

НЕАРИФМЕТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

18. МЕХАНИЗАЦИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ВИДОВ УМСТВЕННОГО ТРУДА

Математические вычисления и различного рода расчеты представляют собой только одну из областей умственного труда человека. Ее особенностью является полная формализация работы, заключающаяся в наличии алгоритмов — однозначных правил, определяющих в каждом конкретном случае характер и последовательность необходимых действий. Поэтому, а также ввиду чрезвычайной трудоемкости вычислительной работы, электронные цифровые машины появились впервые как средства механизации вычислений. Однако возможность их применения далеко не ограничивается областью вычислений и расчетов.

Машины могут быть применены для выполнения любой работы, для которой заданы алгоритмы или известны условия и правила их определения. В частности, машины можно использовать как средства механизации многих видов умственной работы, выполняемой при научных исследованиях, при решении технических задач, при решении некоторых вопросов экономики, военного дела и т. д. Классическим примером умственного труда, выполняемого по строго определенным правилам, является решение задач формальной логики.

В отличие от существенно творческих процессов интеллектуальной деятельности, в которых решающую роль играют вдохновение и интуиция, например, таких процессов как литературное или музыкальное творчество, виды умственной работы, подчиненные четким, заранее установленным однозначным правилам, можно объединить под общим названием формальных видов умственного труда.

В настоящее время разрабатываются вопросы формализации различных областей умственной работы, т. е. ищутся закономерности и связи, определяющие процессы выполнения той или иной работы. Если для выполнения какой-либо умственной работы устанавливаются четкие однозначные правила, то появляется возможность механизации этой работы с помощью электронных цифровых машин.

Мы уже познакомились с одним из важнейших видов неарифметического применения электронных цифровых машин — применением машин для автоматического составления программ для решения математических задач на машинах. В настоящей главе рассмотрим другие примеры неарифметического использования электронных цифровых машин. Сфера неарифметических применений машин в настоящее время непрерывно расширяется. Усиленно ведутся изыскания в области формализации работы экономико-статистического и комбинаторного характера, такой как: составление расписаний для железнодорожного, воздушного и другого транспорта, планирование производства и снабжения, управление производственными предприятиями и прочее.

Несомненно, неарифметические применения электронных цифровых машин имеют важное значение и широкие перспективы развития для повышения производительности умственного труда людей и дальнейшего развития многих областей науки и техники.

Машинный перевод

Перевод с одного языка на другой, особенно научных и технических текстов, относится к одному из весьма трудоемких и однообразных видов умственного труда. Перевод выполняется по определенным правилам, которые могут быть представлены в виде программы для электронной цифровой машины.

Обычно работа по переводу с одного языка на другой состоит из двух частей: собственно перевода и его редактирования. Между этими частями нет резкой границы; в зависимости от того, насколько переводчик знает оба языка и насколько знаком с предметом, являющимся содержанием переводимого текста, он в большей или меньшей степени кроме перевода осуществляет и его редактирование. Идеальным может считаться случай, когда переводчик дает перевод, полностью отредактированный по содержанию и в литературном отношении. При выполнении перевода можно пользоваться помощью и весьма неквалифицированных работников, поручая им отыскание в словаре неизвестных слов. Совершенно ясно, что вопрос механизации работы такого рода, т. е. отыскание с помощью машины необходимых слов в словаре, не представляет особых трудностей.

Действительная проблема лежит посередине между этими двумя крайними случаями. Необходимо обеспечить получение с помощью машины более или менее связного и в основном правильного в смысловом отношении перевода текста, т. е. такого текста, который был бы понятен соответствующему специалисту, не знающему языка, с которого сделан перевод, и пригоден для окончательного редактирования.

При составлении программы для машинного перевода возникает две основные трудности:

а) если переводимому слову на другом языке отвечают несколько эквивалентов, нужно добиться, чтобы машина выбирала тот из них, который требуется по смыслу текста;

б) после того, как слова одного языка заменены словами другого языка, последние должны быть грамматически достаточно правильно согласованы между собой и объединены в предложения. Эти трудности, вообще говоря, играют основную роль и при обычном переводе в связи с чрезвычайно большим разнообразием грамматических правил, наличием большого количества исключений и зависимостью смысла отдельных слов от контекста. Решение этих задач требует большой совместной работы специалистов по программированию и специалистов в области языкознания.

Проблема машинного перевода, помимо практического значения, имеет и большой теоретический интерес, так как для программирования необходима полная формализация процесса перевода, что требует доведения до предельной отчетливости способов описания выражений одной и той же мысли на различных языках.

Для машинного перевода, прежде всего, должен быть составлен специальный машинный словарь. Учитывая трудности проблемы, на начальном этапе составляются отдельные словари для определенных областей науки и техники, и лишь по мере накопления опыта будет совершаться переход в дальнейшем к переводу обыденной речи с ее алогизмами* и неожиданными словами.

Особенности машинного словаря обусловлены особенностями обоих связываемых им языков. Так, словарь для перевода с русского языка на английский содержит в качестве переводимых слов иногда лишь корни слов, иногда слова во множественном числе (например, слово «мысли»), некоторые глаголы повторяются в нем по

* Алогизм — несоответствие синтаксического и смыслового движения речи, логические разрывы ее и т. д.

несколько раз в различных временах и с разными личными окончаниями. Отдельно включены в него падежные окончания существительных. Составление такого словаря требует большой работы в области языкознания.

На основе анализа значений и способов применения отдельных слов в предложениях нужно установить однозначные (для машины) правила, по которым чаще всего и в наиболее важных случаях используются слова на втором языке. В словаре указывается для каждого переводимого слова один или несколько эквивалентов и, кроме того, для каждого слова даются так называемые дополнительные коды (условные числа), определяющие характер использования этого слова в предложениях (в типовых случаях). Например, дополнительными кодами могут определяться: связь данного слова с предыдущими или последующими словами, рекомендации по целесообразному выбору одного из нескольких эквивалентов данного слова, связь с предложениями и др. Эти дополнительные условные числа необходимы для управления автоматической работой машины в процессе перевода.

Программа работы машины по автоматическому переводу чрезвычайно сложна (она содержит несколько тысяч команд). По своему характеру она до некоторой степени напоминает универсальную программирующую программу, предназначенную для автоматического составления машиной рабочих вычислительных программ. Из сказанного ясно, что основная трудность при осуществлении машинного перевода относится к области языкознания. После того, как составлен машинный словарь и разработана система четких правил для работы машины, составление самой программы машинного перевода, несмотря на ее чрезвычайную громоздкость, не представляет принципиальных трудностей.

Т а б л и ц а VI.1

Русские слова	Английский эквивалент		Коды		
	I	II	I	II	III
1	2	3	4	5	6
К	to	for	121	000	23
Кислороди—	oxvgen	—	000	000	00
Лишени —	deprival	—	000	222	00
Материал —	material	—	000	000	00
Мы	we	—	000	000	23
Мысли	thoughts	—	000	000	00
Мног —	manv	—	000	000	00
Медь	copper	—	000	000	21
Мест —	place	site	151	000	23
Механическ —	mechanical	—	000	242	00
Международн —	international	—	000	000	00
На	on	for	121	000	23
Нападени —	attack	attacks	121	000	00
Навка	a science	—	000	242	00
Обработка	processing	—	000	000	00
Объект	obiective	obiectives	121	000	00
Офицер	an officer	the officer	000	000	00
— ого	of	—	131	000	23
— ом	bv	—	131	000	00
Определяет	determines	—	000	000	00
Определяется	is determined	—	000	000	00
Оптическ —	ontical	—	000	000	00
Орудие	gun	—	000	241	00
Отдел —	section	—	000	000	00
Отделение	devisiion	squad	121	242	00
Отношение	relation	the relation	151	000	00

В настоящее время работы по переводу с одного языка на другой с помощью электронных цифровых машин находятся в начальной стадии, однако полученные уже в этом направлении результаты показывают практическую осуществимость в ближайшем будущем такого рода работы. В январе 1954 г. в Нью-Йорке была проведена первая экспериментальная публичная демонстрация перевода с русского языка на английский с помощью электронной цифровой машины ИБМ-701 [12, 13].

Для испытания был специально подготовлен словарь из 250 русских слов, применяемых в области политики, юстиции, математики, химии, металлургии, связи и военного дела, записанных латинскими буквами (машина ИБМ-701, как упоминалось выше, обладает способностью воспринимать непосредственно печатный, буквенный текст в латинском алфавите). Слова были подобраны так, чтобы каждое русское слово имело один или два английских эквивалента. Каждому слову были приписаны в словаре три дополнительных кода. Иллюстрация строения подобного словаря приведена в табл. VI.1.

Предварительная работа по машинному переводу велась в течение полутора лет институтом языкознания Джорджтаунского университета и специалистами по электронным цифровым машинам лабораторий фирмы ИБМ. Разработаны были 6 основных синтаксических правил, которые при помощи упомянутых трех дополнительных кодов, указанных в словаре, обеспечивают возможность формального перевода правильно построенных стандартных фраз научного или политического характера. Как указывается в литературе, для перевода произвольного русского текста на английский язык потребуется около 100 правил такого рода. Указанные 6 основных правил формулируются следующим образом.

1. П е р е с т а н о в к а . Если первый код переводимого слова есть 110, то производится проверка третьего кода предыдущего полного слова. Если он равен 21, то надо изменить порядок этих слов (т. е. слово с третьим кодом 21 должно следовать за словом с первым кодом 110), если он не равен 21, то порядок сохраняется. В обоих случаях для слова с первым кодом 110 берется первый английский эквивалент. Например, русское выражение «генерал-майор» по-английски должно быть переведено как «major general». Для получения такого результата слово «генерал» снабжено в словаре третьим кодом 21, а слово «майор» первым кодом 110.

2. В ы б о р п о п о с л е д у ю щ е м у т е к с т у . Если первый код данного слова есть 121, то проверяется,

чему равен второй код следующего полного или части слова (корня или окончания). Если этот второй код равен 221, то для слова с кодом 121 берется первый английский эквивалент; если второй код следующего слова равен 222, то берется второй английский эквивалент. В обоих случаях порядок слов сохраняется. Так, например, в указанном в табл. VI.2 переводе фразы в качестве эквивалента слова «угол—» взято слово «angle», а не «coal».

3. **Выбор с перестановкой.** Если первый код данного слова есть 131, а третий код предыдущего полного слова или части слова (корня или окончания) равен 23, то для слова с кодом 131 надо взять второй английский эквивалент и сохранить порядок следования слов. В противном случае для слова с кодом 131 нужно взять первый английский эквивалент и изменить порядок следования слов на обратный.

4. **Выбор по предыдущему тексту.** Если первый код данного слова есть 141, а второй код предыдущего полного слова или предыдущей части слова (корня или окончания) есть 241, то для данного слова берется первый английский эквивалент, если же второй код равен 242, то берется второй эквивалент. В обоих случаях сохраняется прежний порядок слов. Например, русское выражение «наука о» должно быть переведено по-английски словами «science of». В словаре отдельно стоит слово «наука», имеющее один английский эквивалент «science», и слово «о», имеющее два английских эквивалента: «of» и «about». Для правильного перевода слову «наука» в словаре приписан второй код 242, а слову «о» — первый код 141. Тогда указанное правило обеспечивает выбор для слова «о» первого английского эквивалента «of» и сохранение порядка слов.

