент об отсутствии тела у искусственных систем, оказался неправ. Тело робота обеспечивает им возможность иметь вторую, не зависимую от языка, воспринимающую мир систему. Очувствованный робот сего дня, чутко реагирующий на изменение внешней среды, демонстрирует нам и зачатки того, что можно назвать метапроцедурой *классификации элементов внешнего мира*.

Понимание. Кроме классификации элементов внешнего мира требуется наличие и более развитой мета-

процедуры, суть которой мы обычно передаем термином «понимание». Но термин этот многозначен, и специалисты в области искусственного интеллекта если и используют его, то предварительно уточняют, что они имеют при этом в виду. Рассмотрим некоторые из этих уточнений.

Первое из уточнений принадлежит лингвистам, которые занимаются машинным переводом. На начальной стадии работ по машинному переводу текстов с одного языка на другой (например, с английского на русский) предполагалось, что достаточно ввести в память ЭВМ богатый словарь и набор правил морфологического и синтаксического анализа и синтеза предложений и проблема будет решена. Если ЭВМ, например, «видит» в тексте фразу «She saw a book», то она проводит ее синтаксический разбор и узнаёт, что «She» это подлежащее, «saw» — сказуемое, а «a book» — дополнение. Морфологический разбор происходит после того, как ЭВМ обращается к своему словарю и узнаёт, что "She" есть личное местоимение третьего лица единственного числа женского рода, «saw» — глагольная форма от глагола «to see», стоящая во времени, которое по-английски называется прошедшим неопределенным, «a book» — существительное единственного числа, относящееся не к вполне определенному конкретизированному предмету, а к предмету с таким названием «вообще». После этого ЭВМ с помощью двуязычного словаря находит русские эквиваленты английским словам: «она», «видеть», «книга». Используя синтаксическую и морфологическую информацию, полученную при анализе английской фразы, а также правила построения морфологически и синтаксически правильных предложений в русском языке, ЭВМ строит русский эквивалент английской фразы: «Она увидела книгу».

Особенностью такого перевода является прямой перевод язык — язык с использованием лишь языковой информации, хранящейся в переводимой фразе. Однако энтузиасты первого поколения «машинных переводчиков» быстро поняли, что путь, который они выбрали, оказался тупиковым. Стоило машине столкнуться с текстами даже среднего уровня трудности, как она пасовала в выдавала в качестве перевода всякую чепуху. Быстро обнаружили языковые конструкции,

которые никогда не могут быть переведены на другой язык, если в памяти ЭВМ хранится информация лишь о синтаксических и морфологических правилах языка. Пусть, например, имеется такая фраза: «Он вошел в комнату в пальто в клетку». Синтаксически слова «в комнату», «в пальто», «в клетку» ничем не отличаются, и морфологических различий в них обнаружить нельзя. Откуда ЭВМ знать, что «в пальто» нельзя войти, что «в клетку» относится к пальто, а не к тому помещению, куда «он вошел». Эти сведения взяты нами из результатов работы той системы восприятия, которая оперирует непосредственными наблюдениями во внешнем мире. Другими словами, эта информация внеязыковая. Для перевода такой фразы требуется использовать именно ее.

Так родилась идея вместо схемы язык — язык использовать для машинного перевода схему язык — действительность — язык. А отсюда появилось первое определение метапроцедуры понимания. Понимание — это процесс соотнесения языкового описания с внеязыковой ситуацией. Другими словами, понимание является процедурой связи между семиотической системой естественного языка и теми образами, которые формирует в нас система чувственного восприятия мира.

При реализации машинного перевода на ЭВМ нет возможности организовать чувственное восприятие. Поэтому используется предварительное описание действительности на специальном ЯПЗ, который в лингвистике называют *языком семантических представлений* (СЕМПом). По мысли лингвистов, СЕМИ позволяет однозначно восстанавливать по тексту ту внеязыковую ситуацию, которую текст описывает. Это предьявляет к СЕМПу ряд требований, которые можно сформулировать следующим образом:

- 1) если некоторый текст T_1 имеет на естественном языке смысл*), то в СЕМПе найдется по крайней мере один текст Q_1 , ему соответствующий;
- 2) если некоторый текст T_1 не имеет смысла, то в СЕМПе для него не найдется никакого текста;

*) Понятие «смысл» при этом никак не уточняется. «Иметь смысл» означает, что так считает большинство носителей данного естественного языка. «Не иметь смысла» — это также утверждение, к которому склоняются носители языка. Таким образом, СЕМП является уточнением этого нечеткого человеческого понятия.

3) если два текста T_1 и T_2 имеют одинаковый смысл, то в СЕМПе им соответствует либо один и тот же текст Q_1 , либо два разных текста Q_1 и Q_2 (в последнем случае Q_1 и Q_2 должны переводиться друг в друга с помощью формальной системы эквивалентных преобразований, имеющейся в СЕМПе).

Для иллюстрации такого истолкования процедуры понимания, о которой мы говорим, рассмотрим знаменитую фразу, предложенную выдающимся лингвистом нашего времени Н. Хомским: «Джон чуть не убил Фреда». Что означает эта фраза? Как ее понять? Другими словами, какая внеязыковая ситуация скрывается за этим словесным выражением? Даже поверхностный анализ приводит нас к мысли о том, что честным ответом на вопрос «Понимаете ли вы, что сказано в этой фразе?» должен быть ответ «Нет, не понимаю». Это вытекает из неоднозначности внеязыковой ситуации, стоящей за текстом. Рассмотрим несколько таких ситуаций.

1. Фред идет, о чем-то мечтая и ничего вокруг не замечая, по улице, мимо дома, с крыши которого Джон скидывает снег и лед. И мимо головы Фреда, едва не задев его, пролетает и падает на землю большая глыба льда.

2. Джон приходит домой в неурочный час и застаёт свою молодую жену с Фредом. Он кидается на Фреда, валит его на пол и начинает душить. Лишь с помощью соседей удается оттащить Джона от почти задушенного соперника.

3. Джон входит по вызову в кабинет своего шефа Фреда. Ему приходится выслушивать от Фреда незаслуженные обвинения, оскорбляющие его. В душе Джона накипает волна возмущения. Желание убить, растоптать, этого негодяя Фреда неудержимо нарастает в нем. Ещё минута и он запустит пресс-папье в голову обидчика. Но огромным усилием воли Джон сдерживается, поворачивается к Фреду спиной и выходит из кабинета, сильно хлопнув дверью на прощание.

Все описанные нами три ситуации могут быть вполне описаны фразой «Джон чуть не убил Фреда», хотя по сути своей эти ситуации глубоко различны. Покажем, как СЕМП позволяет «развести» эти непохожие случаи действительности. При анализе предложения и окружающего его в тексте контекста исходная фраза

переводится в одну из трех фраз СЕМПа: 1) Джон не каузировал начать процесс, начал процесс и не закончил процесс делать Фреда мертвым; 2) Джон каузировал начать процесс, начал процесс и не закончил процесс делать Фреда мертвым; 3) Джон каузировал начать процесс, не начал процесс и не закончил процесс делать Фреда мертвым. Несмотря на неуклюжесть этих фраз, смысл их ясен. В первом случае Джон не желал смерти Фреда, но начал совершать процесс, который мог привести к его гибели. Во втором случае он не только хотел этого, но и начал приводить свое желание в исполнение. И лишь соседи помешали ему в этом. В третьем случае желание убить было несомненным, но процесс не был начат.

Возможны и другие фразы СЕМПа, соответствующие иной расстановке (лишь бы она была логична) отрицаний в этой фразе. Так, фраза «Джон не каузировал начать процесс, начал процесс и закончил процесс делать Фреда мертвым» описывает еще одну ситуацию действительности, которая реализуется, например, тогда, когда сбрасываемая с крыши глыба льда убивает неосторожного пешехода.

В СЕМПе «понять» — значит построить по тексту на естественном языке соответствующий текст СЕМПа, однозначно описывающий внеязыковую ситуацию. Идея СЕМПа весьма привлекательна, но построение его оказалось делом чрезвычайно трудным. Несмотря на громадные усилия больших коллективов лингвистов, пока еще ни для одного из естественных языков нет полностью построенного СЕМПа. Трудности эти связаны не только (и не столько) с чисто языковыми проблемами (хотя этих проблем великое множество и изложение их требует специальной книги), но и с проблемами представлений и понятием осмысленности тех или иных текстов и слов.

