

**О ПРОБЛЕМАХ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТА**

Поскольку вычислительная техника становится основой автоматизации умственного труда, начинают говорить о появлении искусственного интеллекта. Но успехи интеллектуализации вычислительной техники невелики, особенно если сравнивать достигнутое с ожиданиями и прогнозами 50—60-х гг. Автоматический перевод в хорошем виде так и не получился. Распознавание образов увязает в огромных трудностях. Как достичь машинного понимания речи — никто не знает. Естественный язык машина не освоила. Общение с ЭВМ для человека по-прежнему остается неудобным и нелегким делом. Приходится признать, что термин «искусственный интеллект» выражает пока лишь систематически несбывающиеся ожидания.

Характеристика ЭВМ как «ученых идиотов», данная Шенноном более 30 лет назад, остается в силе и сегодня. Основные проблемы, перед которыми разработчики искусственного интеллекта остановились в 50-е годы, до сих пор не преодолены. Машины пока не мыслят, и нет надежд на то, что у них в обозримом будущем появятся проблески разума, если события и дальше будут развиваться подобным образом. Ощущение такое, что техника искусственного интеллекта стоит перед неприступной стеной и обход ее совершенно невозможен. И дело здесь не в слабости технических возможностей современной вычислительной техники: уже сейчас наиболее крупные автоматически действующие информационные системы превосходят человеческий мозг по производительности и объему памяти. Причины трудностей в другом — слишком уж несовершенна функциональная организация существующих систем искусственного интеллекта.

Можно ли надеяться на кардинальные сдвиги в области искусственного интеллекта? История развития науки свидетельствует о том, что качественным сдвигам после длительного периода застоя всегда предшествует изменение точки зрения на предмет исследования. Думается, что и в области искусственного интеллекта прорыв может быть обеспечен только при новом подходе к проблеме. Такой новый подход, по нашему мнению, может дать бионика. До сих пор умственные способности машин развивались почти исключительно за счет инженерно-изобретательской деятельности. Практически все достижения последних десятилетий здесь получены за счет новых технических решений. Разработчики автоматических информационных систем лишь в крайне незначительной степени используют уже существующие в природе механизмы и явления интеллектуальной деятельности. Однако при создавшемся положении недостаточно опираться только на изобретательство, инженерную деятельность при создании систем искусственного интеллекта.

Надо опираться также и на те решения, которые накопила природа. Пора уже осваивать патенты природы, изучать закономерности естественного интеллекта. Ведь все те умственные способности, которые желательно привить машине, уже имеются у человека, причем в достаточно развитом виде, и неразумно пренебрегать этой подсказкой природы. Это тем более необходимо, что никакой другой интеллект, кроме человеческого, пока науке недоступен. Можно с большой степенью уверенности утверждать, что нет двух различных видов интеллекта — машинного и человеческого, законы интеллекта одинаковы вне зависимости от того, кому они принадлежат: людям, машинам или инопланетянам. Если и в самом деле машинам суждено поумнеть, то они обязательно будут мыслить по тем же законам, по которым мыслит человек.

Многого бы достигла ядерная энергетика, если б она не опиралась на открытия физики? И космонавтика — если бы она не основывалась на достижениях механики и других естественных наук? Все преуспевающие области техники опираются на изучение соответствующих законов природы. И только одна техника искусственного интеллекта этого не делает. И на этом сильно проигрывает. До тех пор, пока положение кардинально не изменится и наука не обратится к серьезным и систематическим исследованиям человеческого интеллекта, дело создания искусственного интеллекта вряд ли сдвинется с мертвой точки. Такие исследования, конечно, потребуют огромных средств и усилий, однако в других областях науки и техники охотно идут на это и находят очень выгодным. Все же лучше ценой больших усилий и затрат медленно двигаться вперед, чем топтаться на одном месте.

Наука, изучающая механизмы естественного интеллекта с целью использования добытых знаний для создания систем искусственного интеллекта, называется *теорией интеллекта* [1, с. 3, 4]. Один из пионеров в области искусственного интеллекта Нильсон писал: «Если бы такую теорию интеллекта можно было создать, то с ее помощью можно было бы направленно вести разработку интеллектуальных машин» [2, с. 12]. Теория интеллекта — это не техника, это — область естествознания, физики. Имеется физический объект — человек с его интеллектом. Требуется математически описать законы, управляющие интеллектуальной деятельностью человека. Требование математического оформления результатов исследований для теории интеллекта обязательно. Дело в том, что чисто словесные неформализованные описания умственных способностей человека, которые дает психологическая наука, нельзя передать машине; их понимает человек, но они недоступны машине. Машина может усвоить только полностью формализованные знания.