5. **Выбор с пропуском.** Если первый код данного слова есть 151, а третий код следующего полного или части слова (корня или окончания) равен 25, то для слова с первым кодом 151 берется второй английский эквивалент, в противном случае берется первый эквивалент. В обоих случаях порядок слов сохраняется.

6. **Разделение.** Если первый код данного слова есть 000, то для этого слова берется первый английский эквивалент и сохраняется порядок по отношению к предыдущему слову.

В качестве примера, поясняющего применение этих правил, приводится перевод предложения: «величина угла определяется отношением длины дуги к радиусу».

В табл. VI.2 записаны выбранные из словаря слова и части слов, соответствующих заданному предложению, с указанием английских эквивалентов и дополнительных управляющих кодов. В последней колонке для пояснения указаны номера применявшихся правил.

Т а б л и ц а VI. 2

Русские слова	Английский эквивалент		Коды			Какое правило применено
	I	II	I	II	III	
1	2	3	4	5	6	
величина	magnitude	—	000	000	00	6
угол —	coal	angle	121	000	25	2
— а	of	—	131	222	25	3
определяется	is determined	—	000	000	00	6
отношени —	relation	the relation	151	000	00	5
— ем	by	—	131	000	00	3
длин —	length	—	000	000	00	6
— и*	of	—	131	000	25	3
дуг —	arc	—	000	000	00	6
— и	of	—	131	000	25	3
к	to	for	121	000	23	2
радиус —	radius	—	000	221	00	6
— у	to	—	131	000	00	3

* Русские окончания Ы и И при переводе не различаются.

Формальное применение указанных правил обеспечивает получение правильного перевода: «Magnitude of angle is determined by the relation of length of arc to radius». При проведении опытного машинного перевода составленный словарь из 250 слов был записан на перфокартах вместе с управляющими кодами, а затем введен в магнитное запоминающее устройство машины.

Программа машинного перевода, разработанная для машины ИБМ-701, содержала около 2400 одноадресных команд. Эта программа также была полностью введена в машину.

После этого в машину вводились русские предложения, подлежащие переводу. Предложения пробивались на перфокартах стандартным кодом ИБМ-701. Через 5—8 сек. после ввода данных машина печатала на выходном устройстве английский перевод.

В отчете о пробном машинном переводе на ИБМ-701 приводятся примеры переводов, показанные в табл. VI.3.

Т а б л и ц а VI. 3

Заданные для перевода русские фразы	Перевод, выполненный машиной
Качество угля определяется калорийностью	The quality of coal is determined by calory content
Крахмал вырабатывается механическим путем из картофеля	Starch is produced by mechanical methods from potatoes
Обработка повышает качество нефти	Processing impoves the quality of crude oil
Динамит готовится химическим процессом из нитроглицерина с применением инертных соединений	Dynamite is prepared by chemical process from nitroglycerine with admixture of inert compaunds
Международное понимание является важным фактором в решении политических вопросов	International understanding constitutes an important factor in decision of political questions

Проведенные опыты показывают полную возможность практического использования электронных цифровых машин для выполнения переводов с одного языка на другой, в первую очередь, для выполнения переводов научных и технических текстов. Последние характеризуются большим однообразием и правильностью в построении фраз и большей определенностью в использовании слов, чем художественная литература. Эта возможность обусловлена тем, что выполнение основной части работы по переводу удалось формализовать, т. е. найти совокупность правил, однозначно определяющих процесс перевода.

Работа по применению машин для перевода с одного языка на другой успешно ведется в нашей стране в институте точной механики и вычислительной техники АН СССР и в математическом институте имени В. А. Стеклова АН СССР.

В институте точной механики и вычислительной техники АН СССР при составлении программы для перевода с английского языка на русский, произведенного с помощью быстродействующей электронной счетной машины (БЭСМ), был избран путь, состоящий в воспроизведении работы, выполняемой переводчиком.

Эта работа складывается из следующих этапов:

1. Чтение английской фразы, подлежащей переводу.
2. Выявление тех слов переводимой фразы, которые знакомы переводчику. Выяснение некоторых грамматических признаков этих слов, как по их окончаниям, так и путем сопоставления их друг с другом и с остальными словами фразы.
3. Отыскание остальных слов фразы в словаре, получение отвечающих им русских слов и выяснение относящихся к ним грамматических признаков. Сюда относятся:
 - непосредственный перевод слов, имеющих один русский эквивалент;
 - отыскание слов с отсылкой (т. е. слов, являющихся производными от других. Например, для перевода *these* в словаре делается отсылка к слову *this*);
 - выбор значения слов, имеющих несколько русских эквивалентов, путем сопоставления этих слов с другими словами фразы.
4. Отбрасывание слов, которые не войдут в состав русской фразы (например, вспомогательных глаголов).
5. Составление русской фразы из найденных слов в соответствии с полученными грамматическими признаками.
6. Выявление английских слов, не входящих в состав применяемого словаря, для перевода их с помощью других средств.
7. Окончательное редактирование русской фразы.

Оставляя в стороне этап 7, являющийся литературной обработкой перевода, мы видим, что все операции, производимые переводчиком, можно описать с помощью системы правил, позволяющей выполнять их автоматически.

Однако и степень сложности правил, и необходимый объем словаря зависят от вида переводимого текста.

Так, для перевода художественной литературы нужен запас в несколько сот тысяч слов, и специальный словарь идиом (выражений, не допускающих дословного перевода на другой язык, вроде «съел на этом деле собаку» и т. п.). Кроме того, при выполнении такого перевода возникают еще трудности, обусловленные тем, что выражения, применяемые в художественной литературе, бывают тесно связанными с природой языка, а также с бытом и жизнью народа.

Напротив, для перевода научных и технических текстов требуется словарь приблизительно из двух тысяч слов, среди которых количество слов, имеющих по несколько эквивалентов на другом языке, относительно невелико. Идиомы в таких текстах совершенно отсутствуют. Построение фраз сравнительно простое.

Общая схема автоматического перевода научно-технических текстов состоит из четырех этапов.

Первый этап представляет собой ввод английского текста в машину. Второй этап состоит в анализе английского текста и переводе английских слов. Третий этап представляет собой синтез из полученных русских слов русского текста и наконец, четвертый, последний этап — вывод из машины русского текста.

Для ввода переводимого текста в машину каждая буква латинского алфавита заменяется определенным набором цифр. При этом каждое английское слово оказывается замененным некоторым числом.

По той же системе, в запоминающем устройстве машины записаны английские слова, входящие в словарь. Отыскание слов в словаре легко производится с помощью операции сравнения.

Часто приходится встречаться со словами, которые не фигурируют в словаре непосредственно. Например, мы не найдем там слова *equations* потому, что оно имеет окончание *—s*, отвечающее множественному числу, тогда как в словаре приведены существительные в единственном числе. Кроме окончания *—s* могут встречаться и другие окончания, отличающие переводимое слово от слов, имеющих в словаре, например *—ing*, *—ed*, *—er*, *—est*, *—e*, *—y* и т. д.

Если слово переводимого текста не совпадает в точности ни с одним из слов, приведенных в словаре, то производится проверка: не имеет ли слово одного из упомянутых выше окончаний. Найденное окончание отбрасывается, после чего снова производится поиск слова в словаре.

Словарь для автоматического перевода состоит из двух частей: английской и русской.

В английской части словаря каждое английское слово приведено в своем цифровом обозначении и снабжено порядковым (словарным) номером. Кроме номера соответствующего русского слова (или нескольких номеров, если имеется несколько русских эквивалентов), сюда включен также ряд признаков (тоже закодированных в виде чисел), относящихся к грамматике русского слова. Например, для существительного указаны его род, склонение, означает ли оно одушевленный предмет и т. п.

Выбор нужного русского слова, когда английскому слову соответствует несколько русских, производится с помощью отдельной части программы—дополнения к словарю. Эта часть программы представляет собрание правил, по которым проверяется связь переводимого слова с предыдущими и последующими словами. От нее и зависит, какое из русских слов должно быть выбрано. Если слово из переводимой фразы не будет найдено ни в словаре, ни с помощью дополнения к словарю, то это слово останется непереведенным.

Русская часть словаря состоит из русских слов, тоже записанных в виде чисел, получающихся заменой букв русского алфавита определенными наборами цифр.

После того как найден номер русского слова, составляется цифровой эквивалент слова (для записи которого в

машине БЭСМ требуется 2 ячейки). В него входят: номер английского слова, номер русского слова, взятые из словаря грамматические сведения о русском слове. Эти грамматические сведения представлены в виде наборов цифр, каждый из которых записывается всегда в одних и тех же разрядах ячейки, что облегчает их нахождение.

На этом заканчивается работа первой части программы для перевода, осуществляющей анализ английского текста.

Вторая часть программы производит синтез русских предложений, видоизменяя русские слова, извлекаемые из словаря, в соответствии с правилами грамматики и расставляя их по местам.

В программу перевода входят еще подпрограммы, носящие названия: «синтаксис» и «изменение порядка слов». Первая из них расставляет знаки препинания, а вторая изменяет в русской фразе расположение слов по правилам русской грамматики.

Для опытов автоматического перевода на электронной счетной машине БЭСМ был составлен словарь из 952 английских и 1073 русских слов, предназначенный для перевода математического текста.

Ниже приведены английский текст из книги Милна «Численное решение дифференциальных уравнений» и его русский перевод, произведенный машиной.

Introduction

When a practical problem in science or technology permits mathematical formulation, the chances are rather good that it leads to one or more differential equations. This is true certainly of the vast category of problems associated with force and motion, so that wherever we want to know the future path of Jupiter in the heavens or the path of an electron in an electron microscope we resort to differential equations. The same is true for the study of phenomena in continuous media, propagation waves, flow of heat, diffusion, static or dynamic -electricity, etc., except that we here deal with partial differential equations".

«Введение

Если практическая задача в науке или технике допускает математическую формулировку, шансы довольно велики, что это приводит к одному или более дифференциальным уравнениям. Это верно, безусловно, для обширной категории задач, связанных с силой и движением, так что хотим ли мы знать будущий путь Юпитера в небесах, или путь электрона в электронном микроскопе, мы прибегаем к дифференциальным уравнениям. То же верно для изучения явлений в непрерывной среде, распространения волн, потока тепла, диффузии, статического или динамического электричества, и т. д., за исключением того, что мы здесь будем рассматривать дифференциальные уравнения в частных производных».

Естественно, что формализация перевода, полученная в настоящее время, еще весьма далека от совершенства и не охватывает всех сторон процесса. Задача дальнейшей работы заключается в совершенствовании формализации, в разработке более полной и точной системы правил перевода.

Усложнение системы правил перевода приведет к дальнейшему увеличению и усложнению программы работы цифровой машины.

Как уже отмечалось, программа перевода, составленная для описанной выше простой системы правил, содержит свыше двух тысяч команд. В связи с этим возникает задача создания специализированных цифровых машин, предназначенных для автоматического перевода. Эти машины должны иметь большой объем внешних накопителей для хранения словаря, большой объем памяти для хранения программы, обладать быстродействием и выполнять основные логические операции. В то же время арифметическое устройство в машинах для автоматического перевода может быть значительно проще, чем в цифровых вычислительных машинах универсального назначения.