Само понятие осмысленности ситуативно. Почти для всякого текста можно, по-видимому, построить ситуацию, в которой этот текст станет осмысленным. До недавнего времени вряд ли кто-нибудь из носителей русского языка согласился бы считать осмысленным словосочетание «квадратное молоко». Но вот наша промышленность стала выпускать молоко не только в пирамидальной упаковке, но и в коробках в форме параллелепипеда. И автор этой книги сам слышал в ма-

газине, как покупательница спросила у продавщицы: «У вас есть квадратное молоко?». И без всякого удивления продавщица ответила отрицательно. Или еще один пример. В своих воспоминаниях сын известного писателя Леонида Андреева Вадим Андреев пишет:

«Некий мэтр предложил игру: подобрать эпитеты к словам „туман“ и „кристалл“, Предложил сам: „приветливый туман“ и „озябнувший кристалл“. Это вызвало возражения. Тогда мэтр процитировал начало стихотворения Е. Баратынского „Бокал“:

*..Полный влагой искрометной,
Зашипел ты, мой бокал!
И покрыл туман приветный
Твой озябнувший кристалл:..»*

Поэтому так трудно построить СЕМП, ибо в нем, по существу, надо суметь, предусмотреть все возможные внеязыковые ситуации, в которых те или иные тексты могут считаться осмысленными.

Теперь перейдем к другим толкованиям метапроцедуры понимания, также небесполезным для специалистов, работающих в области теории систем искусственного интеллекта и практики их построения.

«Слоеный пирог» модели мира хранит все знания системы об этом мире. Новый текст, поступивший на ее вход, несет информацию, как-то связанную с той, которая хранится в модели мира. Процесс соотнесения вновь поступившей информации, «голых фактов», содержащихся в тексте, с широким контекстом, хранящимся и модели мира,— это и есть понимание текста. В отличие от идеи СЕМПа здесь речь идет не о простом соотнесении знаковой информации и представлений, скрытых за этими знаками, а о более глубоком уровне понимания, когда в орбиту рассмотрения втягиваются и те сведения, которые каким-то образом связаны с поступившей информацией. Следуя советскому лингвисту Ю. С. Мартемьянову, можно сказать, что понимание в смысле машинного перевода — это формирование ответа на вопрос «Что значит этот незнакомый текст?», а понимание в модели мира соответствует формированию ответов на вопросы: «К чему бы это?», «Что из этого следует?», «Согласуется ли это с тем, что я раньше знал?» и т. д.

Из этого вытекает, что реализация метапроцедуры понимания не дает нам возможности воспроизведения, моделирования понятого. Как сказал в своем выступлении в Московском доме ученых на тематическом вечере «Искусство в ЭВМ» в 1976 году И. Л. Шрейдер:

«Мы понимаем Гоголя, но не можем смоделировать его творческий процесс на ЭВМ. Я могу схватить (приблизительно) мелодию, понять ее, но сказать, из каких нот она состоит, воспроизвести ее я не могу».

Другой способ истолкования метапроцедуры понимания используется в разнообразных вопросно-ответных системах, базирующихся на естественном языке. Как правило, создатели таких систем считают, что ЭВМ понимает вводимый в нее текст на естественном языке, если с точки зрения человека она правильно отвечает на все вопросы, которые могут быть заданы по этому тексту.

Еще одно истолкование процедуры понимания используется в работах, относящихся к моделированию целесообразного поведения искусственных систем (об этих проблемах мы еще будем говорить). В них, как правило, считается, что система поняла некоторый текст, если ее деятельность соответствует поставленным перед ней целям и задачам с учетом целевых установок текста и имеющейся в системе шкалы важности целей. По-видимому, именно о таком толковании понимания говорил апостол Павел: «Я не понимаю своих собственных деяний».

И еще один, последний в этой книге, пример интерпретации процедуры понимания. Она используется в коммуникативных системах, в которых два человека, или две ЭВМ, или человек и ЭВМ взаимно обмениваются определенной текстовой информацией. В таких системах понимание сводится к согласованию процедур соотнесения текстов с теми представлениями о мире, которые хранятся в памяти собеседников. Вот пример-анекдот, когда модели людей, участвующих в процессе коммуникации, не совпадают:

- За чем это такая большая очередь?
- За Голсуорси.
- Это лучше кремплена?
- Не знаю. Не пил».

Гипотеза Уорфа. Во второй половине пятидесятых годов появилась книга известного американского ис-

следователя Б. Уорфа, которая называлась «Язык, мышление и реальность». В ней Уорф впервые сформулировал гипотезу, вызвавшую в последующие десятилетия массу дискуссий, подтверждающих и опровергающих исследований и конкурирующих теорий и гипотез. Уорфа интересовала проблема: не влияет ли язык на наше мышление, на наше восприятие действительности? И на этот вопрос Уорф в своей книге дал положительный ответ. В частности, он писал:

«Система языка не является просто инструментом, в котором воплощаются наши идеи, язык сам участвует в формировании наших идей, в создании программ и планов человеческой активности, в анализе впечатлений, в их объединении... Мы распекаем природу по тем основным направлениям, которые даны в языке, мы выделяем из нашего опыта те категории, которые заложены в системе языка».

Уорф прекрасно знал многочисленные языки индейцев Северной Америки. Особенно странным оказался язык небольшого индейского племени хопи. Прежде всего, в этом языке время измерялось не промежутками и интервалами, как в подавляющем большинстве языков мира, а только упорядоченностью событий на временной шкале. Хопи не могут сказать «Наступил четвертый день», ибо мерить время в днях они не могут. Они могут лишь сказать, что «Четвераразно светает». На языке хопи сказать «Пришел второй день» так же смешно, как если бы по-русски кто-то сказал «Пришел второй Петров» в ситуации, когда Петров вторично приходит в комнату. И нельзя у хопи ждать три часа, а можно лишь ждать до четвертого часа.

Нутка — небольшое индейское племя, живущее в Канаде. В языке нутка нет деления на существительные и глаголы, кажущегося нам таким естественным. Все слова этого языка являются как бы глаголами. И странно звучат для нашего слуха и трудны для понимания такие слова этого языка, смысл которых условно можно передать как «столит», «пламит», «лошадит» и т. д.

Для нас привычно деление цветов по спектру. Нам оно кажется вполне естественным и само собой разумеющимся. И слова индоевропейских языков отражают этот принцип классификации.

Но вот для племени хануно, живущего на Филиппинах, это не кажется столь уж бесспорным. В языке хануно мы не найдем аналога спектрального описания цветов. Вместо длины волны они используют в качестве классифицирующего признака яркость. В языке хануно отдельными специальными словами вычленяются четыре цвета: светлый (малагти), куда входят различные оттенки желтого цвета; умеренно светлый (малатуй), куда входят различные оттенки голубого и зеленого; умеренно темный (марара), включающий оранжевые и коричневые оттенки цветов, а также темно-красные оттенки; и, наконец, темный (мабиру), в котором объединились синие, серые и черные цвета и оттенки.

Казалось бы, что при таком различии в описании мира мышление различных народов, опирающееся на модель мира, тесно связанную с языком, должно бы значительно различаться. Однако тщательные эксперименты показали, что это не так. Как бы ни структурировался окружающий человека мир, как бы по-разному ни классифицировал его тот или иной язык, всегда это делается с точки зрения решения основной проблемы — организации успешной жизнедеятельности в окружающем человека мире. Различие классификаций отражает тот факт, что для разных условий жизни человека и разных форм его деятельности в природе та или иная классификация оказывается предпочтительней. И поэтому в языках эскимосско-алеутской группы имеется огромное число специальных слов для фиксации направлений в пространстве (в условиях однообразной тундры это жизненно важно), в языке оленеводов-якутов имеется много слов для обозначения различного состояния снежного покрова, от которого зависит питание оленей и, в конечном счете, жизнь самого оленевода, а система цветообозначений хануно в условиях тропического леса, всегда погруженного во влажный туманный полусумрак, в котором хануно проводят всю свою жизнь, куда более практична, чем система, основанная на спектральном признаке.

Диалог. Итак, становится совершенно очевидным, что никакая интеллектуальная система, снабженная моделью мира, не может обойтись без сопутствующей ей знаковой системы. А наличие такой системы позволяет организовать коммуникативный процесс, т. е. диа-

лог. Сейчас огромное число организаций и сотни исследователей заняты созданием диалоговых систем самого различного уровня. В большинстве случаев это системы, осуществляющие доступ человека к большим информационным массивам, хранящимся в памяти ЭВМ. Диалог на естественном языке или языке, близком к нему, по своим возможностям (несколько формализованным по сравнению с естественным языком) используется человеком — потребителем хранимой информации для того, чтобы задать ЭВМ интересующий его вопрос. ЭВМ использует естественный язык для формирования пользователю ответа в наиболее удобной для него форме. Если область, которой касается диалог, четко выделена (например, и вопросы и ответы на них касаются лишь данных, связанных с футболом, куда входят календарь текущих игр, данные о прошедших матчах, составы команд, краткие биографии игроков и т. п.), то создание таких диалоговых систем не встречает больших принципиальных трудностей. Разработаны специальные методы анализа запросов и формирования ответов на них, которые позволяют обходиться даже без обращения к синтаксису и семантике языка. Такие диалоговые системы можно назвать *узкопрагматическими*.

