

ДОСТОИНСТВО (в цифровом выражении) ДОЛЖНО МЕНЯТЬСЯ НА КАЖДОМ ШАГУ, КАЖДАЯ КАРТА НЕ ДОЛЖНА ОТЛИЧАТЬСЯ ОТ ПРЕДЫДУЩЕЙ БОЛЕЕ ЧЕМ НА 3.

По мнению Мартина Гарднера, элузис может служить прекрасной моделью «поиска истины» или процесса индукции, «который лежит в самом сердце научного метода». Поэтому успех вычислительной машины в этой игре следует расценивать гораздо выше и шире, чем как просто показатель игровых возможностей ЭВМ. Теперь приведем пример из области «серьезной науки»: расскажем об открытии, сделанном машинами в сфере чистой математики.

Вновь открытый Евклид

В рамках станфордского проекта по эвристическому программированию Дуглас Ленат пытался найти предметную область, в которой вычислительной машине было бы по силам сделать открытие в самом широком смысле слова, а не то что, скажем, найти правило в игре элузис или других упражнениях по решению задачек. Ленат хотел, чтобы машина работала в предельно открытом режиме, допуская возможность постоянного уточнения и расширения понятия решения. В качестве подходящей области он выбрал теорию чисел, ибо это — область математики, с одной стороны, строго очерченная, а с другой — хорошо освоенная, и разработал для нее программу АМ (исходно — «Автоматизированный математик»). Эта программа начинала работу с набора самых фундаментальных математических понятий, после чего пускалась «блуждать вслепую» по пространству возникающих в связи с ними задач, надеясь таким образом прийти к более сложным понятиям. Совершенно самостоятельно программа смогла прийти к нескольким хорошо известным математическим идеям и даже заново открыть несколько важных теорем, например теорему Евклида о единственности разложения на множители. Она построила также любопытную геометрическую интерпретацию гипотезы Гольдбаха относительно сумм простых чисел и сделала весьма оригинальное открытие «максимально делимых чисел» [8].

Программа начала со ста элементарных понятий теории конечных множеств: объектов, подобных множествам, списков, пакетов (множества, в которых допускается повторение элементов) и значений истинности; таких отношений, как отношение принадлежности или равенства; операций типа обращения, композиции и пересечения. Кроме того, в программу были заложены и некоторые *эвристики* — эмпирические приемы, помогающие решать, что делать дальше. Одной из таких эвристик был совет: обращайтесь внимание на то, что встречается снова и снова. Следуя этому совету, программа АМ, обнаружив, что она может прийти к идее ум-

ножения четырьмя разными способами *, решила, что если такое число разных процедур приводит к одному и тому же результату, то это, безусловно, интересно, а может быть, и важно. Другая эвристика гласила: если какая-то операция представляет интерес, обратите внимание на обратную ей. Следуя этой эвристике, программа, открыв для себя умножение, заинтересовалась и делением. Это дало толчок идее разложения большого множества чисел на сомножители. У программы была еще одна эвристика: изучайте экстремальные случаи явлений. Поэтому она выделила для рассмотрения множества чисел, имеющих только один или два сомножителя, — и пришла к понятию простого числа. Но одновременно она стала исследовать и противоположный предельный случай, а именно числа, у которых особенно много делителей; этот вопрос, как полагал Ленат, ранее вообще не рассматривался. Впоследствии выяснилось, что подобными числами уже занимался Сринивас Рамануджан, самоучка; работавший с Г. Х. Харди, но даже ему не удалось установить одного факта регулярности, который подметила машина.

Если вы думаете, что теория чисел — это нечто довольно сложное и далекое от практической жизни, то имеет смысл напомнить, что теорема единственности разложения на множители составляет основу самых последних криптографических процедур, разрабатываемых по указанию правительства США в качестве универсального стандарта защиты от постороннего вмешательства данных, хранящихся в памяти электронных машин. Кроме того, программа АМ оказалась для Лената отправной точкой для последующей работы, практическое значение которой, как вы вскоре убедитесь, очевидно.

Новые пути и средства

Несмотря на несомненный успех, программа АМ имела один принципиальный недостаток: она умела создавать новые понятия, но не могла находить новые эвристики. А по мере того как она накапливала новые понятия, все сильнее отличающиеся от тех простейших, с которыми она начинала работу, сформулированные раз и навсегда эвристики оказывались слишком общими и слабыми, чтобы эффективно руководить поиском нового. Чтобы преодолеть этот недостаток, Ленат разработал новую программу «Эвриско» [9]. Эта программа может время от времени менять используемые ею эвристики, иногда делая это довольно случайно, а порой —

* А именно: в результате многократного сложения; в виде аналога прямого произведения множеств; в виде вычисления мощности объединения множества подмножеств двух множеств и в виде суммарного числа символов, которые получаются в результате (параллельной) замены каждого элемента X его точной копией из пакета Y .