Решение логических задач

Как уже было сказано (см. § 7), аппарат математической логики и, в частности, исчисление высказываний применяется для синтеза электронных вычислительных и управляющих схем. С другой стороны, электронные цифровые машины могут быть использованы для решения логических задач и, в частности, для анализа и проектирования различных релейно-контактных схем. Наряду с большими универсальными электронными машинами для этих целей используются малогабаритные специальные логические машины, построенные из электромеханических реле. Хотя скорость работы больших электронных цифровых машин во много раз больше, чем скорость работы релейных электромеханических машин, однако время решения логических задач на этих машинах получается примерно одинаковым. Это связано с тем, что подготовка программы и ввод исходных данных логической задачи в электронную универсальную машину требуют значительно больше времени, чем непосредственная установка логической задачи на специализированной машине. Кроме того, выполнению одной логической операции на специализированной машине может соответствовать выполнение нескольких десятков команд на универсальной машине (впрочем, последние выполняются за сотые доли секунды).

Для решения часто встречающихся комбинаторных и логических задач целесообразно строить специальные логические машины.

Рассмотрим принципы работы простой логической машины. Пусть A , B , C , D и т. д. — некоторые элементарные высказывания. Их значения истинности являются основными логическими переменными. Каждое из этих высказываний может быть или истинным или ложным. Напомним, что если высказывание истинно, то переменная равна 1, если же оно ложно, то переменная равна нулю.

Любое сложное высказывание может быть построено с использованием только трех основных логических связей: «не» ($\bar{\quad}$), «и» (\wedge), «или» (\vee), однако практически удобнее применять большее количество различных

логических связей в качестве элементарных. К рассмотренным нами в § 7 четырем логическим связям («не», «и», «или», «равнозначно», т. е. «если и только если») добавим еще две связи:

1) « A или иначе B » (или A или B — исключаящее «или»), обозначающую неравнозначность, т. е. высказывание, которое истинно в том и только в том случае, когда истинно только одно из высказываний A или B ;

2) «Если A , то B », обозначающую высказывание, которое ложно в том и только в том случае, когда A истинно, а B ложно.

В виде примера решения логической задачи рассмотрим высказывание: «Только рабочие или члены их семей имеют право пользоваться заводским клубом».

Обозначим следующим образом отдельные высказывания:

A — «право пользоваться клубом»;

B — «принадлежность к числу рабочих»;

C — «принадлежность к числу членов семей рабочих».

Тогда сложное высказывание может быть записано в виде: « A если и только если (B или C)». Обозначая это высказывание буквой R , можем записать логическую формулу:

$$A \approx (B \vee C) = R.$$

Решение логической задачи заключается в том, чтобы найти такие комбинации основных переменных, при которых будет истинным сложное высказывание.

Обычный метод решения задачи заключается в том, что основным логическим переменным задаются всевозможные комбинации значений и для каждой комбинации производится проверка истинности сложного выражения. Комбинации значений основных логических переменных, при которых значение истинности сложного высказывания равно единице, записываются в качестве ответов.

В данном случае мы имеем всего 8 возможных различных комбинаций значений трех основных переменных, четыре комбинации являются ответами:

$$1) A = 1, B = 1, C = 1; \quad 3) A = 1, B = 0, C = 1;$$

$$2) A = 1, B = 1, C = 0; \quad 4) A = 0, B = 0, C = 0.$$

Этот метод решения может быть реализован и в логической машине. Каждая логическая переменная представляется в машине при помощи реле, которое может находиться в одном из двух устойчивых положений. Истинное высказывание (значение логической переменной равно 1) представляется высоким уровнем напряжения, а ложное высказывание (переменная равна 0) представляется низким уровнем напряжения на выходной клемме данного реле.

На рис. VI.1 эти реле обозначены через P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 , а выходные клеммы, с которых снимаются в виде напряжений значения логических переменных, обозначены буквами A, B, C, D, E .

В машине имеется набор логических соединительных ячеек, каждая из которых реализует одну какую-либо логическую связь «не», «и», «или», «если и только если», «или иначе» и др.

Каждая из ячеек имеет выходную клемму и несколько входных клемм. На входные клеммы подаются значения основных логических переменных с соответствующих клемм реле P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 . На входы ячеек могут подаваться также выходные значения от других логических ячеек. Логические соединительные ячейки служат для установки на машине условий решаемой логической задачи. Электрические схемы логических ячеек строятся таким же образом, как и схемы соответствующих логических элементов цифровых машин, рассмотренные в § 7.

Перед решением задачи выбираются необходимые логические соединительные ячейки и между ними устанавливаются соединения требуемые условиями решаемой логической задачи.

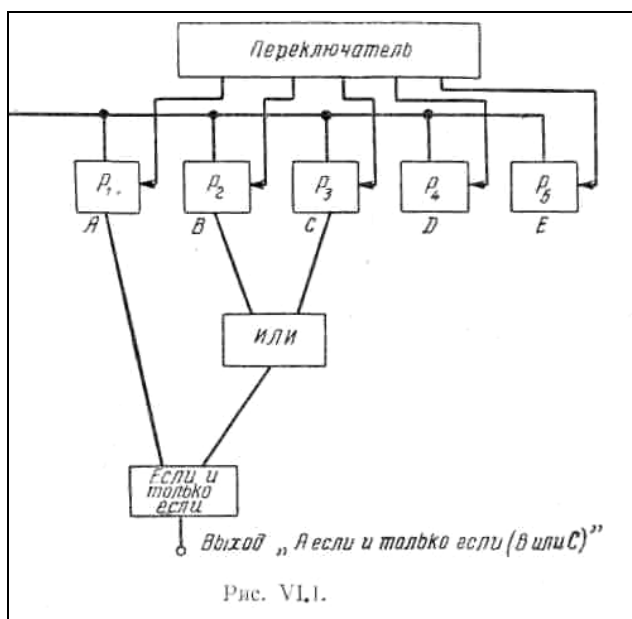


Схема соединений для решения задачи $R = A \approx (B \vee C)$ показана на рис. VI.1. После установки соединительных ячеек в машине при помощи специального переключателя производится систематическая проверка всех возможных комбинаций значений основных логических переменных A, B, C с целью определения таких комбинаций, при которых удовлетворяется заданное сложное логическое выражение. Изменение значений переменных целесообразно производить в определенной последовательности, например в порядке возрастания двоичных чисел. Для трех переменных A, B, C эта последовательность будет иметь вид: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Когда попадает комбинация, удовлетворяющая заданному логическому выражению, машина останавливается и фиксирует найденный ответ. Затем машина запускается для поиска следующих ответов. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут проверены все возможные комбинации исходных переменных и не найдены все ответы. Ясно, что по мере увеличения числа исходных логических переменных резко возрастает количество комбинаций, которые машина должна проверить для определения всех ответов (их число равно 2^n , где n — количество основных переменных). Прибавление каждой новой переменной удваивает число возможных комбинаций. При большом числе переменных требуется не только повысить скорость работы машины, но и автоматизировать запись и выдачу результатов, так как количество ответов, вообще говоря, при увеличении числа переменных значительно возрастает.

В литературе [14] описана простая логическая машина, в которой применен интересный принцип, позволяющий быстро находить один из ответов задачи, не прибегая к систематическому просматриванию всех комбинаций основных логических переменных. Это усовершенствование основано на использовании избирательной обратной связи.

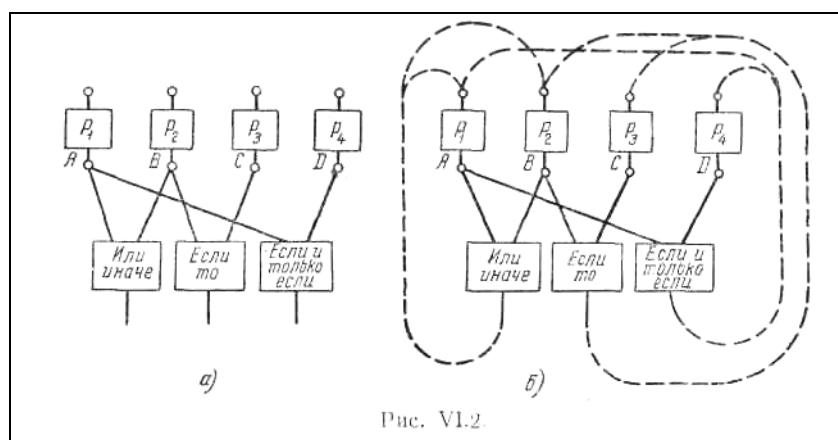


Рис. VI.2

Рассмотрим принцип действия такой машины.

Пусть, например, требуется найти хотя бы одну комбинацию значений основных логических переменных, при которой одновременно удовлетворяются следующие три условия логической задачи:

- « A или иначе B »,
- « A если и только если B »,
- «Если B , то C ».

Предположим, что эта задача решается на описанной выше логической машине путем просматривания различных возможных комбинаций основных переменных. Схема настройки машины показана на рис. VI.2,а. На выходе схемы имеются три провода; каждый из этих проводов выдает сигнал, показывающий удовлетворено или нет соответствующее частное условие задачи.

Теперь предположим, что эти выходные провода связаны обратной связью, как показано на рис. VI.2,б, с входными клеммами основных логических переменных, входящих в соответствующие частные логические условия, и что выходной сигнал каждого неудовлетворенного условия вызывает поочередно изменение значений одной из основных переменных, участвующих в данном условии. Если установленная в данный момент комбинация основных логических переменных является решением данной логической задачи, все частные условия будут удовлетворены одновременно и выходные сигналы не будут вызывать изменений установленных значений основных переменных, т. е. сигналы обратной связи будут отсутствовать. Если же комбинация не является ответом задачи, то некоторые условия не будут удовлетворены и по соответствующим линиям обратной связи будут передаваться сигналы, изменяющие значения основных логических переменных.

Таким образом, пребывание всей электрической системы, образующей данную логическую машину, в неизменном состоянии будет являться показателем того, что установленная комбинация есть решение задачи, и наоборот, непрерывно изменяющиеся значения основных переменных будут указывать на то, что решение задачи еще не найдено.

Для осуществления указанного процесса работы в описываемой машине с обратной связью, помимо логических соединительных ячеек, служащих для реализации основных логических связей, имеются специальные «чувствительные» элементы, которые проверяют, удовлетворены или нет частные логические условия задачи. На вход «чувствительного» элемента подается значение переменной с выхода соответствующей логической соединительной ячейки, представляющей собой частное логическое условие, а выход чувствительного элемента соединяется линиями обратной связи с теми входными клеммами схемы, с которых поступают основные логические переменные в данную логическую ячейку. Если данное условие не удовлетворено, то чувствительный элемент изменяет поочередно поступающие на вход данной* ячейки значения основных логических переменных между двумя их возможными значениями («да» или «нет»). Если частное условие удовлетворено, то

чувствительный элемент не меняет входных значений логических переменных, т. е. данная ячейка находится в «равновесии».

Таким образом, вместо переключателя, применявшегося для систематического просмотра комбинаций основных переменных в простой логической машине, в данном случае изменение значений переменных осуществляется чувствительными элементами. Такой метод позволяет найти ответ значительно быстрее, чем это может быть сделано при систематической проверке всех комбинаций. Однако если требуется найти не один ответ, а все ответы, то этот метод не даст существенной экономии времени, так как для нахождения каждого нового ответа необходимо устанавливать более или менее подходящую исходную комбинацию значений основных переменных и заранее знать, сколько ответов имеет решаемая логическая задача. Кроме того, как это обычно бывает в системах с обратной связью, введение обратной связи приводит к возможности появления незатухающих колебаний, что в данном случае означает наступление непрекращающегося процесса изменения основных логических переменных.