Но если диалоговая система предназначена для коммуникации между человеком и искусственной системой в достаточно широкой проблемной области, то положение конструктора подобной системы на сегодня остается весьма тяжелым. Возникают огромные технические трудности, которые перерастают в принципиальные препятствия, как только модель мира становится достаточно объемной, а число тем, по которым человек хочет вести диалог с ЭВМ или другой искусственной системой, велико. И дело тут кроется не в трудностях собственно лингвистического анализа, не в анализе морфологических, синтаксических и семантических особенностей текста как такового. Трудность состоит в организации метапроцедуры понимания, т. е. соотнесения текстов с теми фактами и ситуациями, которые хранятся в модели мира.

Еще одна трудность связана с тем, что модели собеседников при коммуникативном акте должны быть согласованы (об этом мы уже говорили в разделе о понимании). А это приводит к тому, что в модели мира

необходимо хранить специальную модель возможного собеседника, в которой отражены особенности его целевых установок, мотиваций и поведения в коммуникационном акте. И проблема диалога становится не лингвистической проблемой, а проблемой психолингвистики, новой бурно развивающейся науки, стоящей на границе между лингвистикой и психологией. А отсюда всего только несколько шагов и до психологии мышления и поведения.

3.4. Поведение

Планирование. Вспомним метапроцедуру поиска в лабиринте. Там возможны два случая. В первом случае мы сами находимся в лабиринте и ничего не знаем о его структуре и расположении площадок-целей. В этой ситуации мы в каждый момент должны принимать решение о дальнейшем движении лишь на основе той локальной информации, которая нам доступна. При выборе наших действий мы не можем использовать априорную информацию о свойствах лабиринта. В таких условиях мы лишены возможности как-то планировать свои действия в будущем, так как необходимая для этого информация нам еще неизвестна.

Во втором случае мы видим лабиринт «с птичьего полета». Мы видим его конфигурацию, можем проследить, куда ведут те или иные коридоры, оценить, приближаемся мы или удаляемся от той площадки лабиринта, которая является целевой. Такой взгляд сверху позволяет до начала выполнения движения по лабиринту наметить план этого движения. Лабиринт при этом может быть виден не слишком хорошо, какие-то детали его сверху могут быть неразличимы. Тогда выработанный план будет только основой реального плана. Этот априорный план может по ходу движения в лабиринте уточняться и корректироваться.

Формально задачу планирования можно представить себе следующим образом. Имеется некоторая сеть (например, такая, как показанная на рис. 14). Среди ее вершин выделена начальная вершина *1* и целевые, или конечные, вершины *4* и *6*. Дуги могут быть снабжены некоторыми характеристиками (на рисунке они обозначены как наборы a_{ij} , компоненты которых, называемые *признаками*, принимают для каждой дуги

свои значения). Признаки могут характеризовать те параметры, которые важны при выборе пути прохождения по лабиринту. Например, это могут быть оценки вероятностей наказания за выбор данного коридора-дуги, как это было в опытах Э. Торндайка, или длины коридоров в некоторых пространственных единицах, или оценки трудности его прохождения, или что-нибудь другое. В крайнем случае все дуги могут быть равноценными, а наборы a_{ij} отсутствовать.

Если вершина 1 является начальной, то возбудим все дуги, ведущие из нее в соседние вершины, и запомним значения наборов a_{ij} на этих дугах. Для нашего

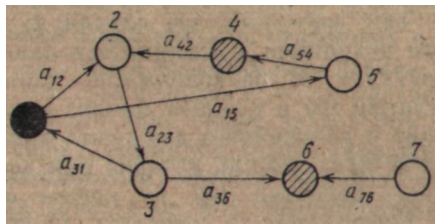


Рис. 14.

рисунка возбуждаются дуги, помеченные наборами a_{12} и a_{15} . Теперь мы достигли вершин 2 и 5. Проверяем, не дошли ли мы до целевых вершин,— проверка дает отрицательный результат. Тогда возбуждаем все дуги, выходящие из вершин 2 и 5, и запоминаем последовательности a_{12} , a_{23} и a_{15} , a_{54} . Теперь мы достигли вершин 3 и 4, и одна из них является целевой. Путь с оценками a_{15} и a_{54} оказался результативным. Мы можем его оценку сравнить с оценкой пути a_{12} , a_{23} . Если оценка результативного пути лучше, чем оценка пути, ведущего из вершины 1 в вершину 3, то планирование закончено и лучший путь найден. Если же оценка пути, ведущего к вершине 3 через вершину 2, лучше, то этот путь стоит продолжить. Продолжение дает результативный путь a_{12} , a_{23} , a_{36} с соответствующей оценкой. Если эта оценка хуже оценки первого найденного результативного пути, то окончательным результатом является первый из найденных путей, ведущий к вершине 4. Если же суммарная оценка второго пути оказалась лучше, то — путь, ведущий к вершине 6,

Эта простая идея планирования может на практике модифицироваться, но суть ее будет сохраняться неизменной. Мы уже показывали, что процесс вывода в логических системах аналогичен поиску по лабиринту. Это позволяет вводить процедуру планирования и в системы, в которых модель мира и работа с нею опираются на логические представления. И в случае реляционных представлений наша модель планирования сохраняет свою суть. Введение вероятностных и размытых квантификаторов также не портит ее основы. Поэтому процедура планирования в условиях лабиринта является одной из типовых метапроцедур, присущих целенаправленному поведению естественных и искусственных систем.

Обычно строят иерархические планирующие системы. Рассмотрим, например, задачу планирования перемещения робота по незнакомой местности, когда цель движения задана некоторой областью на карте, описание которой хранится в модели мира робота. Сначала робот, анализируя только карту и учитывая свои возможности в преодолении тех или иных участков местности, составляет стратегический план передвижения. Затем (как правило, по карте более крупного масштаба) он уточняет участок движения до первой узловой точки. Это составляет тактический уровень планирования. Далее с помощью своих органов чувств, непосредственно воспринимая видимый участок местности, робот оперативно планирует начало траектории движения. Наконец, в процессе движения, обнаружив какие-то препятствия, которые не были учтены на более высоких уровнях планирования, робот может внести коррективы в оперативный план. Эти коррективы могут привести к пересмотру оперативного, а возможно тактического и стратегического планов движения.

Подобные иерархические системы планирования используются и для планирования на основе сценариев и на основе реляционных описаний, образующих различные уровни «слоеного пирога» в модели мира.

Заметим, что с метапроцедурой планирования в условиях лабиринта тесно связаны метапроцедуры декомпозиции целей и задач, которые мы обсуждали раньше. Психологические эксперименты (например, уже упоминавшиеся эксперименты по фиксации движения глаз у испытуемых, решающих задачи «Игры

в 5») также подтверждают наличие такой иерархической планирующей системы у человека, решающего лабиринтную задачу.

Нормы и законы. Создавая искусственную систему, наделенную интеллектом, в какой-то степени сравнимым, с естественным, конструктор должен все время помнить о том, что его порождение будет действовать в среде, в которой, возможно, будут находиться и люди. В связи с этим взаимодействие интеллектуальных роботов и людей должно укладываться в приемлемые для людей нормы и законы. Робот в обществе людей должен обеспечивать человеку комфортное существование.

В связи с этим отметим, один принципиальный момент. Если робот предназначен для функционирования в достаточно сложном внешнем мире и его обязанности куда сложнее, чем выполнение однообразных действий, почти не зависящих от состояния внешней среды, то практически невозможно заранее предусмотреть все реальные ситуации, в которых роботу придется действовать. Человек — конструктор не может учесть все это многообразие возможных сочетаний. Поэтому при работе робот в силу заложенной в него логики может неправильно формировать свое поведение, принося вред своему создателю и другим людям. Можно представить себе, например, следующую фантастическую ситуацию: робот, выполняя указание своего создателя «Внести из комнаты все круглые предметы», сначала выносит из нее все такие предметы, а затем отрывает и выносит из комнаты голову человека, отдавшего такое приказание. В этой ситуации робот логически прав. Ясно, что необходимы средства, которые исключали бы подобные ситуации.

