

## ОБУЧАЮЩИЕ МАШИНЫ

Ю. К. ПЕТРОВ, В. М. РАЗИН

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В начале нашей статьи попытаемся ответить на вопрос, каким образом машина может обучать и не просто обучать, а обучать оптимально, т. е. наиболее быстро в зависимости от индивидуальных способностей обучаемого. Рассмотрим, как работает машина, построенная английским ученым Паском для обучения работе на перфораторе. Перфоратор — это клавишный прибор для пробивания кодовых отверстий в бумажной ленте; с помощью кодовых отверстий информация вводится в цифровую вычислительную машину. Ниже приводятся впечатления специалиста в области кибернетики, который сам обучался на машине Паска [1].

«Перед вами перфоратор с пустыми клавишами, так как вы должны научиться работать «вслепую». Перед вашими глазами также машина Паска, подсоединенная к перфоратору; на машине вы видите маленькое окошечко и ряд красных лампочек, расположенных в том же порядке, что и клавиши перфоратора. В окошечке появляется цифра «7». Для вас это является командой нажать клавишу «7». Но ведь вы не знаете, какая это клавиша. Посмотрите на лампочки: одна из них ярко загорается, указывая вам на положение клавиши «7», которую вы теперь находите и нажимаете. Далее в окошечке появляется другая цифра, загорается другая лампочка и т. п. Постепенно вы начинаете запоминать расположение цифр на клавиатуре и таким образом ваши реакции убастрываются. Тем временем машина оценивает ваши реакции и строит свою собственную вероятностную модель вашего процесса обучения. Эта модель учитывает, например, что цифру «7» вы теперь печатаете без всякой задержки, а цифра «3» по какой-то непонятной причине постоянно вызывает у вас затруднения. Машина обнаруживает это и учитывает при построении модели, сообщая вам результат по цепи обратной связи. Цифры, которые представляют для вас затруднения, появляются с все увеличивающейся частотой среди случайного во всех остальных отношениях представления цифр. При этом они выдерживаются также в течение более длительного времени, как бы говоря вам: «Не торопитесь». Напротив, цифры, не представляющие для вас затруднений, сменяются с гораздо большей скоростью, т. е. скорость представления цифр является функцией состояния процесса обучения. Аналогичным образом ведет себя и система красных сигнальных лампочек, ибо по мере того, как вы усваиваете, где находится на клавиатуре цифра «7», световой стимулятор постепенно ослабевает. Учитель как бы все меньше и меньше подсказывает вам правильный ответ. Вскоре при условии, что вы продолжаете улучшать свои знания относительно расположения цифр-

ры «7», сигнальная лампочка, соответствующая этой цифре, перестает загораться вовсе. Лампочка, соответствующая цифре «5», также загоралась все более тускло, по мере того, как вы все лучше усваивали расположение этой цифры. Но неожиданно в ваших знаниях обнаружился полный провал — цифра «5» совершенно не угадывается вами. Ваш учитель замечает эти новые ошибки, и цифра «5» выдается вам вновь в замедленном темпе с особой настойчивостью, а красный оптический сигнал вновь загорается с прежней яркостью».

Процесс обучения состоит из ряда последовательных элементарных актов. В каждом акте обучения машина сообщает обучаемому некоторую сумму сведений и задает вопрос, ответив на который, обучаемый сообщает машине о степени усвоения материала. Машина анализирует ответ обучаемого и переходит к следующему элементарному акту обучения. В результате такого взаимного обмена информацией человек усваивает материал, а машина изменяет порядок выдачи сведений таким образом, что плохо усваиваемый материал выдается чаще и подробнее, а хорошо усваиваемый реже и менее подробно. Таким образом, можно говорить о взаимном обучении или взаимной адаптации обучающей машины и человека. Во многих машинах степень правильности ответа сообщается учащемуся после каждого элементарного акта обучения. Оценка работы стимулирует усилия учащегося, поэтому рекомендуется сообщать ее учащемуся по возможности чаще. В данном примере оценка правильности действий выдается в конце обучения и в негативной форме: подсказывающая лампочка потухает.

При переходе к машинному обучению возникает много различных проблем.

Предмет обучения программируется. Иными словами, он разбивается на порции в соответствии с элементарным актом обучения и к каждой порции знаний составляется контрольный вопрос. Такую работу полезно проводить не только в машинном обучении, но и при составлении программ по любому курсу.