Рассмотрим решение логических задач на электронных цифровых машинах общего назначения. Для конкретности изложения будем вести рассмотрение применительно к машине, описанной нами в гл. IV. Эта машина оперирует с 42-разрядными двоичными числами и может выполнять следующие поразрядные логические действия.

1. Логическое сложение, выполняемое по команде 07— Ф по правилу:

$$0 \vee 0 = 0, \quad 0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1 \vee 1 = 1.$$

2. Логическое умножение, выполняемое по команде 06 — Н по правилу:

$$0 \wedge 0 = 0 \wedge 1 = 1 \wedge 0 = 0, \quad 1 \wedge 1 = 1.$$

3. Отрицание равнозначности, выполняемое по команде 12 (сравнение) по правилу:

$$\overline{0 \approx 0} = 0, \quad \overline{0 \approx 1} = \overline{1 \approx 0} = 1, \quad \overline{1 \approx 1} = 0.$$

При помощи этих трех поразрядных логических операций можно выполнять любые другие логические операции («отрицание», «равнозначность»; «если, то» и др.).

Порядок решения логических задач рассмотрим на примере известной нам задачи: «найти такие комбинации значений истинности основных высказываний A , B и C , при которых сложное высказывание $R = A \approx (B \vee C)$ истинно».

Для вычислений по этой формуле нам необходимо выполнить следующие действия: логическое сложение (\vee) и равнозначность. Так как в машине в качестве элементарной операции имеется операция отрицания равнозначности, то последнее действие можно выполнить с помощью двух действий отрицания равнозначности по следующей формуле:

$$A \approx B = \overline{\overline{A \approx B} \approx 1}. \tag{VL1}$$

В справедливости этой формулы убеждаемся путем непосредственной проверки (табл. VI.4).

Таблица VI, 4	
$A \approx B$	$\overline{\overline{A \approx B} \approx 1}$
$0 \approx 0 = 1$	$\overline{\overline{0 \approx 0} \approx 1} = 1$
$0 \approx 1 = 0$	$\overline{\overline{0 \approx 1} \approx 1} = 0$
$1 \approx 0 = 0$	$\overline{\overline{1 \approx 0} \approx 1} = 0$
$1 \approx 1 = 1$	$\overline{\overline{1 \approx 1} \approx 1} = 1$

Итак, исследуемая формула может быть переписана в следующем виде:

$$\overline{\overline{A \approx (B \vee C)} \approx 1} = R.$$

Решение этой задачи будет состоять в проверке восьми возможных комбинаций значений основных переменных A , B и C , приведенных в табл. VI.5.

Таблица VI. 5

Номера комбинаций	0	1	2	3	4	5	6	7
A	0	1	0	1	0	1	0	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	0	0	0	1	1	1	1

В этой таблице в каждой колонке расположены двоичные числа, соответствующие порядковым номерам колонок, стоящим в верхней строчке. Вся таблицу располагаем в трех ячейках памяти; в каждой ячейке размещается одна строчка таблицы A, B или C.

$$A \cdot (100) = 01010101;$$

$$B \cdot (101) = 00110011;$$

$$C \cdot (102) = 00001111.$$

Проверку производим для всех вариантов одновременно; в результате проверки должно получиться двоичное число, имеющее единицы в тех разрядах, которые соответствуют колонкам, являющимся решениями задачи, а нули будут стоять в тех разрядах, которые не подходят в качестве решений.

Программа имеет чрезвычайно простой вид, показанный в табл. VI.6.

Таблица VI.6

№№ п.п.	Команды						Пояснения
	1	2	3	4	5	6	
K	Ф	0101	0102	0103	0	07	Логическое сложение
K+1	Ср	0100	0103	0103	0	12	Отрицание равнозначности
K+2	Ср	0103	<1>*	0103	0	12	Отрицание равнозначности

* Напомним, что < 1 > обозначает номер некоторой ячейки, в которой хранится единица.

В ячейке 0103 будет получен результат, который может быть прочитан визуально на пульте управления машины и использован для дальнейших вычислений.

Естественно, что необходимость в применении машин возникает, главным образом, для решения сложных задач с большим количеством основных логических переменных. Применение же для этих многокомпонентных задач приведенной методики в том виде, как она описана, будет являться, вообще говоря, невыгодным, так как при этом слишком много труда и машинного времени будет затрачиваться на ввод в машину таблиц значений истинности основных логических переменных. В то же время представляется вполне возможным построить такие программы решения логических задач, которые не требуют ввода таблиц истинности в машину, а обеспечат получение необходимых значений истинности основных логических переменных непосредственно в процессе вычислений в машине.

Однако такие программы, составленные для машин общего назначения, будут являться по своей структуре достаточно сложными, и мы их рассматривать не будем. Сложность программирования логических задач для цифровых машин универсального назначения приводит к необходимости создания специальных логических машин.

Очень близко к рассмотренным логическим задачам подходят задачи, связанные с проектированием релейно-контактных схем. Специальная логическая машина для проектирования релейно-контактных схем, так называемый релейный схемный анализатор, описана К.Е.Шенноном и Е.Ф.Муром [15]. При помощи специальной коммутационной штепсельной доски и системы трехпозиционных переключателей в анализатор задается анализируемая схема и полное перечисление тех состояний реле, при которых данная схема должна быть замкнута или разомкнута.

Анализатор позволяет выполнять следующие функции:

- производить проверку, удовлетворяет ли заданная схема поставленным техническим требованиям;
- производить систематическую проверку схемы с точки зрения возможности ее упрощения. Это осуществляется путем поочередного замыкания и размыкания контактов с целью выявления лишних контактов в схеме, т. е. таких контактов, замыкание и размыкание которых не влияет на работу схемы;
- определение минимального количества контактов в схеме, необходимого для удовлетворения техническим условиям.

Анализатор по конструкции представляет собой весьма простую машину; он содержит всего 24 реле, 14 германиевых диодов, 2 управляющих переключателя и 48 неоновых лампочек. Однако машины такого типа при всей их простоте позволяют значительно облегчить и ускорить работу по проектированию релейно-контактных схем.

Возможными областями применения логических машин могли бы явиться также проверка последовательности сборников правил, составление расписаний (например, расписаний занятий в учебных заведениях, обеспечивающих наличие в одно и то же время нужных групп слушателей, преподавателей и классов), определение наиболее целесообразного порядка перевозок по железным дорогам, расписаний движения самолетов в аэропортах и т. д.

19. УПРАВЛЯЮЩИЕ МАШИНЫ

Особенности применения электронных цифровых машин в системах автоматического управления

Электронные цифровые машины с программным управлением в настоящее время получают широкое применение для целей автоматического управления в промышленности и в военном деле. В промышленности при помощи цифровых машин осуществляется автоматическое управление как отдельными агрегатами, станками, так и поточными линиями и даже целыми автоматизированными заводами.

Применение электронных цифровых машин обеспечивает сокращение количества обслуживающего персонала, экономию материалов и энергии, повышение производственных скоростей (повышение темпа работы), повышение качества продукции и надежный контроль за ходом производства. Особенно важным является применение цифровых машин для автоматического управления производственными процессами, опасными для здоровья и жизни людей, в таких, например, отраслях, как химическая, атомная промышленность. В случае непредвиденных нарушений хода процесса, например при аварии, машины могут обеспечить подачу аварийных сигналов,

вызывающих людей, и принятие некоторых стандартных, заранее предусмотренных мер (например, выключение электроэнергии, прекращение подачи топлива, воды и т. п.).

Помимо автоматического управления электронные цифровые машины эффективно могут применяться и для полуавтоматического управления и контроля за сложными производственными, энергетическими или боевыми системами. При этом основное управление, собственно принятие окончательных решений, остается за операторами, а цифровая машина служит для сбора, систематизации и обработки большого количества данных, поступающих из различных мест, с целью представления этих данных в виде, удобном для обозрения и анализа (например, в виде кривой на экране осциллографа). На машину может быть также возложена задача расчета вариантов будущего поведения системы при тех или иных возможных решениях оператора с тем, чтобы облегчить оператору анализ обстановки и принятие окончательного решения.

В военном деле электронные цифровые машины и устройства начинают широко применяться для решения задач управления огнем артиллерии, наведения на цели управляемых реактивных снарядов, для автоматического управления движением самолетов и других боевых объектов, вытесняя из этих областей устройства непрерывного действия.

Усложнение военной техники, повышение скоростей движения самолетов, кораблей, появление реактивных снарядов после второй мировой войны резко повысило требования к различным военным счетно-решающим устройствам в отношении их быстродействия, точности и гибкости работы. Возникающие задачи не могут быть решены на основе использования счетно-решающих устройств непрерывного действия, обладающих рядом принципиальных недостатков, и требуют применения цифровой вычислительной техники.

Применение электронных цифровых машин для целей автоматического управления открывает новые возможности и перспективы в развитии автоматики.

Строившиеся до настоящего времени автоматические системы, зачастую весьма сложные, предназначались для работы при заранее известных условиях. Эти системы реагировали на изменения условий работы в соответствии с заранее установленными правилами, но не обладали способностью автоматически приспосабливаться к изменениям свойств регулируемого объекта и внешних условий.

Применение электронных цифровых машин позволяет осуществлять так называемое оптимальное регулирование, т. е. регулирование с предварительной оценкой возможностей. Сущность оптимального регулирования заключается в следующем: цифровая машина, получая данные, характеризующие действительное состояние управляемого объекта и внешнюю обстановку, рассчитывает возможные варианты будущего поведения системы при различных способах регулирования, учитывая изменения внешних условий, полученные экстраполяцией.

Анализируя найденные решения на основе выбранного или заданного заранее критерия (например, по минимуму времени переходного режима), цифровая машина выбирает оптимальный вариант процесса регулирования. Такие системы управления обладают свойством автоматически изменять свои параметры для достижения оптимальности процесса.

Необходимым условием для применения электронных цифровых машин для автоматического управления каким-либо процессом является наличие полного математического описания данного процесса, т. е. представление его в виде совокупности вполне определенных однозначных правил, определяющих поведение системы в каждом возможном возникшем положении. Для обеспечения оптимального регулирования в программу работы машины, помимо указанных основных правил, характеризующих поведение системы в каждом конкретном случае, должны быть заданы некоторые общие правила изменения основных правил в зависимости от характера внешних условий и параметров объекта, т. е. должна быть задана некоторая «линия поведения» системы при изменении обстановки.

Таким образом, получается двухступенчатое управление. Можно предусмотреть и более сложные многоступенчатые схемы управления, когда помимо правил второй ступени, определяющих характер изменения основных правил (1-й ступени), вводятся правила 3-й ступени, определяющие порядок изменения правил 2-й ступени, правила 4-й ступени, определяющие порядок изменения правил 3-й ступени и т. д.

Следует подчеркнуть, что как основные правила, непосредственно описывающие данный процесс, так и дополнительные правила, определяющие порядок изменения основных правил, должны быть совершенно четкими и однозначными, чтобы их можно было точно выразить при помощи системы команд машины.