Таким образом, для формирования поведения роботов нужны некоторые общие законы и нормы, которые могли бы применяться роботом всегда или «почти всегда». Только такие универсальные законы могут полностью решить задачу о нормативном и предсказуемом поведении интеллектуальных систем.

В научных кругах США весьма популярен такой анекдот. Несколько специалистов по роботам ведут затянувшуюся и бесплодную дискуссию о законах нормативного поведения роботов. Они уже впали в уныние. Но случайно оказавшийся в их обществе адмирал

разрешает их сомнения в существовании подобных универсальных законов.

«У нас на флоте,— говорит адмирал,— такой закон есть и он единствен. Когда к нам присылают новобранцев, то на первых порах они ничего не понимают. И для того чтобы они своим поведением не нарушили порядок на корабле, им предписывается руководство ватся следующим универсальным правилом: если мимо тебя что-то движется, то отдай честь, если этот предмет неподвижен, то покрась его. И этот закон действует безотказно»).

Это, конечно, шутка, но в ней есть доля истины. И три закона робототехники, предложенные в свое время американским ученым и писателем А. Азимовым, построены по этой же схеме. Вот они: 1) робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред; 2) робот должен повиноваться всем приказам, которые отдает человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат первому закону; 3) робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в какой это не противоречит первым двум законам.

Эти законы могут быть положены в основу «законодательства» для роботов, соблюдение которого будет обязательным для всех создаваемых людьми искусственных систем. Но это дело далекого будущего. А пока в области формализации нормативного поведения роботов делаются, по существу, лишь первые шаги.

Формализация поступков. Поступки, как представляется специалистам, занимающимся этикой человеческого поведения, это те элементарные акты поведения, из сцепления которых и рождается то, что мы собственно и называем поведением. Поэтому формализация понятия поступка является первым шагом на пути построения формальных норм поведения искусственных систем. Опишем один из подходов к решению этой проблемы.

Как известно, поступок — это мотивированное действие, имеющее общественный резонанс, осознаваемый лицом, выполняющим это действие. Таким образом, поступок — это планируемое действие, оценка результатов которого небезразлична для окружающих, а в ряде случаев и для человечества в целом. Это толкование поступка положено в основу рассматриваемой на-

ми формализации. Поясним, как она проводится, на примере. На рис. 15 приведены два графа с одинаково обозначенными вершинами, но отличающиеся числом дуг и обозначениями на них. Поясним сначала смысл вершин этих графов. Вершина I соответствует субъекту, совершающему поступок. Вершина H — объект (человек или неодушевленный предмет), на который направлены действия субъекта I . Вершина T характеризует то персонифицированное окружение человека I , мнение которого для него важно. Вершина N — это природа, тот мир, который окружает I . Вершина U — неписаный свод правил поведения, бытующих в обществе, где живет I , это морально-этические оценки, принятые этим обществом. Наконец, S — это нормы поведения, зафиксированные в законодательстве того общества, в котором живет и действует I .

Между вершинами могут существовать дуги двух типов: положительные (они на рисунке показаны сплошными стрелками) и отрицательные (они показаны штриховыми стрелками). Дугам могут приписываться некоторые веса, характеризующие в условных единицах силу положительного или отрицательного воздействия. Левый граф, обозначенный через G_M , соответствует планируемому поступку и оценке его самим I до совершения поступка, а правый граф G_R — той реализации, которая получилась в действительности, когда I совершил свое действие, направленное на H .

Что можно сказать о характере поступка, показанного на этом рисунке? Ясно, что это поступок, положительно оцениваемый и морально-этическими и законодательными нормами. И люди, окружающие I , положительно, оценивают его действие, направленное на H . Отрицательно оценивает это действие только природа (например, когда в результате своего действия I получает ранение или заболевание). Рассматривавшаяся уже нами история о спасении мальчика при пожаре дома может быть полностью уложена в приведенную структуру. В этом случае: I — спаситель ребенка, H — мальчик, которого I , рискуя жизнью, спасает, T — родные и близкие мальчика и спасателя I , а положительная связь от S может означать, например, награждение I медалью за смелые действия при пожаре. Отрицательное воздействие природы оказалось даже больше

планируемого. Это показывает соотношение $q_7 \gg q_3$. Возможно, что спаситель получил весьма тяжелые ожоги, хотя и не думал о таких последствиях, принимая решение о своем действии.

Таким образом, графы, приведенные на нашем рисунке, отражают структуру поступка, который можно назвать смелым, самоотверженным или мужественным. Выбор того или иного названия связан с оценкой величин q_3 и q_7 в этих графах.

Большой интерес представляет возможность перейти от описания конкретного поступка к его минималь-

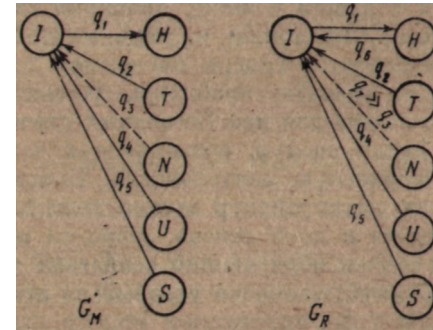


Рис. 15.

ному описанию, сохраняющему тип поступка. Другими словами, перейти к фрейму, определяющему принадлежность конкретного поступка к определенному классу поступков. Фрейм описывает только те минимальные связи между вершинами, которые необходимы для классификации поступка. Если в память интеллектуальной системы заложить набор таких фреймов-классификаторов, то она получит возможность оценивать поступки как свои, так и чужие. Если это будет сделано, то на основе классификации поступков можно построить теорию нормативного поведения искусственных систем.

В этой области имеются уже первые успехи. Удалось дать устойчивую классификацию всех основных типов человеческих поступков, а также в серии многочисленных психологических экспериментов *) получить

*) Эти эксперименты проводила советский психолог В. Л. Шустер.
199

знания о том, как люди оценивают поступки других людей, классифицируют их и вырабатывают на этой основе нормы поведения. И хотя многие результаты здесь еще не окончательны, они позволяют надеяться, что нормативная логика поведения роботов будет создана в недалеком будущем. Во всяком случае для определенных видов человеческой управленческой деятельности такая логика уже имеется.

3.5. Краткое резюме

Вот мы и подошли к концу описания сегодняшнего состояния того, что можно назвать наукой об искусственном интеллекте. Теперь мы можем кратко перечислить все те узловые проблемы, решение которых чрезвычайно важно для нее. Во-первых, это поиск и изучение всех метапроцедур, позволяющих человеку осуществлять творческую деятельность. Поиск и формализация таких метапроцедур весьма тяжелы. Число их все время растет и пока неясно, скоро ли можно будет получить их список, обладающий свойством универсальности. И, пожалуй, наиболее узловые из этих метапроцедур связаны с формированием модели мира и функционированием этой модели, включая ее взаимодействие с семиотической языковой системой. Здесь сейчас находится центральный узел всей проблемы искусственного интеллекта.

Во-вторых, это проблемы, связанные с созданием удобных языков для представления знаний, процедур предварительной и вторичной переработки сведений, получаемых с помощью органов чувств, методов перевода описаний во внутренние представления, используемые в модели мира, и процедур, обеспечивающих понимание текстов на естественных языках.

И, наконец, в-третьих, это поиск путей формализации поведенческого аспекта для искусственных систем, разработка моделей целеполагания, декомпозиции целей и задач, формирования потребностей и мотиваций, создание нормативных логик поведения.

Эти узловые проблемы сегодня являются «горячими точками» науки об искусственном интеллекте. А на ее горизонте появляются новые, пока еще не получившие точной постановки проблемы. Например, проблема активных знаний, порождающих потребности в деятель-

ности системы из-за тех знаний, которые накопились в памяти системы. Или многочисленные проблемы коллективного взаимодействия интеллектуальных систем, которые должны рассматриваться в рамках пока еще не существующей науки «социороботологии». Или проблемы, связанные с нахождением способов организации коллективной памяти для хранения знаний в популяции роботов и передачи этих знаний от одного поколения роботов к другому...

Но здесь лучше остановиться, чтобы не перейти от научно-популярного уровня к научно-фантастическому, не лишая «куска хлеба» писателей-фантастов.

БУДУЩЕЕ

*..И указывают тысячами пальцев
тысячи дорожек для скитальцев.*

Гарсиа Лорка

4.1. Прогнозы

Таблица Шиклоши. Еще в 1969 г. сотрудник Калифорнийского университета в США Л. Шиклоши составил таблицу, которая весьма удивила специалистов по искусственному интеллекту (табл. 5). Рассмотрим ее.