пытаясь добиться «уточнения», например за счет замены «или» на «в основном». Кроме того, существуют эвристики об эвристиках типа: избегай заменять «и» на «или», так как это может привести к неоправданному росту деревьев вывода. Новые эвристики оцениваются с точки зрения их полезности и в зависимости от того, какой будет оценка, либо остаются в работе, либо забываются.

Ленат также рассказывает, что одна эвристика, которая привела к открытию, сначала занесла свое имя в список особо полезных эвристик, а затем поняла, что то, что она сделала открытие, само по себе является открытием. За это эвристика начисляет себе дополнительные очки, после чего оценивает это как еще одно, новое открытие, которое стоит дополнительных очков, и т. д. В результате образуется замкнутый круг! Ленату приходилось останавливать программу, чтобы не дать ей постоянно и бесконтрольно наращивать подобные оценки и вырабатывать полезные эвристики (в основном вполне конкретного характера), учитывающие особенности более узких проблемных областей.

При этом выяснилось, что многие эвристики, относящиеся к математике, нередко оказываются полезными и при решении реальных практических задач. Например, если мы займемся такой проблемой, как «занятость», то сразу заметим, что речь здесь идет о большом числе отношений между «нанимателями» и «нанимаемыми». Изучая в свою очередь предельные проявления этого множества отношений, как рекомендует наша третья эвристика, мы неизбежно должны будем заинтересоваться, с одной стороны, теми, кто никем не нанят (безработные), а с другой стороны — теми, кто одновременно занят на нескольких работах (совместители). Не вызывает сомнений, что обе связанные с этим проблемы имеют существенное значение. Программа «Эвриско» уже внесла свой вклад в решение реальных практических задач, причем наиболее существенный — в области конструирования трехмерных электронных интегральных схем. В том виде, в каком они были придуманы людьми, трехмерные интегральные схемы представляли собой все те же плоские интегральные схемы, но сложенные «гармошкой», как лист бумаги, что позволяло уменьшить длину пути, по которому электрический сигнал проходит от одного элемента к другому, и тем самым уменьшить на несколько пикосекунд время реакции схемы. Вместо того чтобы безропотно согласиться с таким вариантом, программа «Эвриско» спросила себя: «А как осуществляется взаимодействие элементов?» Рассматривая типичное соединение, схематически представленное на рис. 23, а, она применила к нему эвристику: если обнаружена полезная структура, попытайся сделать ее более симметричной. В результате получилось то, что показано на рис. 23, б. Благодаря добавлению новых частей структура стала одновременно выполнять несколько функций, так что один и тот же элемент мог быть в одно и то же время и вентилем

НЕ — И и вентилем ИЛИ. Людям-конструкторам эта возможность не пришла в голову отчасти по той причине, что огромная сложность СБИС вынудила их мысленно упростить пространство конструктивных решений и исключить возможность использования элемента

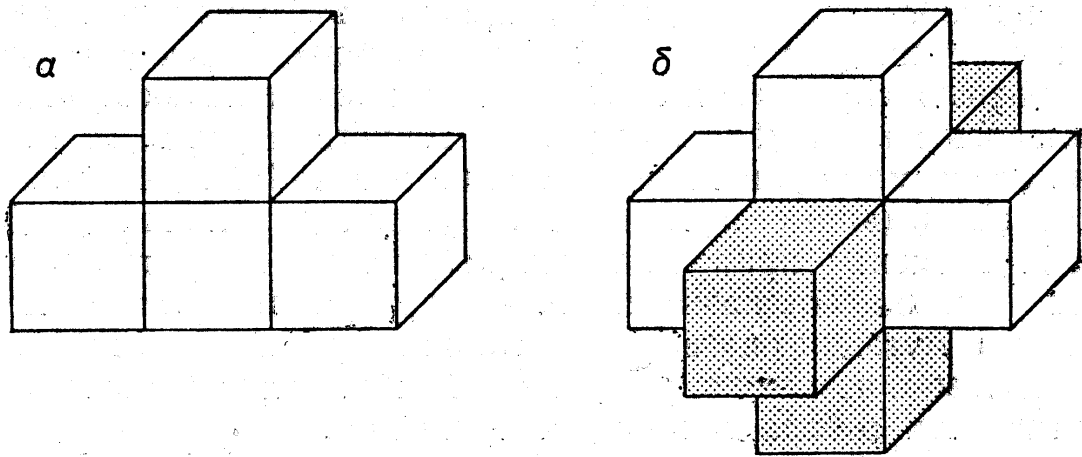


Рис. 23. Узел соединения в интегральной схеме (а); тот же узел с дополнительными деталями во всех направлениях, конструкция которого была предложена программой «Эвриско» (б).