Помимо отмеченного свойства оптимального регулирования электронные цифровые машины в системах автоматического регулирования имеют целый ряд важных технических и эксплуатационных преимуществ перед машинами непрерывного действия.

1. Высокая точность вычислений. Точность вычислений на цифровых устройствах практически может быть получена сколь угодно высокой без значительного усложнения и увеличения габаритов устройств (за счет увеличения количества разрядов для представления чисел).

2. Гибкость (универсальность) применения. Одно и то же цифровое устройство с программным управлением может быть использовано для решения самых разнообразных задач; для этого требуется только замена программы. Например, самолетное цифровое устройство может быть построено так, что в процессе работы простым переключением программы оно будет настраиваться на решение любой из следующих задач: навигации, бомбометания, воздушной стрельбы, автоматического управления взлетом, посадкой и др.

3. Простота изготовления, обусловленная отсутствием трудоемких и точных механических работ, стандартностью радио- и электродеталей, использованием печатного монтажа. Это позволяет организовать полностью автоматизированное массовое производство, что особенно важно в военное время.

4. Работа с кодированными данными. Использование данных, представленных в цифровой, кодированной форме, существенно облегчает и упрощает их передачу на значительные расстояния, что обеспечивает возможность централизованной обработки данных, поступающих из разных источников, а также более высокую помехоустойчивость передающих систем по сравнению с системами непрерывного действия.

Для устройств автоматического управления первостепенное значение имеет надежность работы, так как даже единичный отказ или ошибка в работе могут привести в отдельных случаях к катастрофе. В настоящее время электронные цифровые машины, построенные в основном на электронных лампах и использующие громоздкие и

сложные запоминающие системы, еще не могут обеспечить высокой надежности. Высокая надежность этих машин практически может быть достигнута тогда, когда надежные и нечувствительные к внешним воздействиям полупроводниковые диоды и триоды заменяют электронные лампы, а для запоминающих устройств машин будут использоваться надежные ферромагнитные и ферроэлектрические приборы.

Применение электронных цифровых машин для целей автоматического управления предъявляет ряд дополнительных требований к этим машинам по сравнению с их использованием для математических вычислений. Эти требования вытекают из необходимости совместной работы цифровой машины с реальными объектами в общей замкнутой системе автоматического регулирования. Электронные цифровые управляющие машины должны обладать, в первую очередь, широко разветвленной и гибкой системой входных и выходных устройств, обеспечивающих надежную связь машины с внешним миром.

Цифровая машина, получая непрерывно данные о действительном состоянии управляемого объекта, должна вырабатывать команды для управления движением этого объекта. В связи с этим цифровые машины должны обладать способностью воспринимать входные данные в виде непрерывных величин, а иногда и выдавать результаты расчетов также в виде непрерывных величин. Это обусловлено тем, что параметры, определяющие движение физических объектов, по своей природе являются непрерывными величинами (координаты, скорости, ускорения и т. д.). Так как цифровые машины оперируют с числами, представленными в дискретной форме, то необходимо иметь в таких машинах дополнительно входные преобразователи непрерывных величин в дискретные и выходные устройства для преобразования дискретных данных в непрерывные величины.

В отличие от машин непрерывного действия, которые непрерывно выдают результаты, соответствующие текущим значениям входных данных, в цифровых машинах принципиально неизбежной является некоторая задержка между моментом ввода данных и моментом выдачи результатов. Увеличением быстродействия машины эта задержка может быть уменьшена до пределов, допустимых при тех или иных конкретных условиях регулирования. В связи с этим цифровые машины, предназначенные для использования в системах автоматического управления, должны обладать по возможности более высокими скоростями работы. В тех случаях, когда получающиеся задержки в выдаче результатов являются все же значительными и недопустимыми с точки зрения обеспечения заданной точности регулирования, в программе работы машины должно быть предусмотрено выполнение вычислений с определенным упреждением с тем, чтобы выдаваемые машиной данные соответствовали моменту их поступления в управляемый объект.

Для повышения точности работы системы управления выгодно иметь возможно более высокую частоту выборки и ввода в цифровую машину исходных данных, имеющих непрерывную форму. Однако эта частота не может быть выше некоторого предела, при котором время между двумя последовательными выборками будет меньше времени, необходимого для выполнения машиной одного полного шага вычислений. В противном случае машина не будет успевать перерабатывать все вводимые данные, и эти данные будут накапливаться и устаревать.

Путем рационального программирования можно уменьшить время, требуемое на один шаг вычислений, и тем самым сократить задержку между вводом данных и выдачей результатов.

В отличие от вычислительных машин в управляющих машинах часто сами вычисления по формулам играют вспомогательную подчиненную роль, а основная работа машины заключается в выборе тех действий, которые отвечают определенным условиям. В связи с этим в системах команд управляющих машин значительное место занимают логические операции, служащие для разделения поступающей информации по определенным признакам, для установления соответствия между заданием и исполнением, для расшифровки кодов сложных операций и т. д. Важной задачей, возникающей при разработке управляющих цифровых машин, является выбор такой системы команд, которая бы обеспечивала рациональное программирование реакций машины на внешние воздействия и обладала бы при минимальном количестве команд наиболее содержательным составом.

Для обеспечения надежной и стабильной связи между управляющей машиной и управляемыми объектами и внешней средой применяемые методы кодирования команд и информации должны обладать свойствами самопроверки и самоисправляемости.

Из изложенного видно, что с применением цифровых машин для целей автоматического управления возникает ряд новых теоретических вопросов. В настоящее время в этом направлении наряду с большими экспериментальными работами ведутся и многочисленные теоретические исследования. Так, например, опубликованы сообщения об исследованиях по применению методов частотного анализа, разработанных в теории автоматического регулирования, к смешанным системам, включающим в себя машины дискретного счета и устройства непрерывного действия; разрабатываются методы частотного анализа программ для цифровых машин. Рассмотрение перечисленных вопросов не входит в задачу настоящей книги. Ниже мы приведем несколько конкретных примеров применения электронных цифровых машин для целей автоматического управления.

Автоматическое управление металлорежущими станками

Рассмотрим простейший случай автоматического управления с помощью электронных цифровых устройств, использующих жесткие неизменяемые программы. В этом случае все действия системы полностью определяются заранее составленной постоянной программой, т. е. система работает по так называемой «разомкнутой» схеме.

В Массачусетском технологическом институте (США) осуществлено автоматическое управление с помощью цифрового устройства работой копировально-фрезерного станка. В обычных копировально-фрезерных автоматах движение режущего инструмента задается при помощи копира и копировального прибора, ошупывающего профиль копира. Для обеспечения высокой точности изготовления деталей копир должен быть сам изготовлен достаточно точно.

В описываемом станке копир и копировальный прибор заменены цифровым устройством, в которое требуемый профиль обработки детали задается в числовой форме с помощью перфоленты.

Цифровое вычислительное устройство вырабатывает необходимые команды для движения режущего инструмента и детали, которые при помощи следящих систем воздействуют на силовые агрегаты станка. Замена дорогостоящих копиров перфолентами значительно снижает затраты на подготовительные работы.

Цифровое устройство обеспечивает автоматическое управление не только перемещением инструмента, но и последовательностью операций машины; оператор при этом полностью исключается из процесса управления.

Особенностью описываемой системы является возможность непрерывной работы системы без остановок для набора и ввода новых программ в счетное устройство.

Обычно основным документом для обработки любой детали является чертеж, на котором в числовой форме указаны все размеры детали. Эти числа при управлении станком с помощью цифрового устройства также служат исходными данными для построения программы работы этого устройства. На чертежах могут встречаться самые различные фигуры: окружности, прямые и ломаные линии и др., от самых простых до весьма сложных. При разработке описываемого способа управления станком был сделан отбор некоторых типовых элементарных фигур, которые определенным образом были сопоставлены с характером допустимых движений в станке. В фрезерном станке режущий инструмент имеет возможность двигаться по трем взаимно перпендикулярным направлениям, при этом наиболее просто осуществляются движения по прямым линиям, требующие постоянной подачи.

Исходная информация, вводимая в цифровое устройство, представляет собой перечисление последовательных элементарных прямолинейных приращений пути, проходимого режущим инструментом. Каждое приращение задается указанием трех координат, а также времени, в течение которого должно быть сделано это приращение. Указанные четыре числа группируются в так называемый «блок информации» (комплекс сигналов, подаваемых одновременно). Каждый блок представляет собой указание станку работать между двумя точками в пространстве по прямой линии и в определенное время. Блок информации кодируется на перфоленте в одну строку. Кроме того, в эту строку записываются некоторые вспомогательные числа, обеспечивающие самопроверку кода и его самоисправляемость при одиночных ошибках.

Цифровое устройство, управляющее станком, выполняет большой объем вычислительной работы, связанной со сравнением текущих данных с предшествующей информацией и выработкой команд для управления станком.

В наиболее простом случае цифровое устройство определяет промежуточные положения инструмента путем линейной интерполяции. В более сложных случаях, обеспечивающих соответственно более высокую точность обработки деталей, цифровое устройство определяет промежуточные положения при помощи квадратичной интерполяции или интерполяции более высокого порядка, что, естественно, увеличивает объем вычислительной работы.

Блок-схема цифрового устройства, предназначенного для управления фрезерным станком, показана на рис. VI.3.