В левой части таблицы приведены данные, относящиеся к среднему возрасту человека, к которому он полностью овладевает методами решения указанных во втором столбце задач. В правой части таблицы приводятся годы создания первых американских программ, которые в той или иной мере имитировали тот же род деятельности.

Удивительной особенностью таблицы является то, что между возрастом человека и годами создания программ имеется явная обратная зависимость. То, чем человек овладевает чуть ли не в последнюю очередь, было запрограммировано для ЭВМ раньше всего. Зато те процедуры, которые человек начинает применять для решения задач еще в младенческие годы, с трудом поддаются программированию, и ко времени, когда Л. Шиклоши составлял свою таблицу, такие программы делали свои первые шаги.

Со времени, когда была составлена эта таблица, прошло более десяти лет, и стало ясно, что закономерность, уловленная в ней, подтверждается. Успехи в области программирования шахмат и других комбинационных игр стали весьма значительными, программная реализация различных методов логического вывода достигла уровня, при котором ЭВМ справляются с этими задачами даже лучше человека. Роботы, в кото-

рых координирование действуют зрительные системы и манипуляторы, далеко ушли от уровня «Шейки» или проекта Стэнфордского университета, называвшегося «глаз — рука».

Однако по-прежнему нет программ, которые могли бы с достаточной полнотой анализировать речь, обу-

Таблица 5

Человек		Искусственный интеллект	
возраст, годы	задача	год	программа
1	Восприятие окружающей среды	1968	Первая программа зрительного восприятия
2	Двигательные и манипуляторные способности	1968 1969	Проект «глаз — рука» Робот «Шейки»
3	Язык и речь	1966	Анализатор речи до 200 слов
		1968	Синтезатор речи
		1968	Программа обучения речи
5	Начало усвоения школьной программы		
15	Геометрия на плоскости	1959	Программа, доказывающая теоремы
15	Алгебраические задачи	1964	Программа для решения алгебраических задач
16	Геометрические задачи в пространстве	1963	Программа «Аналогия»
17	Программирование для ЭВМ	1963	Эвристическая программирующая программа
13	Математический анализ	1961	Программы для эвристического интегрирования
19	Исчисление высказываний	1959	«Общий решатель задач»
20	Игра в столеточные шашки	1959	Шашечная программа
21	Аксиоматическая логика	1956	Программа, делающая выводы в формальной системе

речь, описывать окружающий мир и воспринимать его во всей необходимой полноте и сложности. Это показывает, что выявившаяся закономерность отражает какой-то объективный факт. И это, действительно, так. В разделе о проблемах мы вернемся к этому. А сейчас попробуем дать прогноз того, что можно

ожидать в области искусственного интеллекта в ближайшем будущем.

Что и когда? Всем известно, что научный прогресс сейчас столь стремителен, что всякий прогноз оказывается весьма неустойчивым. Все же рискнем назвать несколько цифр, с которыми более или менее согласны все крупные специалисты, работающие в области теории искусственного интеллекта и роботостроения.

К концу 80-х годов в вычислительной технике наряду с привычными ЭВМ большое место займут различные распределенные вычислительные системы, структура которых позволит организовать параллельное и асинхронное течение процессов. Такие системы имеются уже и сейчас, но массовое их распространение сдерживается пока отсутствием способов программирования для подобных систем. Такие системы чрезвычайно перспективны для робототехники. Они позволят иметь системе небольших микропроцессоров, встроенных в рецепторы и эффекторы роботов и действующих почти автономно и асинхронно, синхронизируя свою работу только для передачи информации или управляющих сигналов. Это позволит разгрузить центральную ЭВМ робота от рутинной работы и дать ей возможность все свои ресурсы направить на решение задач, связанных с формированием и функционированием модели мира, коммуникацией с внешним миром с помощью языка и организацией целенаправленного поведения.

Именно к этому времени роботы начнут проникать во все сферы человеческой деятельности, как это уже произошло с вычислительными машинами. В области промышленных роботов появятся роботы третьего поколения, способные выполнять набор близких по своей специфике работ и адаптироваться к новым условиям производства. Эти роботы будут уже способны к групповой деятельности в рамках предусмотренных для этого программ. Они будут принимать на слух команды из некоторого заданного набора и сами синтезировать речевые сообщения.

В научных исследованиях к концу 80-х годов ожидается внедрение роботов-экспериментаторов в те процессы, где участие человека небезопасно. Появятся (а частично уже появились) и роботы-исследователи, предназначенные для проведения поисковых и исследова-

тельских работ в космическом пространстве, под водой, на дне океанов и морей и под землей.

Появятся роботы и у нас дома. К началу 90-х годов в США, например, планируется завершение работ по созданию роботов-домохозяек, способных выполнять в домашних условиях почти все утомительные и тяжелые операции (уборку помещений, приготовление пищи, уход за детьми и т. п.). Уже в детском возрасте человек будет сталкиваться с многочисленными роботами, которые станут для него такими же привычными элементами быта, как стали автомобиль, телевизор и многое другое.

Уже сейчас постепенно возникает новая мировая сеть обмена информацией. Она подобна мировой телефонной сети, но абонентами ее являются не люди, а ЭВМ. Удаленные на сотни и тысячи километров друг от друга, ЭВМ с большой скоростью могут обмениваться информацией, хранящейся в их памяти, и совместными усилиями решать задачи, непосильные для одиночной ЭВМ, сколь бы мощна она ни была. Сегодня за считанные секунды ЭВМ, стоящая в Москве, связывается через вычислительный центр Международного института прикладного системного анализа, находящийся в Вене, с ЭВМ, работающими в Швейцарии, Италии, США. Появление такой сети хранения и переработки информации ставит перед человечеством грандиозные задачи по ее использованию. Возможности этого технического гиганта пока еще не осознаны нами до конца. Робот ближайшего будущего получит возможность подсоединиться к этой мировой сети и, следовательно, получит возможность обмена информацией со своими собратьями и стационарными ЭВМ. Такая сеть будет эффективным источником пополнения модели мира робота новыми знаниями. Этот шаг роботостроения сделает уже к середине 90-х годов.

К этому же времени специалисты относят внедрение ЭВМ, построенных на принципах, резко отличающихся от тех, которые обеспечивает современная микроэлектроника. Вместо электрических сигналов в ЭВМ начнут использоваться световые сигналы. Оптоэлектроника уже сегодня располагает опытными образцами отдельных устройств для ЭВМ. Скорость работы элементов таких ЭВМ приближается к скорости света. По тысячам волокон параллельно во времени можно

передавать черно-белые картины, подобные тем, какие мы видим на экранах телевизоров. Разрабатываются основы специальной картинной логики, позволяющей обрабатывать такую информацию. А голография дает уникальную возможность хранить в памяти ЭВМ информацию о двумерных и трехмерных изображениях. Эти ЭВМ позволят иметь в роботах систему восприятия мира через рецепторы робота и хранения чувственных образов этого мира в модели мира в виде, отличном от символического, используемого сейчас и присущего семиотической системе. Роботы, в которых одновременно действуют две системы распределенных вычислительных ЭВМ — традиционная и оптоэлектронная — получат основу для реализации метапроцедур понимания, общения и чувственного представления. Это революционное изменение в мире роботов ожидается к концу 90-х годов.

К 2000-му году человечество столкнется с популярностью разнообразных роботов и других систем, интеллектуальный уровень которых будет в сотни раз выше уровня современного промышленного робота, выполняющего такие производственные операции, как сварку по сменной программе или сборку различного типа. Эти роботы будут способны к полноценному общению в заданной проблемной области, смогут хранить об этой области знаний информацию, не меньшую чем специалист-человек, и выполнять, целесообразно планируя, все процедуры, необходимые для решения задач в этой проблемной области. Другими словами, к 2000-му году человечество, если прогнозы окажутся верными, создаст совершенные специализированные роботы для работы в определенных сферах приложения человеческого труда и интеллекта.

4.2. Проблемы

Правое и левое. В начале 70-х годов в нейропсихологии было сделано удивительное открытие, которое буквально ошеломило весь научный мир. Американский нейрохирург Р. Орнстайн впервые произвел рассечение нервных путей, соединяющих между собой левое и правое полушария человеческого мозга. Эта необычная операция была вызвана необходимостью спасения больного, гибель которого без операции была

бы неизбежной. Впоследствии эту операцию перенесли еще несколько человек.

Психологи получили уникальную возможность в течение ряда лет наблюдать за мышлением людей, у которых оказались два механизма мышления, действующих одновременно и автономно. Что же дали эти наблюдения?