В обучающих машинах выдача информации обучаемому выполняется различными средствами: с помощью карточек, проекционных устройств, магнитной записи, в виде телевизионного изображения и т. д. В приведенном примере освещается цифра, которую должен пробить оператор и загорается лампочка, подсказывающая позицию клавиши, по которой следует ударить.

Ввод ответа обучаемого в машину составляет самостоятельную проблему и является основной трудностью при проектировании обучающих машин. Идеальная обучающая машина должна «понимать» обучаемого со слов или разобраться в правильности написанного им ответа. В настоящее время ведутся работы и в Советском Союзе, и за границей по вводу информации в машину с машинописного текста и со слов, но надежно действующих устройств еще нет. Трудность состоит в неоднозначности представления такой информации. Например, буквы даже печатного текста, не говоря уже о рукописном тексте, имеют различную конфигурацию и имеют дефекты печати, а любая мысль, составляющая правильный ответ, может быть представлена в самых различных словесных и грамматических формах. Если машина не в состоянии понять человека, то может быть, проще обучить человека «языку» машины? Трудно назвать эффективным метод обучения, при котором учащийся обязан усваивать сведения, не составляющие предмет обучения, однако на современном уровне развития прикладной кибернетики приходится идти в какой-то мере и по этому пути. В вычислительных машинах информация хранится и перерабатывается в двоичной дискретной форме. В такой

форме машина в состоянии воспринимать ее «без перевода». В приведенном примере информация вводится в двоичной форме. Каждая клавиша может находиться в двух состояниях: нажатом и ненажатом, поэтому никаких проблем ввода не возникает. Отметим, что в данном примере нажатие клавиши и составляет предмет обучения. В других случаях нажатие клавиши предмета обучения не составляет, однако, клавиши приходится вводить. Для ввода ответа в машину широко применяется способ выбора: вместе с заданием вводится несколько ответов, один из которых правильный, и учащемуся предлагается нажать кнопку с номером правильного ответа. Проблема неоднозначности обходится здесь несколько неожиданным и на первый взгляд не совсем приемлемым способом, поскольку правильный ответ сообщается обучаемому. Правда, он замаскирован, спрятан среди неправильных ответов. Следует отметить, что при искусном программировании эта маскировка вполне удастся. На рис. 1 приведен пример такого вопроса с ответами [2]. В данном примере правильным ответом является  $i = -3a$ . Система выбора может быть использована и для ответов в словесной форме.

Большинство универсальных цифровых вычислительных машин имеют ввод информации в числовой десятичной форме. Поэтому на машинный вариант обучения уже теперь могут быть переведены те курсы, для которых все правильные ответы на вопросы могут быть даны в однозначной числовой форме, при этом необходимость системы выбора отпадает. Особенно легко переводятся

на машинный вариант те курсы обучения, в которых ответ дается в двоичной форме, т. е. на «языке» цифровых вычислительных машин. По схеме машины Паска можно, например, организовать обучение программистов системе команд ЭЦВМ «Минск-1» или любой другой ЭЦВМ. Таких команд на ЭЦВМ «Минск-1» имеется 101 и заучивание их составляет значительную трудность. Работу обучающей машины можно описать следующим образом. Машина выдает команды в словесной форме и подсказывает код машины в двоичной форме. В ответ на задание обучаемый вводит цифровой код программы в машину. В процессе адаптации в общем случайном потоке команд машина начинает выдавать чаще плохо усваиваемые команды, в конце успешного обучения подсказка исчезает.

Обратимся к вопросу о том, каким образом обучающая машина приспособляется к способностям учащегося. В машине Паска предметом обучения является выработка суммы независимых условно-рефлекторных, доведенных до автоматизма, движений, которые должны возникать в ответ на случайный поток цифр. Такой случайный поток цифр и представляет собой вводимая в машину информация. Машина имеет устройство для выдачи заданий в случайном порядке. В машине имеются конденсаторы, которые подзаряжаются скачками на небольшую величину с каждым правильным ответом и медленно разряжаются по экспоненте через большие сопротивления. Если учащийся допустил ошибку, то конденсаторы разряжаются быстро. С увеличением заряда конденсатора уменьшается яркость подсказывающей лампочки, уменьшается продолжительность паузы для соответствующего движения и число соответствующих вопросов.