одновременно в качестве вентиля и канала. Конструкторы Джим Гиббонс и Линн Конвей используют теперь программу «Эвриско» в своей работе и за этот счет добиваются резкого повышения возможностей СБИС.

Не вижу кораблей

Программа «Эвриско» оказалась успешной, а по мнению некоторых — даже слишком успешной, когда она стала одним из участников военно-морской игры под названием «Конкурс на создание эскадры на триллионный бюджет», ежегодно проводимой в США. Задача участников игры состоит в том, чтобы при заданных ограничениях на расходы создать боевой флот и проверить его боеспособность на модели боевых действий одного флота против другого. Участвуя в этой игре, программа «Эвриско» пришла к нескольким совершенно удивительным конструкторским решениям, каждое из которых было совершенно реальным. В частности, она предложила решение по созданию большого числа практически непотопляемых кораблей, каждый из которых по своим размерам не намного превышал обычную шлюпку. Когда другие участники игры ознакомились с необычным флотом, предложенным программой перед начальной стадией игры, сформированная ею эскадра вызвала бурное веселье, которое сменилось недоумением после того, как она стала выигрывать один бой за другим. И Лената ничуть не удивило, что в течение двух последующих лет правила игры несколько раз изменяли, пытаясь тем самым поставить «вне закона» последующие изобретения программы «Эвриско».

Вернувшись к проблемам чистой науки, Ленат занимается сейчас поиском подходов, которые позволили бы заставить программу «Эвриско» моделировать биологические мутации. В основу этого проекта положена идея о том, что если после мутации остается какая-либо возможность сохранить информацию о предыдущих состояниях видов, то эволюция может протекать далее не абсолютно случайным образом, как предполагалось ранее, а основываясь на каких-то внутренних эвристиках, т. е. во многом сходно с тем, как происходит эволюция понятий в программе «Эвриско». Запрятанные в глубине запутанного механизма ДНК какие-то элементы природы могут действовать аналогично эвристикам, как бы подсказывая ей: «Попробуй этот тип мутаций» или «Такие мутации оказались не слишком удачными в прошлом». Таким образом, возможно, удастся найти объяснение поразительной эффективности отбора в процессе эволюции.

В самом глубоком смысле слова программы АМ и «Эвриско» дальше продвинулись на пути овладения творческими возможностями, чем программа Михальски, решающая головоломку с поездами, ибо они не только отыскивают связи между заданными понятиями, но и открывают новые понятия и исследуют их смысл. Например, программа для головоломки о поездах не могла бы открыть понятие «с гофрированной крышей» в качестве полезного дескриптера некоторых вагонов. Она принципиально не приспособлена к обогащению собственного словаря. Напротив, программы АМ и «Эвриско» способны на это, а со многих точек зрения в этом и заключена суть творческого подхода — тот верхний «знаковый» уровень модели Аарона Сломана, о которой мы упоминали в гл. 1.

Ближе к земле — на бобовое поле

Еще один пример практического использования индуктивных возможностей вычислительных машин, предельно заземленный в самом буквальном смысле слова, относится к деятельности сельскохозяйственного шт. Иллинойс. Урожай соевых бобов здесь постоянно находится под угрозой одного из двадцати распространенных заболеваний, и своевременный диагноз заболевания здесь означал разницу между полной гибелью урожая и благополучием фермеров. Пытаясь решить эту задачу, власти штата организовали целую сеть бюро сельскохозяйственных консультаций, куда по телефону может обратиться за советом каждый фермер. Запросы, на которые не удается дать ответы на месте, пересылаются университетским специалистам по патологии растений, которые буквально тонут в море подобных просьб. В результате ответы часто запаздывают, неудовлетворенные запросы скапливаются в огромных количествах, так что экспертная система кажется здесь более чем уместной. Михальски и его коллега Ричард