Была опровергнута устойчивая гипотеза о том, что оба полушария идентичны, взаимозаменяемы и созданы природой для большей надежности работы мозга, для компенсации выходов из строя тех или иных участков полушарий. Оказалось, что каждое из полушарий есть самостоятельная система восприятия внешнего мира, переработки информации о нем и планировании поведения в этом мире. Для людей, которых принято называть «правшами», левое полушарие, управляющее правой стороной тела, при грубой аналогии может быть уподоблено семиотической системе. Это как бы большая и мощная ЭВМ, имеющая дело со знаками и процедурами их обработки. В этом полушарии находится центр речи, язык есть детище этого полушария и его владыка. Мышление словами (включая внутреннее проговаривание при размышлениях) — это основной, если не единственный способ, реализуемый при мыслительных процедурах, локализованных в левом полушарии. Именно поэтому его называют «говорящим» или вербальным. Процедуры, характерные для левого полушария, словесно описываются и, следовательно, алгоритмизуемы. Это те метапроцедуры человека, которые мы можем уловить из его «рассуждений вслух», столь часто используемых в психологических экспериментах. Рационально-логические процедуры, включая целенаправленный поиск в лабиринте, декомпозицию целей, планирование, логический вывод и многое другое, подобное этому, — это процедуры левого полушария.

А правое полушарие совсем иное. Здесь реализуется мышление на уровне чувственных образов. Во сне, когда доминирующее у большинства людей левое полушарие отдыхает от напряженной дневной работы, правое полушарие становится более активным и человек видит яркие бессловесные сны, испытывает эмоциональные ощущения, которые вряд ли могут быть полностью выражены словами, как невыразима словами

музыка, процедура восприятия которой тесно связана с работой правого полушария. Если левое полушарие узнаёт и классифицирует элементы внешнего мира на основании логических процедур, например на основании выявления и оценки признаков, то правое полушарие реализует процедуры симультанного узнавания, ассоциативного узнавания, ситуативной классификации (вспомните пример классификации, когда объединяются в один класс такие предметы, как стол, скатерть, вилка, нож, хлеб и перец). Характерным чувством, целиком принадлежащим правому полушарию и никогда не выразимым словами, является чувство «уже виденного». В какой-то момент человека пронзает очень острое специфическое ощущение, что «это уже было со мною», «я уже это видел». Тот, кто хотя бы однажды испытал его, не спутает его ни с чем. Резонируют какие-то «мыслеобразы», столь характерные для правого полушария.

Итак, снова две системы: система чувственного восприятия внешнего мира и работы с этими чувственными «мыслеобразами» и система знакового описания внешнего мира и работы со знаковыми представлениями — элементами естественного языка. Эта дуальность неизбежна, и природа реализовала ее в полной мере у человека. Эта дуальность — основа нашего мышления.

Но как проникнуть в тайны правого полушария? Оно, к сожалению, молчаливо, невербально. Протекающие там процессы почти недоступны психологу и о них можно только догадываться. Это и объясняет «левополушарный крен» в теории интеллектуальных систем и роботов. Пока мы делаем и вкладываем в них то, что нам более понятно, объяснимо и алгоритмизуемо. Мир эмоций и влечений, неясных подсознательных мотиваций и установок, играющих огромную роль в мышлении и поведении человека, нам пока недоступен.

Поэтому центральными проблемами, еще ждущими своего решения в теории искусственного интеллекта, являются проблемы выявления метапроцедур правого полушария, увязка их действий с действиями метапроцедур левого полушария (ибо только при совместной работе обоих полушарий возникает феномен человеческого мышления и человеческого поведения) и, наконец, техническая реализация этих «правополушарных»

процедур (перцептрон показывает, что иногда это удается и на современном уровне наших знаний о процедурах правого полушария). Без решения этих проблем теория интеллектуальных систем не может плодотворно развиваться дальше, хотя и может предлагать достаточно развитые конструкции «левополушарных» роботов.

Два пути. Все специалисты, работающие в области теории и создания интеллектуальных систем, делятся на два лагеря. Первые, составляющие пока явное большинство, уверены, что всего можно достичь, оставаясь на «левополушарном уровне». Они рассуждают так:

Нам нужно создать систему не «интеллектуальную вообще», а предназначенную для выполнения вполне определенной работы. Если сама задача и процедуры, ведущие к ее решению, словесно объяснимы (а только такие задачи мы и в состоянии сегодня ставить), то «левополушарных» искусственных систем для нас вполне достаточно. И теория искусственного интеллекта не должна тратить время на «правополушарные» системы. К тому же практика создания технических систем по типу перцептрона показывает, что нет необходимости следовать за природой, создавшей биологические структуры мозга для решения интеллектуальных задач. Эти функции могут быть реализованы и на вербальном (знаковом) уровне.

Другая группа специалистов в этом глобальном утверждении сомневается. Они считают, что наши знания о метапроцедурах пока еще столь отрывочны и неточны, что оснований для большого оптимизма нет. Более целесообразным им кажется путь воссоздания искусственными средствами самой структуры мозга и процессов, протекающих в нем. Для этого создаются искусственные нейроны, реализуемые на техническом уровне. Эти нейроны соединяются в ансамбли, похожие на естественные. Моделируются глиальные клетки и их взаимосвязи с нейронами, образуются многослойные клеточные структуры с многочисленными связями между слоями. Другими словами, моделируется биологическая структура в том виде, как она есть в природе.

Достижения этой группы исследователей пока не слишком велики. Но надо учитывать и громадную сложность встающих перед ними задач.

Кто прав — покажет будущее. Но ясно одно, человек вступил на путь познания самого себя и своих возможностей в этом мире уже, давно и ничто не смогло сбить его с этого пути. Работы в области искусственного интеллекта, в области создания систем с высокой интеллектуальной способностью уже нельзя остановить и тем более запретить. Процесс нашего познания мира и себя как его неотъемлемой частицы никогда не прерывается.

НЕСКОЛЬКО ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СЛОВ

— Приему работы никогда не смогут заменить человека?

— Ответ на этот вопрос прекрасно знают людиеды.

Профессиональный юмор

Вот и подошла к концу наша книга. Настало время дать ответ на вопрос, вынесенный в ее название: является ли искусственный интеллект наукой или это пока область писателей-фантастов и мечтателей от науки? Автор будет считать, что он справился со своей задачей, если читатели почувствовали правильный ответ на этот вопрос.

Да — искусственный интеллект сегодня уже может быть назван наукой. У этого направления исследований есть свой специфический предмет исследования — изучение психики человека с целью имитации ее в технических системах, решающих определенный набор практических задач, традиционно считавшихся интеллектуальными. Имеются и свой специфический научный язык, и свои специфические методы решения проблем, первые сведения о которых изложены на страницах этой книги.

А для тех читателей, которые разочарованы тем, что они не нашли на страницах этой книги точных определений интеллекта и разума, приводится последняя и завершающая книгу цитата из повести «Пикник на обочине» наших известных писателей-фантастов А. и Б. Стругацких:

«...я должен предупредить вас, Ричард, что ваш вопрос находится в компетенции псевдонауки под названием ксенология. Ксенология — это некая неестественная помесь научной фантастики с формальной логикой. Основой ее метода является порочный прием — навязывание инопланетному разуму человеческой психологии.
— Почему порочный? — сказал Нунан.

ЧТО ЧИТАТЬ ОБ ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

— А потому, что биологи в свое время уже обожглись, когда пытались перенести психологию человека на животных. Земных животных, заметьте.

— Позвольте,— сказал Нунан.— Это совсем другое дело. Ведь мы говорим о психологии разумных существ...

— Да. И все было бы очень хорошо, если бы мы знали, что такое разум.

— А разве мы не знаем? — удивился Нунан.

— Представьте себе, нет. Обычно исходят из очень плоского определения: разум есть такое свойство человека, которое отличает его деятельность от деятельности животных. Этакая, знаете ли, попытка отграничить хозяина от пса, который якобы все понимает, только сказать не может. Впрочем, из этого плоского определения вытекают более остроумные. Они базируются на горестных наблюдениях за упомянутой деятельностью человека. Например: разум есть способность живого существа совершать нецелесообразные или неестественные поступки.

— Да, это про нас, про меня, про таких, как я, — горестно согласился Нунан.