Как достичь прогресса в разработке теории интеллекта, в каких направлениях ее развивать? Чтобы ответить на эти вопросы, полезно учесть опыт физики. Первое, что бросается в глаза, — это то, что физика пользуется хорошо развитым математическим аппаратом. Открываемые в физике законы описываются в виде ма-

тематических уравнений, которые задают те или иные отношения. Математики также разрабатывают методы решения уравнений. Решая уравнения при заданных начальных условиях относительно тех или иных переменных, инженеры получают функции, описывающие те или иные физические процессы. Аналогично этому, в теории интеллекта можно ставить задачу разработки специального математического аппарата уравнений для описания законов интеллекта и аппарата функций для описания интеллектуальной деятельности.

Представляется, что для теории интеллекта прежде всего необходим математический аппарат. Может быть, для нее подойдет математический аппарат, используемый в физике? А там используется непрерывная или континуальная математика. Для каких-то периферийных задач теории интеллекта континуальная математика наверняка подойдет. Например, на языке интегрального исчисления удобно описывать работу органов чувств [3, с. 114]. Однако ясно, что главной опорой для теории интеллекта такой аппарат стать не может, интеллект — инструмент универсальный, и для своего формального описания он, естественно, нуждается в универсальном математическом аппарате. Аппарат же вещественных функций, дифференциального и интегрального исчисления, созданный для нужд физики, весьма специален, он явно не обладает свойством универсальности. Но может быть, подойдет аппарат дискретной или счетной математики, разработанный теорией алгоритмов и автоматов? Однако этот математический аппарат тоже не универсален, о чем свидетельствует теорема Геделя о неполноте. Об эту теорему в свое время разбилась программа Гильберта создания теории доказательств на базе счетной математики. Теорию доказательств Гильберт понимал как науку о правилах, согласно которым действует наше мышление, т. е. по существу как теорию интеллекта.

Означает ли это, что универсальный математический аппарат, необходимый для теории интеллекта, вообще невозможен? Гильберт с таким выводом не соглашается. Он пишет: «...возникшее на определенное время мнение, будто из результатов Геделя следует неосуществимость моей теории доказательств, является заблуждением. Этот результат на самом деле показывает только то, что ... финитная точка зрения должна быть использована некоторым более сильным образом ...» [4, с. 19]. В этом высказывании мы усматриваем призыв к переходу от счетной математики к конечной. В другом месте Гильберт отмечает: «Общий вывод таков: бесконечное нигде не реализуется. Его нет в природе, и оно недопустимо как основа нашего разумного мышления, — здесь мы имеем замечательную гармонию между бытием и мышлением» [5, с. 364].

Теорема Геделя о неполноте на конечную математику не распространяется, поэтому последняя свободна от ограничений, которым подвержена счетная математика. Отсюда вытекает вывод: именно конечная математика представляет из себя тот единствен-

но возможный универсальный язык формального описания, который так необходим теории интеллекта. Сказанное вовсе не означает, что континуальная или счетная математика неприменима в теории интеллекта. Она применима, но не в качестве универсального средства формального описания интеллектуальной деятельности человека. Так, с помощью интегралов можно описать преобразование зрительной системой человека светового излучения в цветное ощущение. Однако это описание будет не вполне точным, поскольку в нем не учитывается факт конечной чувствительности органа зрения. Чтобы его учесть, необходим переход на язык конечной математики.

С прикладной точки зрения язык конечной математики тоже представляется вполне приемлемым, так как любые системы искусственного интеллекта имеют конечную сложность, и на них можно практически воспроизвести лишь те интеллектуальные процессы, которые допускают математическое описание на языке конечной математики. Итак, остановимся на конечной математике. Но в виде какой конкретной алгебраической системы она должна использоваться в теории интеллекта? Здесь вывод тоже получается однозначным: нужна алгебра конечных предикатов. На языке алгебры конечных предикатов можно записать любое конечное отношение и любую конечную функцию. Выражение произвольной конечной функции в явном виде, как подчеркивается в этой книге, также достигается после некоторого расширения аппарата алгебры конечных предикатов. Это означает, что на языке алгебры конечных предикатов можно выразить любой закон интеллекта и любую интеллектуальную деятельность, реализуемые на ЭВМ.

Все то, что можно выразить на языке алгебры конечных предикатов, можно также практически воспроизвести на ЭВМ. И обратно, все то, что можно реализовать на ЭВМ, можно также записать на языке алгебры конечных предикатов. Таким образом, существует точное соответствие между описательными возможностями алгебры конечных предикатов и возможностями вычислительных машин фактически реализовать описания этой алгебры. Вывод о том, что для теории интеллекта нужна именно алгебра конечных предикатов, подкрепляется еще и тем, что к алгебре конечных предикатов ведут буквально все пути. Так, если язык теории графов дополнить формульным аппаратом, то в результате получаем алгебру конечных предикатов. Если алгебру логики обобщить и перейти от двоичных переменных к буквенным, — тоже получаем алгебру конечных предикатов. Если многозначную логику дополнить языком для записи отношений, — снова приходим к алгебре конечных предикатов. Наконец, если взять конечный фрагмент логики предикатов и алгебраизировать его, то и в этом случае приходим к той же алгебре конечных предикатов.