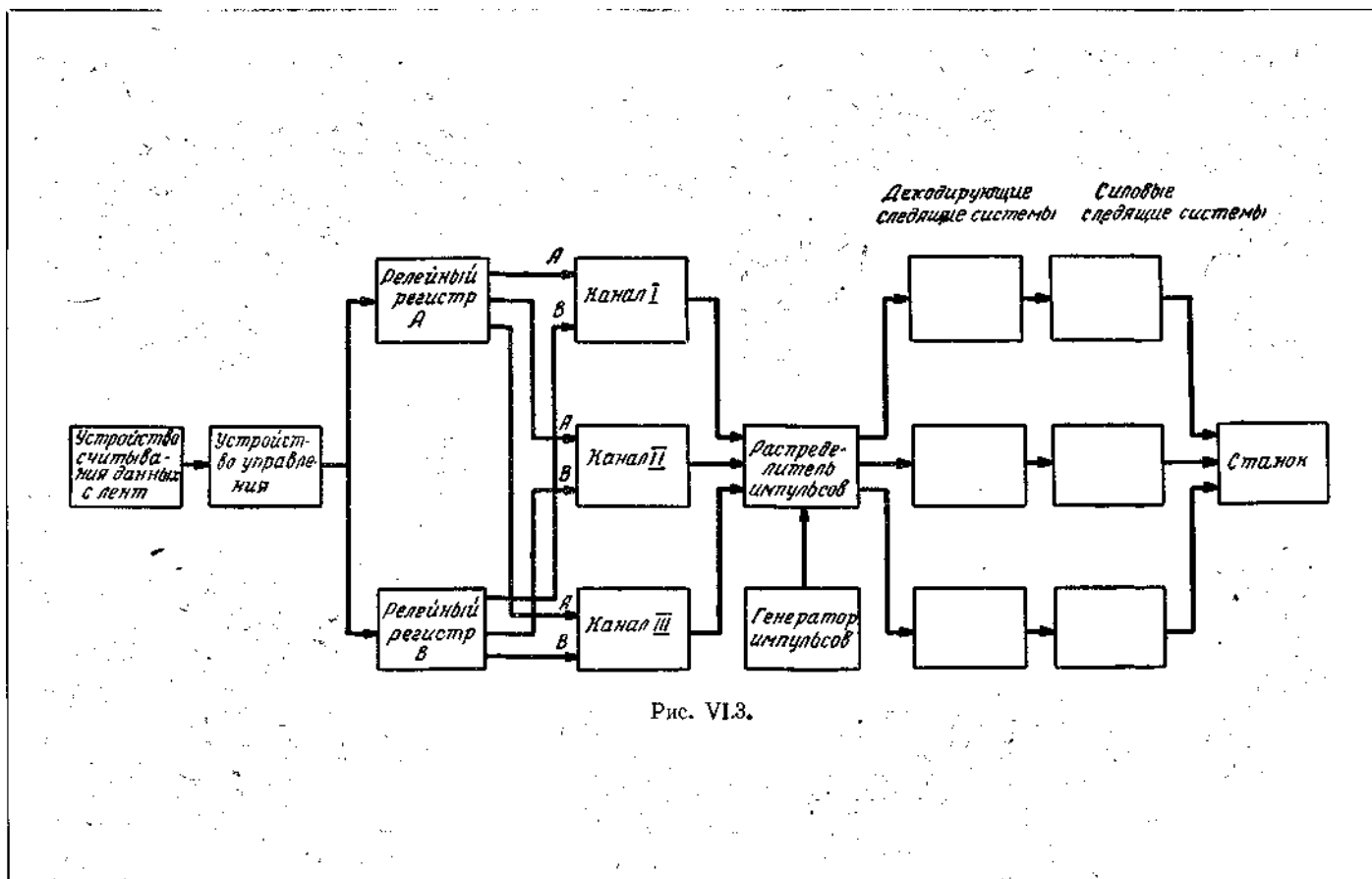


Рис. VI.3.

Информация с перфоленты считывается читающим устройством и проходит на релейные регистры, играющие роль цифрового счетного устройства. В системе предусмотрен ввод данных с двух лент на два релейных регистра, что обеспечивает непрерывную работу системы управления. В то время как один регистр принимает очередной блок информации с ленты, другой регистр выдает данные для работы машины. После этого автоматически производится быстрое переключение регистров, и следующий блок информации считывается в освободившийся регистр и т. д. Числовая информация в регистрах определяет переключение и установку вентильных цепей, регулирующих поступление импульсов от стандартного источника в три канала. Каждый

канал служит для управления механизмом подачи по одной из осей координат.

Импульсы поступают через равные промежутки времени с частотой, обеспечивающей получение требуемой заданными допусками точности обработки детали. Чем выше частота импульсов, тем больше точность работы. Серия импульсов, поступающих по какому-либо каналу, преобразуется при помощи декодирующей следящей системы во вращение вала таким образом, что каждый градус поворота вала соответствует одному импульсу.

Необходимые движения в станке осуществляются при помощи силовых следящих систем, которые постоянно сравнивают вращение валов декодирующих следящих систем с вращением специальных измерительных валов, показывающих действительное положение движущихся частей станка, с тем, чтобы свести к минимуму разность между углами поворотов этих валов.

В процессе экспериментов с описанной системой управления было получено сокращение времени обработки деталей почти в три раза по сравнению с обычным способом управления при помощи копиров.

Применяются способы управления станками при помощи информации, записываемой на кинолентах и магнитных лентах. Магнитная лента имеет существенные преимущества, так как она позволяет запоминать как цифровые данные, так и непрерывно меняющиеся электрические напряжения, и обладает большой емкостью запоминания. На различных дорожках магнитной ленты или барабана могут быть записаны программы различных операций, которые должны выполняться станком, что обеспечивает максимальную производительность станка.

В качестве второго примера рассмотрим применение электронной цифровой машины типа ИБМ-523 для автоматического управления металлорежущим станком, обрабатывающим лопатки ротора компрессора и турбины реактивного двигателя. Обработка деталей ведется по профилю, вычисляемому цифровой машиной.

На рис. VI.4,а показаны лопасти турбины реактивного двигателя, обработанные на станке, управляемом цифровой машиной, а на рис. VI.4,б—блок-схема системы.

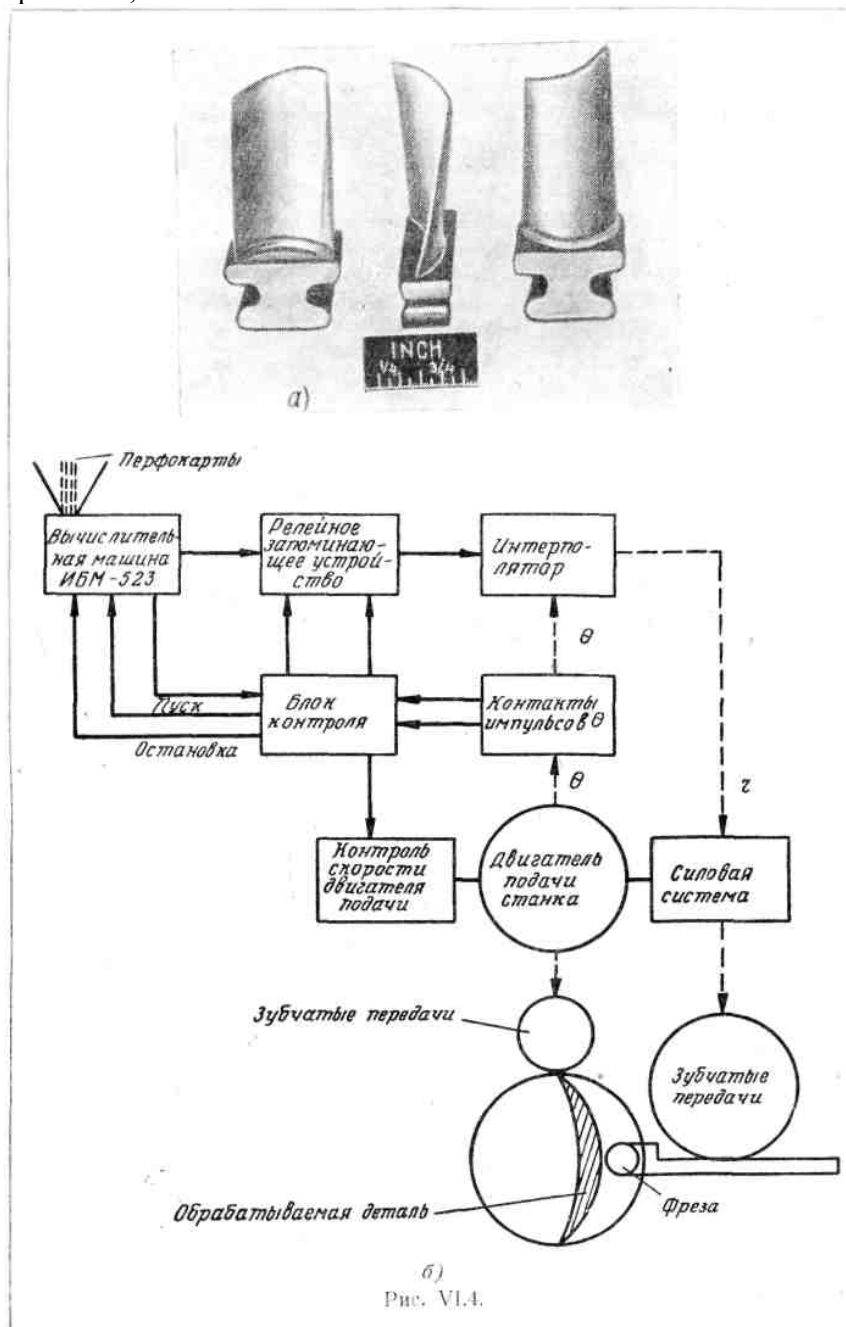


Рис. VI.4.

На перфокартах, вводимых в цифровую машину, заданы прямоугольные координаты точек профиля лопасти. Цифровая машина преобразует прямоугольные координаты в полярные и определяет графики движения

режущего инструмента станка. Вычисленные полярные координаты определяют график только в нескольких опорных точках профиля, число которых для каждого сечения профиля составляет порядка 30—40. Промежуточные значения полярных координат между опорными точками графика определяются при помощи интерполяционной формулы 3-го порядка на интерполяторе, состоящем из трех механических интеграторов. При переходе от одного интерполяционного интервала к другому в интерполятор вводится интерполяционный полином четвертого порядка, полученный с помощью машины ИБМ-523. Значения четвертой разности, вычисленные машиной для каждого интервала интерполяции, в двоично-десятичном коде запоминаются на релейном запоминающем устройстве.

Далее, двоично-десятичный цифровой код четвертой разности преобразуется в угол поворота вала сервомотора и вводится в интерполятор. В результате последовательного интегрирования на выходе интегратора получается функция $r(0)$, определяющая движение режущего инструмента (фрезы).

Двигатель подачи станка обеспечивает вращение (на угол θ) стола подачи с заданной скоростью. Блоки контроля и контактов импульсов служат для синхронизации работы цифровой машины ИБМ-523 и интерполятора.

При максимальной скорости работы системы время, затрачиваемое на выполнение полного цикла интерполяции при повороте стола подачи на 360° , составляло около 10 мин. При этом полная накопленная ошибка интерполяции для всего цикла составляла около 0,1 % от длины интервала изменения функции.

Применение цифровых машин для статистического управления производственными процессами

Современное массовое производство характеризуется непрерывностью производственного процесса и идентичностью вырабатываемых изделий. Однако в действительности получаемые изделия не являются абсолютно одинаковыми, отличаясь друг от друга своими размерами, весами и другими характеристиками в пределах заданных допусков. Известно, что отклонения размеров изделий при массовом производстве подчиняются, как правило, гауссовому (нормальному) закону распределения. Нормальная кривая распределения случайных величин определяется двумя параметрами: средним значением и среднеквадратичным отклонением (σ).

Очевидно, что при массовом производстве нет необходимости контролировать каждую деталь; математическая статистика дает методы определения оптимального числа деталей, которые должны контролироваться при тех или иных условиях с тем, чтобы обеспечить уверенность, что вся масса продукции находится в требуемых пределах. Знание численных значений параметров нормального распределения, которому подчиняются отклонения в вырабатываемых изделиях, позволяет предвидеть в среднем процент деталей, характеристики которых будут находиться в том или ином интервале. Параметры нормального закона распределения определяются обычно на основании обработки статистических данных, относящихся к большому количеству фактически изготовленных деталей, или же рассчитываются теоретическим путем.

Наряду с чисто случайными факторами, определяющими нормальное распределение размеров изделий, на технологический процесс обычно оказывают влияние некоторые факторы, носящие систематический характер и вызывающие либо смещение среднего значения от заданной величины, либо увеличение разброса размеров за допустимые пределы.

Для обнаружения такого рода систематических отклонений в определенных местах производственных линий предусматриваются специально подготовленные операторы, которые производят измерения и на основании анализа результатов измерений вводят коррекцию в ход процесса. Такого рода контроль и управление называют статистическими.

Исследования работы операторов показывают, что последние интуитивно определяют вид статистической кривой, мысленно оценивают среднее значение получающихся размеров и в случае, если это среднее значение отклоняется от заданного, вводят необходимую коррекцию.

Измерения, осуществляемые операторами, могут быть как выборочными, так и непрерывными. Методика определения необходимой величины коррекции вырабатывается у операторов эмпирическим путем в результате достаточно длительного опыта.