— К сожалению. Или, скажем, определение-гипотеза. Разум есть сложный инстинкт, не успевший еще сформироваться. Имеется в виду, что инстинктивная деятельность всегда целесообразна и естественна. Пройдет миллион лет, инстинкт сформируется, и мы перестанем совершать ошибки, которые, вероятно, являются неотъемлемым свойством разума. И тогда, если во Вселенной что-нибудь изменится, мы благополучно вымрем,— опять же именно потому, что разучились совершать ошибки, то есть пробовать разные, не предусмотренные жесткой программой варианты».

Есть разные категории читателей. Одни из них будут полностью удовлетворены тем, что сказано в этой книге. Другие захотят узнать об искусственном интеллекте больше и глубже. Третьи захотят стать специалистами в этой области. Автор лишен возможности дать сколько-нибудь объемлющую библиографию по проблемам, затронутым в этой книге. Да вряд ли это и нужно. Тогда книга стала бы не научно-популярной, а просто научной. Поэтому те источники, которые указаны ниже,— это лишь первые маяки в безбрежном уже, к сожалению, море литературы по искусственному интеллекту. Они рассчитаны в основном на любознательность читателей второй группы. Тем же, кто решил стать профессионалом, нужно начинать с углубленного и полного овладения дискретной математикой, математической и формальной логикой, психологией мышления, структурной лингвистикой и многим другим. Ибо специалист в области искусственного интеллекта опровергает знаменитый афоризм Козьмы Пруткина о том, что всякий специалист подобен флюсу.

1. Гаазе-Рапопорт М. Г. Автоматы и живые организмы.—М.: Физматгиз, 1961.—224 с.

В этой книге, изданной в самом начале развития кибернетики в нашей стране, читатель найдет прекрасное изложение развития идей, приведших от автоматических устройств египетских и вавилонских жрецов к автоматам начала шестидесятих годов. Книга эта и до настоящего времени ничуть не устарела и пользуется заслуженным успехом у специалистов. А большая библиография, приведенная в ней, позволит найти новые интересующие читателя книги по истории внешнего моделирования интеллектуальных систем.

2. Ладенко И. С. Интеллектуальные системы и логика.—Новосибирск: Наука, 1973.—171 с.

От Аристотеля и Декарта до современных специалистов в области формальной логики анализирует автор влияние логических идей на формирование понятия интеллектуальной системы. По его мнению, новые неклассические формальные системы окажут большое влияние не только на развитие работ в области искусственного интеллекта, но и на объяснение психологических феноменов мышления. Библиография, приведенная в этой книге, включает в себя более 300 работ.

3. Печерский Ю. Роботы среди людей.—Кишинев: Картия Молдовеняскэ, 1979.—90 с.

4. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект.—М.: Наука, 1978.—191 с.

5. Чачко А. Искусственный разум.—М.: Молодая Гвардия, 1978.— 222 с.

Книги [3—5] написаны простым и ясным языком. Весело и непринужденно рассказывают их авторы о состоянии работ в области роботов и других интеллектуальных систем, как оно представлялось в середине семидесятых годов.

6. Слэйгл Дж. Искусственный интеллект.—М.: Мир, 1973.— 319 с.

7. Нильсон Н. Искусственный интеллект.—М.: Мир, 1973.— 270 с.

8. Хант Э. Искусственный интеллект.—М.: Мир, 1978.— 558 с.

Последние три книги со столь однообразным названием принадлежат трем ведущим специалистам в области интеллектуальных систем, работающим в США. Каждый из них подводит итоги очередного развития работ в этой области. Внимательный читатель заметит и то, что авторы этих книг несколько расходятся в очерчивании области интеллектуальных программ и основных теоретических проблем. Чтение книг предполагает знакомство с основными положениями и идеями дискретной математики и программирования для ЭВМ. Они ориентированы на специалистов и тех, кто собирается встать в их ряды. Библиография в этих книгах позволит читателям получить сведения обо всех основных работах по интеллектуальным системам, которые были опубликованы в США и других западных странах к моменту написания книг.

9. Поспелов Д. А., Пушкин В. П. Мышление и автоматы.—М.: Советское Радио, 1972.— 222 с.

10. Пушкин В. Н. Психология и кибернетика.—М.: Просвещение, 1971.— 230 с.

11. Амосов Н. М. Алгоритмы разума.—Киев: Наукова думка, 1979.—221 с.

В книгах [9—11] обсуждаются те метапроцедуры, которые могут лежать в основе творческой деятельности человека и которые могут быть использованы в искусственных системах, имитирующих эту деятельность. О вкладе В. Н. Пушкина в развитие этих вопросов мы уже говорили в этой книге, Н. М. Амосов и его школа идут несколько иным путем. Их процедуры реализуются не в информационном плане в виде алгоритмов и программ для ЭВМ, а на уровне специальных нейроподобных структур (авторы называют их «сети усиления — торможения»). Другими словами, эта школа советских исследователей идет по пути приближения воспроизводящих структур искусственных систем к структурам, присущим живым организмам и, в частности, человеку.

12. Дрейфус Х. Чего не могут вычислительные машины, 1979.— М.: Прогресс—332 с.

Эта фамилия также упоминалась в нашей книге. Критика любой научной области и ее методов, если она не огульна и не голословна, всегда полезна и интересна. Сейчас уже трудно согласиться со многими возражениями автора (и в послесловии к книге известного советского философа, много занимающегося проблемами, связанными с искусственным интеллектом, В. В. Бирюкова говорится об этом весьма точно), но ряд возражений Дрейфуса и до сих пор не потерял своей актуальности,

Книга написана на уровне, доступном самому широкому кругу читателей. И не рекомендовать ее можно только тем, кто готов критиковать искусственный интеллект без того, чтобы опираться на какие-либо глубокие соображения.

13. Цетлин М. Л. Исследования по теории автоматов в моделировании биологических систем.— М.: Наука, 1969.— 316 с.

14. Бонгард М. М. Проблема узнавания.—М.: Наука, 1967.— 320 с.

15. Минский М. Фреймы для представления знаний,— М.: Энергия, 1979.— 151 с.

Эти три книги принадлежат выдающимся исследователям, получившим фундаментальные результаты, важные для систем искусственного интеллекта. Читать их нелегко, но те, кто хотят войти в ряды специалистов в этой области, прочитать их должны.

16. Заринов Р. Х. Кибернетика и музыка.—М.: Наука, 1971.—235 с.

17. Ботвинник М. М. О решении неточных переборных задач.— М.: Советское Радио, 1979.— 149 с.

18. Адельсон-Вельский Г. М., Арлазаров В. Л., Донской М. В. Программирование игр.— М.: Наука, 1978.— 253 с.

О применении ЭВМ при сочинении музыкальных произведений и для игры в шахматы и другие игры рассказано на профессиональном уровне в книгах [16—18]. А обширнейшая библиография, приведенная в первой и третьей книгах, позволит читателям получить надежные ориентиры для плавания в безбрежном море литературы по этим проблемам.

19. Иванов Вяч. Вс. Чёт и нечет.—М.: Советское Радио, 1978.— 184 с.

«Правое» и «левое» у человека. Связь функций и процессов, протекающих в двух полушариях, и принципиальные выводы из наличия у человека и многих других живых организмов такого дуального механизма. Обо всем этом рассказано в книге Иванова увлекательно и на отличном научном уровне. Читать эту книгу может любой. Никаких специальных знаний у читателя она не предполагает.

20. Залманзон Л. А. Беседы об автоматике и кибернетике.— М.: Наука, 1981.— 414 с.