Очень важно то, что алгебра конечных предикатов служит для теории интеллекта не только формальным языком описания законов интеллекта и интеллектуальной деятельности человека. Ее роль оказывается гораздо более значительной. Можно сказать, что ал-

гебра конечных предикатов в действии — это и есть интеллект. Структуры алгебры конечных предикатов выражают самую суть интеллектуальных процессов и явлений, они допускают непосредственную интерпретацию в психологических терминах. Так, формулы алгебры конечных предикатов можно непосредственно интерпретировать как фразы естественного языка; предикаты, обозначаемые формулами, — как мысли человека; операции над предикатами — как мыслительную деятельность человека. Уравнения алгебры конечных предикатов интерпретируются как законы мышления. Минимизация формул непосредственно связывается с лаконизмом речи. Декомпозиция формул соответствует расчленению текста на отдельные предложения в процессе речи.

Предикаты различных порядков соответствуют понятиям человека различного уровня абстрактности. Решение уравнений алгебры конечных предикатов соответствует мыслительной деятельности человека. Благодаря наличию такой широкой содержательной интерпретации, даже чисто математическая разработка алгебры конечных предикатов позволяет вместе с тем продвигать вперед разработку самой теории интеллекта. Минимизация, декомпозиция, решение уравнений, методы тождественного преобразования формул — это также вопросы, которые должны разрабатываться в первую очередь. В этой области уже сейчас имеются существенные результаты и проводятся дальнейшие исследования.

Другая важная проблема теории интеллекта, которая также поддается сравнительно легкой и быстрой разработке, заключается в формальном описании математических понятий, используемых людьми в своей интеллектуальной деятельности. Любое математическое понятие, любой математический знак, будучи переведены на язык алгебры конечных предикатов, немедленно становятся доступными для систем искусственного интеллекта. Объем работ в этой области предстоит выполнить очень большой. Оказывается, что даже самые простые понятия математики, такие как принадлежность элемента множеству, равенство и включение множеств, декартово произведение множеств, исчерпывающим образом еще не описаны на языке конечной математики. Работы в этой области уже начаты и получены первые результаты. Описание же таких математических объектов, как непрерывность, интеграл, производная, т. е. понятий континуальной математики, практически еще и не начиналось. Выражение понятий континуальной и счетной математики на языке конечной математики вполне осуществимо. О возможности этого в свое время писал еще Гильберт [5, с. 356]. В этой области также предстоит выполнить огромный объем работ. Когда все эти работы будут доведены до конца, вычислительные системы смогут оперировать математическими понятиями столь же легко и свободно, как это делает человек.

Алгебра конечных предикатов приносит свои плоды и в такой, казалось бы, устоявшейся области, как синтез схем ЭВМ [6]. До сих пор математической основой такого синтеза служила двоичная алгебра логики. Оказывается, синтез схем можно вести так-

же и на базе буквенной алгебры конечных предикатов. При этом появляются ценные дополнительные возможности. Схемы получаются сильно распараллеленными, их структура весьма напоминает строение нейронных ансамблей, которые нейрофизиологи находят в мозге животных и человека. Возникает множество интересных задач, связанных с разработкой методов синтеза схем на базе алгебры конечных предикатов. К ним, в частности, относятся синтез схем, реализующих частичные алфавитные операторы, синтез вполне конечных автоматов, разработка специализированных схем для автоматической обработки текстов.

Алгебра конечных предикатов наводит на определенные размышления и по поводу методов программирования будущих вычислительных машин. Если мысли — это конечные предикаты, а мыслительная деятельность — процесс решения уравнений алгебры конечных предикатов, то отсюда вытекает возможность полного отказа от внешнего программирования вычислительных машин. Для того чтобы человек мог решать определенные задачи, нет надобности каждый раз снабжать его специальной программой действий. Ему лишь сообщают условия задачи. Например, из пункта А в пункт В выехал велосипедист, расстояние такое-то, время такое-то и т. д., т. е. школьнику сообщаются только связи, присутствующие в задаче, иными словами — ему задается некоторая система отношений. Эти отношения школьник переводит на язык алгебраических уравнений, а затем решает полученные уравнения и таким способом приходит к решению задачи. У школьника имеется «внутреннее программное обеспечение» в виде умения составлять уравнения и решать их. А больше ему для решения задачи ничего и не требуется.