Задача статистического управления усложняется, во-первых, тем, что иногда появляются изделия с весьма большими случайными отклонениями в размерах. Эти отклонения бывают вызваны обычно неисправностями оборудования и не должны учитываться при статистической оценке результатов работы производства, но могут использоваться как сигналы, показывающие на необходимость принятия особых мер (остановка и ремонт линии и др.). Кроме того, процесс управления усложняется неизбежным запаздыванием между моментом измерения и моментом ввода коррекции и, в связи с этим, наличием известного количества уже изготовленных деталей на участке производственной линии между измерительным устройством и местом ввода коррекции.

Описанный процесс работы оператора при статистическом управлении производственными линиями вполне может быть автоматизирован с помощью электронных цифровых машин. Для выполнения подобных задач применяются сравнительно простые, малогабаритные и дешевые специализированные электронные машины. Такие управляющие вычислительные машины, помимо автоматического выполнения необходимых вычислений, должны выполнять и логические операции сравнения и выбора необходимых способов коррекции, т. е. реализовывать определенные виды формального мышления, характерные для процесса работы оператора.

Разработке подобной системы автоматического управления должен предшествовать тщательный анализ производственного процесса, включая и работу оператора. При этом должны быть выяснены основные факторы, влияющие на характер кривой распределения изделий, и необходимые статистические параметры, которые должны получаться из входных данных, чтобы иметь сведения о тенденции развития процесса. Анализ должен дать сведения о необходимых измерительных устройствах и порядке обработки результатов измерений. Методика обработки результатов измерений и определения необходимых корректирующих воздействий будут являться основой для построения программы работы цифровой машины.

Статистическое управляющее устройство, использующее электронную цифровую машину, может быть

спроектировано, вообще говоря, для выполнения достаточно сложных функций, включая одновременный анализ ряда параметров изделий, учет режима работы производства и выработку различных команд управления, характер воздействия которых на ход производственного процесса может варьироваться достаточно широко.

Наиболее простой случай статистического управления имеет место при управлении только по одному параметру. Таким параметром является обычно среднее значение какого-нибудь характерного размера изделия. Как показывают опытные данные, в случае нормального распределения ошибок в размерах изделий при массовом производстве, как правило, значение среднеквадратичного отклонения остается практически постоянным, а периодические изменения имеют место для среднего значения контролируемой величины, т. е. кривая распределения, сохраняя свою форму, смещается вдоль оси в ту или иную сторону. В этом случае в качестве статистического параметра, определяющего тенденцию развития процесса, принимают среднее значение контролируемого размера. Далее, в простейшем случае, корректирующие воздействия могут сводиться к двум командам, изменяющим ход процесса в противоположные стороны на фиксированную величину; отсутствие команд будет свидетельствовать о нормальном протекании процесса.

Пусть, например, предварительное изучение производственного процесса показало, что кривая распределения имеет среднее значение a и характеризуется среднеквадратическим отклонением σ . Кроме того, было выяснено, что в процессе работы происходит периодическое смещение кривой распределения вправо или влево, связанное с выходом размеров изделий за установленные допуски. Предположим, что в случае нормального положения кривой распределения приблизительно 6 изделий из 20 будут иметь ошибки, выходящие за пределы $\pm\sigma$. В случае, если кривая распределения сместится, например, вправо на величину $+\sigma$, то из 20 изделий в среднем 10 будут иметь ошибки, выходящие за предел $+\sigma$, и только одно изделие будет выходить за предел $-\sigma$.

Программа работы цифрового устройства может быть построена следующим образом. Получаемые результаты измерений сначала делятся на три группы: «нет ошибки», «ошибка положительная», «ошибка отрицательная». Границами для разделения могут служить, например, значения $\pm\sigma$. Затем цифровое устройство производит алгебраическое суммирование ошибок, определяя положение кривой распределения. В случае нормального положения кривой распределения значение алгебраической суммы будет близко к нулю. В случае если значение алгебраической суммы будет превышать установленный заранее предел, цифровая машина должна выработать соответствующую команду для коррекции. Для более точной коррекции необходимо учитывать также скорость нарастания значения алгебраической суммы. Если сумма выходит за допустимый предел после длительной работы, то это свидетельствует о том, что настройка производственной линии лишь незначительно отклонилась от нормальной и требуется сравнительно небольшая коррекция. Наоборот, если сумма нарастает быстро, то имеется значительная расстройка линии и требуется большая коррекция. Кроме того, программа работы вычислительного устройства должна предусматривать проверку поступающих входных данных для выявления резких отклонений величин, указывающих на неисправность производственной линии и необходимость подачи аварийных команд.

Описанный метод статистического управления при помощи вычислительных машин получает в настоящее время широкое распространение. В качестве примера можно привести установку для автоматического контроля диаметров пластических покрытий электрических кабелей. Измерение диаметра кабеля в этих установках осуществляется при помощи датчиков с чувствительными элементами в виде легких и прочных наконечников, непрерывно ощупывающих кабель; перемещение наконечника изменяет частоту колебаний в кварцевом колебательном контуре. Электрические сигналы, характеризующие изменение диаметра кабеля, подаются в вычислительное устройство, которое интегрирует поступающие данные, что позволяет определить тенденцию изменения диаметра кабеля.

Для уменьшения влияния случайных колебаний размеров одновременно обрабатываются результаты измерений, полученные на значительной длине кабеля (30 — 50 м). Если диаметр превысил установленный предел, вычислительное устройство вырабатывает сигналы, увеличивающие скорость протяжки кабеля, и, наоборот, если диаметр кабеля меньше допустимого предела, скорость протяжки кабеля уменьшается. Регулировка толщины пластического покрытия кабеля осуществляется и другими способами.

В качестве второго примера статистического управления производством при помощи вычислительных машин может быть приведен автоматический контроль веса теста в больших хлебопекарнях. При массовом производстве хлебобулочных изделий возникает задача — исключить недобор в готовых изделиях, не слишком увеличивая перерасход материала.

Вес готового изделия является прямой функцией массы куска теста, которая в свою очередь определяется объемом камеры тестоделителя. В тестоделитель тесто поступает из больших корыт, содержащих тесто для изготовления большого количества изделий. В корытах тесто всходит в течение нескольких часов, в результате чего его плотность меняется по слоям. Таким образом, масса теста, поступающего в тестоделитель, помимо случайных колебаний, подвержена также и периодическим колебаниям, обусловленным изменением плотности теста в корытах. При переходе от одного корыта к другому процесс периодически повторяется.

Первоначально контроль веса изделий осуществлялся периодически оператором, который вводил ручную соответствующую коррекцию, регулируя объем камеры тестоделителя. При этом имел место значительный перерасход теста и не было гарантии в том, что не получатся изделия со значительными недоборами.

Для указанной работы была создана автоматическая система, включающая в себя высокопроизводительные весы, оптический датчик и счетное устройство, управляющее объемом камеры тестоделителя. При этом взвешивался каждый кусок теста и полученные результаты статистически обрабатывались счетным устройством, которое автоматически вводило необходимую коррекцию. В результате значительно снизился перерасход теста и уменьшился разброс весов готовых изделий.

Электронная цифровая машина для автоматического управления самолетом

В качестве примера применения электронных цифровых машин для целей автоматического управления в авиации возьмем машину Диджитак, одну из первых машин, созданных для решения задач навигации и

автоматического управления полетом самолета. Проектирование машины Диджитак было начато в США в 1949 г., а в 1952-53 гг. были проведены успешные полетные испытания машины. По своему типу Диджитак представляет универсальную цифровую машину с программным управлением. Для целей автоматического управления полетом весьма ценными оказались две особенности машин этого типа: высокая точность вычислений и универсальность (гибкость) применения.

Задачи, решаемые машиной Диджитак

Машина Диджитак предназначена для автоматического управления полетом бомбардировщика при выполнении задач тактического бомбометания.

В функции машины входит определение текущего положения самолета, вычисление координат точки, где самолет должен сбросить бомбы (на основе координат цели, скорости и высоты полета самолета и необходимых баллистических и метеорологических данных); определение необходимого курса для достижения пункта сбрасывания бомб, и, наконец, выработка команд для управления движением (через автопилот самолета) и сбрасыванием бомб.

Машина Диджитак может управлять самолетом по программе, направляя его для бомбометания на большое количество целей (до 30).

Определение положения самолета в пространстве производится при помощи двух методов: радионавигации и автономного расчета пути.

При отсутствии радиосигналов положение определяется только по расчету пути. Сочетание двух методов повышает надежность определения координат, обеспечивая сглаживание колебаний в радиосигналах.

Радионавигация осуществляется при помощи наземной гиперболической системы, включающей в себя три наземные станции *A*, *B*, *C* (рис. VI.5).

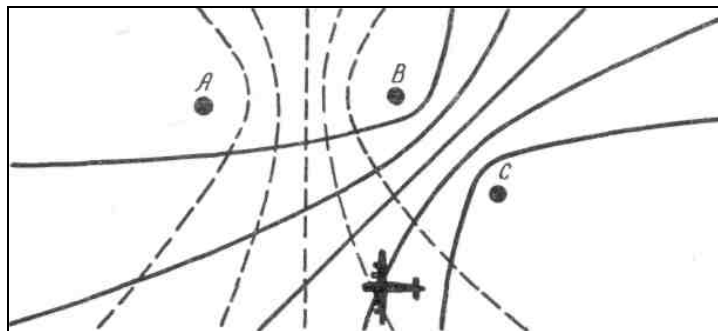


Рис. VI.5.

Эти станции передают через определенные промежутки времени высокочастотные импульсы, которые принимаются приемным устройством на самолете. Разница во времени прибытия импульсов от станций *A* и *B* и разница во времени прибытия импульсов от станций *B* и *C* используется для вычисления положения самолета по отношению к наземным станциям. Поступающие две разности времен (T_1 и T_2) определяют два гиперboloида вращения, пересечение которых образует кривую, на которой находится самолет. Зная высоту полета самолета, можно определить точку на этой кривой и тем самым определить положение самолета в пространстве. Измерительное устройство радионавигационной системы обеспечивает весьма высокую точность измерения разности времен прибытия сигналов до 0,02 мксек или до 1/30000 расстояния. Столь высокая точность данных может быть использована только в цифровой вычислительной машине.

Автономное вычисление пути производится на основе непрерывно поступающих данных от самолетных приборов (курса, воздушной скорости), предварительно вычисленного положения самолета и данных о ветре (скорость и направление). Характеристики ветра периодически уточняются на основе радионавигационных данных.

Особенностью системы является систематическая проверка соответствия принимаемых радионавигационных данных предыдущему положению самолета и переключение управления на автономное вычисление пути в случае их расхождения. При получении новых сигналов, соответствующих положению самолета, система автоматически возвращается к комбинированному способу определения координат самолета.

Уравнения, определяющие положение самолета на основе радионавигационных данных, решаются методом итераций. При первом решении полагают координаты x , y , z , равными нулю, и после нескольких итераций (порядка 6) получают их истинные значения. При последующих решениях в качестве первого приближения для начала итерационного процесса принимают значения координат, полученные в предыдущем цикле вычислений.

На рис. VI.6 приведена упрощенная блок-схема программы работы цифровой машины.