В конце концов все системы искусственного интеллекта и роботы должны быть воплощены в металле. О том, как это можно сделать, как системы искусственного интеллекта связаны с техническими системами, увлекательно рассказано в этой книге, читателем которой может быть любой человек, окончивший школу.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автомат вероятностный 79
 — конечный 76
 — конструирующий 103
 — с линейной тактикой 90
 — с переменной структурой 92
 Адаптация 83
 — динамическая 91
 Аксиома 30
 Алгоритм 42
 — вероятностный 53
 — размытый 62
 Алгоритм нормальный 48
 «Альфа» 11
 Андроид 9
- Беседы сократические 14
 Блок биполярных клеток 125
 — ганглиозных клеток 125
- «Введение в категории Аристотеля» 19
 «Вилли» 12
 Выборка обучающая 115
 — экзаменационная 118
 Вывод лексический 174
 — положения 20
 Выказывание 54
 Вычислитель универсальный 80
- «Геометрия» 124
 Герменевтика 19
 Гештальт 120
 Гипотеза лабиринтная 133
 — модельная 141
 — Уорфа 189
 Голем 7
 Гомункулус 8
 Граф автоматный 78
- Дедукция 17
 Декомпозиция 150
- 216
- Дерево 107
 Детерминированность 43
 Диалог 191
 — фатический 131
 Дизъюнкция 55
 «ДОКТОР» 131
- «Евтидем» 37
- Заклучение индуктивное 152
 — по аналогии 21
 Знания декларативные 163
 — процедуральные 163
- Изоп 29
 Имитация 104
 Императив 158
 Импликация 55
 Индукция 24
 Инсайт 141
 Исчисление 27, 53
 — высказываний 27
 — классов 27
 — отношений 27
 — предикатов 59
- «Каисса» 104
 «Кал-ва-Хомер» 22
 Квазиалгоритм 61
 Квантификатор 158
 — размытый 174
 Квантор общности 60
 — существования 60
 Классификация 114
 — категориальная 175
 — ситуативная 175
 Клетки биполярные 125
 — ганглиозные 125
 Кодирование 50
 Конструирование автомата 100
 Конъюнкция 55
- Кора 125
 «Кормушка» 94
 Кукла человекоподобная 6
- Лабиринт возможностей 133
 Логика Аристотеля 15
 — временная 167
 — пространственная 174
 — рассуждений 14
 — ситуативная 173
- Логики мира 166
 — псевдофизические 167
- «Максимы» 18
 Манипулятор 183
 Массовость 42
 Машина Тьюринга 45
 — имитирующая 50
 Метапроцедура 133
 — категориальная 176
 — классификации элементов ' 183
 — понимания 185
 — ситуативная 176
 Метод аналогий 22
 Множество базовых элементов 28
 Модальность 158
 Модель семантическая 155
 — синтаксическая 155
 Модификатор 158
 — размытый 175
 Музыка машинная 110
- Непротиворечивость 58
 «Новый органон» 25
- Образ целостный 120
 «Общая касса» 95
 Общение 178
 «Общий решатель задач» 134
 Объект формальный 27
 Озарение 141
 Оператор присваивания 65
 Отношения бинарные 146
 — временные 148
 — динамические 148
 — каузальные 148
 — квантифицирующие 148
 — пространственные 148
 — родо-видовые 148
 — тернарные 146
 Отрицание 54
- Оценка 158
 «О числах и знаках» 35
- Пазиграфия 38
 Перевод машинный 184
 Перцептрон 120
 — универсальный 123
 «Пионер» 109
 Планирование 193
 Поведение 193
 Подкорка 125
 Подстановка 48
 Полнота 58
 Понимание 183
 Построение лабиринта 142
 Посылка большая 17
 — малая 17
 Правило вывода 27, 31
 — классификации 117
 — решающее 117
 — семантическое 31
 — синтаксическое 28
 Предикат 60
 Представление декларативное 163
 — процедуральное 163
 «Принцип наименьшего взаимодействия» 92
 Проблема классификации 114
 — узнавания 112
 Программа «Геометрия» 124
 — «ДОКТОР» 131
 — игровая 105
 — «Каисса» 104
 — «Общий решатель задач» 134
 — «Пионер» 109
 — узнавания 115
 — шахматная 104
 — эвристическая 110
 — «ЭЛИЗА» 131
 Программирование 50
 Процедура автоматная 75
 — выявления остатка 153
 — различия 153
 — сходства 152
 — изменений 153
 — «развал на кучи» 118
- Раздражитель безусловный 65
 — условный 65
 Ранг рефлексии 96
 Ранжирование 108

ОГЛАВЛЕНИЕ

<p>Распознавание образов 115 Рассуждение дедуктивное 24 — индуктивное 24 Результативность 43 Робот 11 — «Альфа» 11 — «Вилли» 12 — «Телевокс» 11 — «Эрик» 11</p> <p>Самовоспроизведение 109 Связь обратная 71 Семантика математическая 27 СЕМП 185 Силлогизм 16, 18 Силлогистика Аристотеля 19 Синтез логический 75 Система дедуктивная 27 — интеллектуальная 130 — семиотическая 178 — формальная 27 Совместимость ситуативная 114 Состояние 158 Софизм 37 Способ толкования 20 Структуризация 146 Сценарий 152</p> <p>Таблица автоматная 76 — управления 45 — Шиклоши 202 Тезис об универсальности 49 «Телевокс» И Теория конечных автоматов 75 — логического синтеза 73 — силлогизмов 15 Тьюринга машина 45</p> <p>Узнавание 112 — симультанное 119 Умозаключение дедуктивное 17</p>	<p>Универсальность 49 Упорядоченность 48 Устройство дискретное 73</p> <p>Формализация поступков 197 Формирование закономерностей 152 Формула логическая 57 Фрейм 163 — ролевой 166</p> <p>«Хекеш» 21</p> <p>Шкала абсолютная 168 — относительная 168 — размытая 169 Школа перипатетическая 18</p> <p>Эволюция 100 Эвристика НО Эвристики НО Элемент базовый 28 Элементы формальной системы 28 «ЭЛИЗА» 131 «Эрик» 11 Эсперанто 40 Эффектор 183</p> <p>Язык алгоритмический 63 — естественный 179 — жестов 35 — логического типа 162 — реляционный 158 — семантических представлений 185 — СЕМП 185 — философский 37 — фреймового типа 163 — ЭВМ 180 Языки 32, 154 — представления знаний 157 Modus ponens 27</p>	<p>Несколько вводных слов 3</p> <p>Глава первая. ПРЕДЫСТОРИЯ 5</p> <p>1.1. «Искусственные люди» 5 Подвиг Фомы (5). Робот из глины (7). Гомункулус (8). Андройды (9). Тупиковая ветвь (12).</p> <p>1.2. Логика рассуждений 14 Сократические беседы (14). Аристотель (15). Герменевтика (19). Индукция (24). От логики к математике (26).</p> <p>1.3. Языки описания мира 32 Вавилонская башня (32). Жесты и вещи (34). Философский язык (37). Языки без исключений (39).</p> <p>1.4. Краткое резюме 40</p> <p>Глава вторая. ИСТОРИЯ 42</p> <p>2.1. Формализация процедур 42 Алгоритм (42). Уточнение алгоритма (44). Тезис об универсальности (49). Исчисления и алгоритмы (51). Квазиалгоритмы (61). Алгоритмические языки (63).</p> <p>2.2. Реализация процедур 70 Точная механика (70). Неистовый МАГ (73). Автоматные процедуры (75). Универсальные вычислители (80).</p> <p>2.3. Моделирование и имитация 83 Адаптация (83). Динамическая адаптация (91). «Кормушки» и «Общая касса» (92). Самовоспроизведение и эволюция (100). «Что наша жизнь?—Игра!» (103). Эвристика и эвристики (109). Узнавание (412). Перцептроны (120).</p> <p>2.4. Краткое резюме 126</p> <p>Глава третья. СОВРЕМЕННОСТЬ 129</p> <p>3.1. Метапроцедуры 129 Связка ключей или отмычка? (129). Лабиринтная гипотеза (133). Модельная гипотеза (141). Структуризация (146). Сколько их еще? (150).</p> <p>3.2. Модели мира 154 Языки представления знаний (154). Процедуральные и декларативные представления (162). Логика мира (166). «Слоеный пирог» (175).</p>
--	--	--

3.3. Общение	178
Язык как семиотическая система (178). Естественный язык и язык ЭВМ (180). «Дело Дрейфуса» (182). Понимание (183). Гипотеза Уорфа (189). Диалог (191).	
3.4. Поведение	193
Планирование (193). Нормы и законы (196). Формализация поступков (197).	
3.5. Краткое резюме	200
Глава четвертая. БУДУЩЕЕ	202
4.1. Прогнозы	202
Таблица Шиклоши (202). Что и когда (204).	
4.2. Проблемы	206
Правое и левое (206). Два пути (209).	
Несколько заключительных слов	211
Что читать об искусственном интеллекте?	213
Предметный указатель	216

Дмитрий Александрович Поспелов

ФАНТАЗИЯ ИЛИ НАУКА?
На пути к искусственному интеллекту

Редактор Ю. Г. Гуревич
Технический редактор Е. В. Морозова
Корректор О. М. Кривенко

ИБ № 12025

Сдано в набор 08.02.82. Подписано к печати 16.08.82.
Т-16715. Формат 84x108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 11,76.
Уч.-изд. л. 11,95. Тираж 150 000 экз. Заказ № 71. Цена 35 коп.

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва. В-71, Ленинский проспект, 15

4-я типография издательства «Наука».
630077, г. Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

35 коп.

По каким правилам мы рассуждаем?

Как это делает ЭВМ?

Сыграет ли электронный шахматист в шашки?

Ненновый вопрос: может ли машина мыслить?

Нужно ли роботу правое полушарие?

Что это такое – разум?