Если следовать этой аналогии, то вычислительную машину достаточно будет снабдить только внутренним программным обеспечением, которое могло бы переводить условия задачи, поступающие в машину, с естественного языка, удобного человеку, на язык уравнений, удобный машине, и могло бы решать получаемые уравнения. При этом никакие программы пользователю ЭВМ не потребуются. Пользователь должен сообщить машине на удобном ему языке лишь условия задачи и что именно требуется найти. Остальное машина сможет сделать сама. При таком подходе мощь систем машинного интеллекта будет определяться лишь тем, какова предельная сложность уравнений алгебры конечных предикатов, которые способна эффективно обработать данная система машинного интеллекта.

Описанный подход к программированию порождает массу интереснейших задач. Нужно, к примеру, научиться выражать на языке алгебры конечных предикатов отношения, заключенные во фразах естественного языка, а также смысл слов и понятий, которыми пользуется человек. Важна и обратная задача: научиться переводить выражения алгебры конечных предикатов на естественный язык, транслировать формулы с высокого уровня абстракции на более низкий и наоборот. Все эти вопросы достаточно легко

поддаются научной разработке, но их очень много, и поэтому требуется привлечение больших сил в эту область, если желательно, чтобы теория интеллекта смогла в обозримом будущем оказать существенную помощь разработчикам систем искусственного интеллекта.

Одна из интереснейших задач теории интеллекта состоит в том, чтобы суметь добраться физическими методами до субъективных состояний человека. Мысли человека, его ощущения, представления, восприятия — все это субъективные состояния. Точные знания о них необходимы в теории интеллекта. Но субъективные состояния человека идеальны, они бестелесны, их не пощупаешь как физический предмет, непосредственно не измеришь как массу тела или силу тока. Если окажется, что мысли, восприятия и представления человека недоступны объективному, т. е. строго научному исследованию, то вся теория интеллекта повисает в воздухе, становится бездоказательной. Например, выше утверждалось, что мысли — это ни это иное как конечные предикаты. Но если этого нельзя будет доказать физическим экспериментом, то все подобные заявления останутся всего лишь беспочвенными предположениями.

К счастью, теория интеллекта располагает общим методом вполне объективного физического изучения психологических состояний человека, в том числе его ощущений, восприятий, представлений, понятий и мыслей. Это — *метод сравнения* [3, с. 85], который основан на понятии конечного предиката. Согласно этому методу сам человек выполняет роль экспериментальной установки. В опыте испытуемому предъявляются внешние физические предметы — зрительные картинки, звуки, фразы, тексты и т. п. Испытуемый их воспринимает и реагирует на них двойным ответом «да» или «нет», руководствуясь специальным заданием исследователя. Этим своим поведением испытуемый реализует некоторый конечный предикат. Свойства этого предиката экспериментально изучаются и математически формулируются. Исследователь всегда может дать такое задание испытуемому, чтобы из свойств реализуемого им предиката можно было путем специального математического анализа чисто логически вывести полное математическое описание изучаемых субъективных состояний испытуемого, а также найти вид функции, лежащей в основе преобразования физических предметов в порождаемые ими субъективные образы.

Таким образом, параметры внутреннего мира человека могут быть объективно измерены, правда, это будут не прямые измерения, а косвенные, но от этого их сила не уменьшается. Именно таким путем было, например, установлено, что цветовые ощущения человека можно формально представить в виде троек чисел, которые получаются в результате интегрирования спектров соответствующих световых излучений с определенными весовыми функциями. Точно так же можно доказать, что наши мысли — это конечные предикаты вполне определенного вида. Этим же методом можно будет найти вид функции, преобразующей тексты в соответствующие им смыслы и т. п. Все это — не беспочвенные фанта-

зии, многое из этого делается уже сегодня, и ряд важных результатов на этом пути уже получен. Но получение подобных результатов достигается ценою огромного труда.

Вообще, как показывает история развития науки, любое физическое исследование, имеющее целью математическое описание законов природы, всегда дается ценою затраты очень больших трудов. Другого пути, к сожалению, в науке нет. Этим же ограничениям подвержены и исследования в области теории интеллекта. Преодолеть это ограничения можно лишь расширением фронта работ в данной области. Как показывает опыт уже приведенных исследований, такое расширение вполне возможно.

**Список литературы:** 1. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Теория интеллекта. Математические средства. X., 1984. 143 с. 2. *Нильсон Н.* Принципы искусственного интеллекта. М., 1985. 340 с. 3. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. X., 1987. 160 с. 4. *Гильберт Д., Бернайс П.* Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики. М., 1979. 557 с. 5. *Гильберт Д.* Основания геометрии. М.; Л., 1948. 491 с. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. X., 1986. 160 с.

*Поступила в редколлегию 19.12.88*

УДК 621.84 : 535.3