Определить величину тока  $i$ .

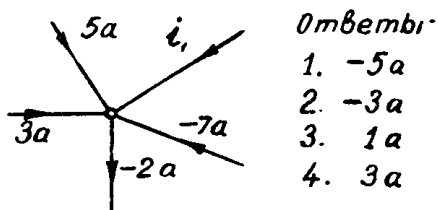


Рис. 1.

Во многих курсах выполнение последующих заданий опирается на усвоение всего предыдущего материала. В этих курсах программа строится так, что порции материала выдаются в определенной последовательности. Приспособление машины к обучаемому может быть выполнено в таком плане: судя по ответам обучаемого, машина фиксирует, какая часть предыдущего материала усвоена слабо, слабо усвоенный материал снова выдается учащемуся. Например, если на вопрос рис. 1 учащийся отвечает  $i = 1a$ , то машина выдает обучаемому ту часть материала, где описаны правила обозначения токов стрелками.

Иногда в расчете на различные способности воспринимать предмет обучения программы строят по разветвленным параллельным системам так, что каждая порция материала составляется в нескольких вариантах. Машина начинает выдавать материал в минимальном объеме, постепенно увеличивая его, пока учащийся не ответит на вопрос. Таким образом, машина «определяет» способности обучаемого. Следующая порция материала выдается обучаемому в объеме, соответствующем его способностям. Тенденция к оптимальному или минимальному по времени обучения процессу может быть выражена тем, что с каждым шагом объем материала несколько уменьшается.

Функции приспособления обучающей машины к способностям обучаемого особенно хорошо выполняются с помощью универсальных цифровых вычислительных машин. Чтобы приспособить ЭЦВМ для обучения, ее необходимо дополнить приставками для ввода — вывода информации. Перевод какого-либо курса на машинный вариант требует совместных усилий по крайней мере трех специалистов: педагога-методиста для программирования учебного материала, специалиста в области радиотехники и вычислительной техники, способного сконструировать и состыковать с машиной приставки, и программиста для составления программы, определяющей последовательность выдачи материала обучаемому. Проводились работы по отработке учебных курсов на цифровой вычислительной машине [2]. Учебный курс был запрограммирован по разветвленной программе. В результате статистической обработки материала по обучению многих людей был определен объем материала, который успешно усваивается большинством учащихся. Обучение по отработанным таким образом курсам проводилось обычным лекционным методом, причем сократился срок обучения и повысилась успеваемость. Если проводить такую работу на высоком методическом уровне и результаты внедрять в широком масштабе, то можно значительно повысить качество преподавания.

Полный переход на обучение с помощью цифровых вычислительных машин не представляется нам эффективным, по крайней мере, на современном уровне развития вычислительной техники. С одной стороны, благодаря очень большому быстродействию одна обучающая машина на основе универсальной ЭЦВМ может обслужить многих студентов, конечно, для этого она должна быть оборудована соответствующим количеством устройств ввода-вывода. Напомним, что такие устройства включают магнитофоны или проектор и сами по себе являются довольно сложными техническими устройствами. Машина может обслужить каждого учащегося оптимально в соответствии с его индивидуальными особенностями. Возможность такого индивидуального обслуживания заключается в непрерывном обмене информацией между обучаемым и машиной. Непрерывный обмен информацией невозможно организовать при лекционном способе обучения, поэтому машинный способ обучения представляется более эффективным. Как показывает практика применения обучающих машин [2], при машинном обучении сокращаются сроки

обучения и повышается успеваемость. С другой стороны, современная универсальная цифровая вычислительная машина имеет около 10 человек обслуживающего персонала, который для обслуживания приставок, по-видимому, придется увеличить. Добавим к этому затраты труда на изготовление вычислительной машины и приставок. Если допустить, что на машине обучается одновременно 25 человек, то получится, что на каждого обучаемого работает около одного человека. Конечно, если к каждому обучаемому прикрепить одного преподавателя, то эффективность преподавания возрастает несоизмеримо с машинным, ни с лекционным обучением. Добавим к этому, что для постоянного изучения курсов выпускаются программированные учебники. В таком учебнике на одной стороне листа печатается материал и дается задание. Учащийся выполняет задание и переворачивает страницу. На противоположной стороне листа печатается инструкция. Если ответ правильный, то учащемуся предлагается приступить к следующему заданию. Если ответ не верен, то инструкция направляет учащегося к соответствующему материалу для повторной переработки. Таким образом, в учебнике напечатана программа, составленная для машин. Есть сведения [2], что эффективность обучения с помощью программированных учебников не хуже, чем с помощью обучающих машин.

Обучающие машины с аналоговым механизмом адаптации, которым принадлежит и машина Паска, просты в устройстве, дешевы и не требуют постоянного обслуживания. Такие машины нашли широкое применение в армейских условиях и на производстве [2], где оружие и технологические приемы часто изменяются и необходимо быстро переучивать обслуживающий персонал.

Простейшие обучающие машины работают по неразветвленной программе, а ответ вводится в машину с помощью выбора. В простейших репетиторах порядок выдачи материала остается неизменным и после каждого задания выдается сигнал правильного ответа. В простейших экзаменаторах может быть использован случайный порядок выдачи вопросов и после нескольких ответов в конце экзамена выдается оценка. Такие машины изготавливаются во многих институтах Советского Союза и могут найти широкое применение в практике обучения студентов, в средней школе и даже в быту. Эффективность таких машин определяется в основном искусством составления программ, поэтому к программированию необходимо привлечь лучших методистов и организовать массовый выпуск запрограммированных курсов, что, по-видимому, возможно только при условии перехода от кустарного производства малых обучающих машин к серийному выпуску унифицированных образцов.

Стандартная машина должна быть универсальной, т. е. приспособленной к обучению по любой программе. Можно предложить следующую методику обучения с помощью малых машин. Курсы обучения выпускаются на киноплёнках. На каждом кадре помещается материал обучения, задание, несколько ответов, в том числе и правильный, и в зашифрованном виде номер правильного ответа. Учащийся помещает плёнку в прибор типа простейшего фильмоскопа, просматривает кадр и, выполнив задание, определяет номер правильного ответа и нажимает кнопку. Прибор снабжается дешифратором правильного ответа, который срабатывает от кнопки и зажигает лампочку с номером правильного ответа. Учащийся сравнивает свой ответ с правильным, делает выводы и переводит кадр. Если сделать ручной перевод кадра и дешифратор на полупроводниковых приборах, то такой прибор может быть очень простым и дешевым. В фильмокурсах можно использовать стереоскопиче-

ские изображения, которые особенно полезны при изучении таких предметов, как стереометрия в средней школе и начертательная геометрия в институте. Следует учесть эстетическую сторону этого вопроса и выпустить по возможности и необходимости цветные фильмокурсы.

На кафедре математических и счетно-решающих приборов и устройств силами студентов изготавливается автомат-задачник для практической отработки и проверки фильмокурсов. Прибор работает по схеме простейшего репититора. В прибор вставляется фильмокурс из 15 вопросов-ответов. Прибор снабжен печатающим устройством, которое по каждому вопросу фиксирует номер правильного ответа, номер кнопки, которую нажал учащийся и время, затраченное учащимся на ответ. Предполагается, что автомат будет работать без постоянного обслуживающего персонала, а о качестве и усвоении материала можно будет судить по отпечатанной информации.

При широком внедрении малых обучающих машин и соответствующей организации некоторые практические занятия могут быть вынесены на самостоятельное изучение. Фильмокурсы целесообразно сосредоточить в общеинститутской фильмотеке с читальным залом, оборудованном простейшими машинами. Задание по фильмокурсам может выдавать лектор. Проработка задания завершается зачетом с помощью машины-экзаменатора. Лекционный материал должен оканчиваться обычным экзаменом. Причем, если к лекционным вопросам добавить один вопрос, в котором учащийся излагает логику решения одной из задач фильмокурса, то можно будет избежать случаев формального заучивания номеров правильных ответов.

В заключение отметим, что применение обучающих машин эффективно само по себе, но особенная польза внедрения машин в процессе обучения состоит в привлечении общественности к методике преподавания и к самому процессу обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Т. Б и р. Кибернетика и управление производством. Физматгиз, 1963.
  2. Опыт применения машин для обучения в США. Зарубежная радиоэлектроника, № 9, 1962.
-