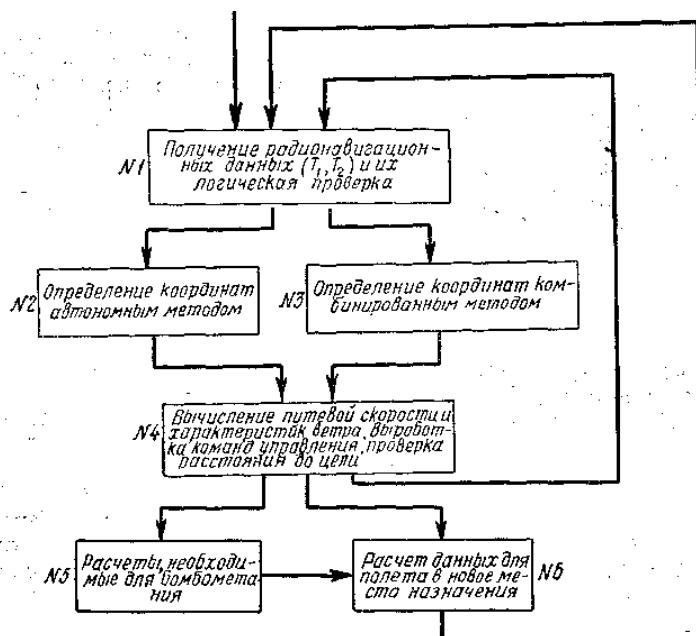


Рис. VI.6.

Этап № 1 предусматривает выдачу команд для отбора данных измерений разностей времен прибытия сигналов. Этот же этап включает в себя логическую проверку полученных данных на их соответствие предыдущим измерениям и положению самолета. Если полученные данные резко расходятся с предыдущими величинами (что может быть вызвано действиями помех или потерей сигналов), то новая информация отбрасывается, а машина переходит к выполнению этапа № 2 программы.

Этап № 2 предусматривает определение текущих координат самолета вычислением пройденного пути на основе координат предыдущего положения, данных о ветре и воздушной скорости самолета. Необходимые данные за весь промежуток времени, для которого вычисляется пройденный самолетом путь, хранятся в памяти машины. Если полученные радионавигационные данные (значения разностей времен T_1 и T_2) логически соответствуют предыдущим величинам, то после этапа № 1 выполняется этап № 3, т. е. производится вычисление координат самолета итерационным методом. Для более точного определения координат предусматривается на этом этапе также определение координат методом счисления пути и сравнение полученных двумя методами результатов.

После этапов № 2 и № 3 выполняется этап № 4. Этот этап включает в себя вычисление путевой скорости самолета, уточнение составляющих ветра и выработку команд для управления движением самолета. В это же время проверяется расстояние, остающееся до места назначения самолета. Если место назначения еще не достигнуто, то машина переходит к повторению описанного цикла работы. Если самолет достиг места назначения, то работа машины может происходить по двум направлениям:

- а) выполняется этап № 5, предусматривающий окончательную проверку исходных данных для бомбометания и выдачу команды для сброса бомб;
- б) выполняется этап № 6, предусматривающий вычисление данных для направления самолета в новый пункт назначения, указанный в программе.

Вычисления данных для бомбометания не требуют дополнительного времени, так как этап № 2 программы (вычисление пути) занимает приблизительно на половину меньше времени, чем этап № 3 (комбинированное определение положения), и вычисления, необходимые для бомбометания, могут производиться в течение времени, остающегося после выполнения этапа № 2. При этом время, затрачиваемое на выполнение внутреннего цикла программы (этапы № 1, № 2 или № 3 и № 4), сохраняется постоянным, равным около 0,5 сек. За это время машина выполняет 360 операций. Полное выполнение программы, включая и расчеты для бомбометания, требует 700 операций, в том числе 90 операций умножения и деления.

Интересно отметить, что в описанной программе использованы более 50 раз команды условного перехода. Широкое использование этих команд является одной из особенностей данной программы, показывающей на приспособленность универсальных машин с программным управлением для целей навигации и автоматического управления полетом.

Заметим, что данные от самолетных приборов (высота, курс, воздушная скорость) вводятся в вычислительную машину в цифровой форме через соответствующие преобразователи. Машина выдает команды для приема этих данных и проверяет вводимые величины на их логическое соответствие с предшествующими значениями. В случае несоответствия поступающие данные отбрасываются, а в вычислениях используются предыдущие значения. Такая логическая проверка также требует использования команд условного перехода.

Конструкция машины Диджитак

Основными конструктивными требованиями, которые ставились при разработке машины Диджитак, являлись требования малого веса и габаритов. В связи с этим Диджитак была построена (в 1940—50 гг.) как машина последовательного действия с фиксированной запятой.

Запоминающим устройством машины является магнитный барабан, который был выбран главным образом потому, что записанные на нем данные не пропадают при случайных перерывах в работе. Кроме того, магнитный барабан весьма удобен для работы в машинах последовательного действия. Величины и команды представляются 17-разрядными двоичными числами, включая разряд знака.

Емкость памяти составляет 1056 ячеек, в том числе 768 ячеек для хранения команд, 192 ячейки для хранения постоянных величин и 96 ячеек для записи результатов вычислений.

Скорость вращения барабана — 7000 оборотов в минуту. Эта скорость может изменяться в зависимости от хода процесса решения задачи.

Кроме магнитного барабана, для записи промежуточных результатов имеется регистр на 6 чисел с быстрой выборкой данных. В машине применяется двухадресная система команд; в команде, кроме кода операции, указывается адрес одного числа и адрес следующей, команды. Такая система команд позволяет использовать метод оптимального программирования, существенно сокращающий время решения задач на машинах последовательного действия. Этот метод заключается в том, что команды программы располагаются не как обычно подряд (в порядке возрастания номеров ячеек памяти), а таким образом, что очередная команда находится в ячейке, следующей за той ячейкой, в которую должен быть записан результат предыдущей операции. При этом не происходит потери времени на ожидание поворота барабана, а очередная команда выдается сразу же после записи результата предшествующей операции.

Система команд машины включает в себя 37 операций, в том числе 24 логические операции, предназначенные для отбора входных данных, образования выходных сигналов для управления самолетом. Остальные 13 операций — обычные операции (сложение, вычитание, умножение, деление, передача данных и т. д.). Кроме того, в системе команд имеется команда условного перехода.

Машина Диджитак имеет следующие конструктивные характеристики (рис. VI.7,а). Высота корпуса цифровой машины 50 см, длина 55 см, ширина 47,5 см, объем корпуса равен приблизительно $0,15 \text{ м}^3$, вес только цифровой машины около 52 кг. В машине имеется 260 электронных ламп и около 1300 германиевых диодов. Общая потребляемая мощность, включая систему охлаждения, составляет 1300 вт. Магнитный барабан имеет диаметр 6 см и длину 12 см. Барабан представляет собой полый алюминиевый цилиндр с оксидным покрытием.

Помимо цифровой машины, в систему Диджитак входят еще измерительное и приемное устройства, источники питания (рис. VI.7,б), устройство охлаждения и специальное переходное устройство для связи цифровой машины с автопилотом самолета.

Объем всей системы Диджитак составляет около $0,324 \text{ м}^3$, а вес около 100 кг.

Следует заметить, что технические и конструктивные данные этой машины существенно уступают более поздним образцам самолетных цифровых машин.

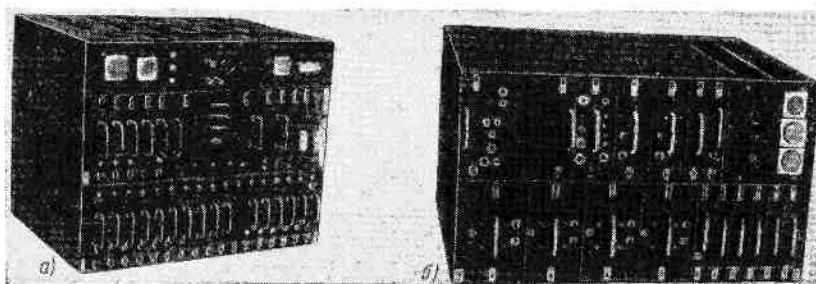


Рис. VI.7

Остановимся на переходном устройстве для связи цифровой машины с автопилотом.

Управление движением самолета осуществляется при помощи автопилота, который вместе с измерительным элементом (гироскопом) и регулируемым объектом (самолетом) образует замкнутую систему автоматического регулирования непрерывного действия (рис. VI.8).

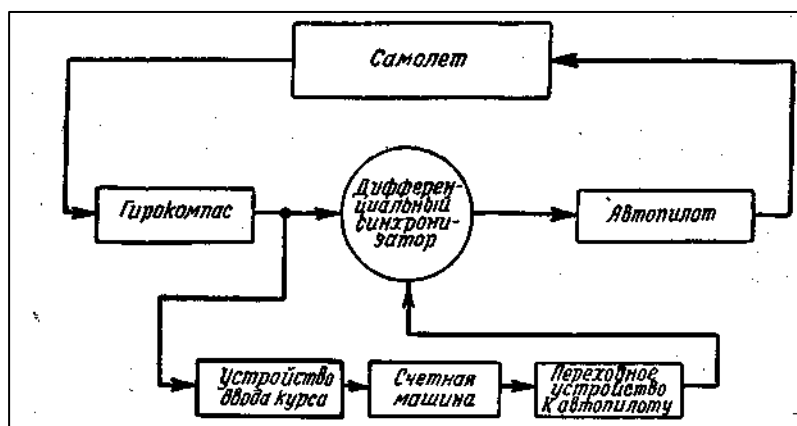


Рис. VI.8.

Включение машины дискретного счета в эту систему связано с двумя основными затруднениями. Во-первых, цифровая машина выдает сигналы дискретно (в данном случае через 0,5 сек.) и эти сигналы должны каким-то способом сглаживаться и преобразовываться в непрерывную форму. Во-вторых, в процессе работы цифровой машины могут появляться иногда отдельные ошибочные результаты, резко отличающиеся от действительных значений. Непосредственное использование таких данных для управления самолетом могло бы привести к опасным для самолета движениям. В связи с этим машина Диджитак не включается непосредственно в замкнутую цепь автоматического регулирования самолет — гироскоп — автопилот — самолет, а используется для коррекции сигналов, передаваемых из гироскопа в автопилот. При этом образуется вторая замкнутая цепь автоматического регулирования: самолет — гироскоп — устройство ввода курса в цифровую машину — цифровая машина — переходное устройство от цифровой машины к автопилоту — автопилот — самолет. Такой способ включения был выбран исходя из условия обеспечения устойчивости движения самолета. Устойчивость движения в этом случае обеспечивается обычной системой автоматического регулирования с автопилотом, а цифровая машина оказывает влияние только на изменение курса. Данные от этой машины поступают в автопилот через специальное переходное устройство уже отфильтрованные и сглаженные. Отфильтровывание ложных сигналов, могущих возникнуть в процессе работы цифровой машины, наиболее удобно осуществляется в том случае, когда эта машина сама непосредственно не входит в основную цепь регулирования самолет — автопилот — самолет.

Переходное устройство от цифровой машины к автопилоту состоит из собственно переходного устройства и дифференциального синхронизатора, который служит для согласования сигналов, поступающих в автопилот от гироскопа и цифровой машины.

Цифровые данные, выдаваемые машиной, преобразуются в угол поворота дифференциального синхронизатора при помощи электронно-лампового регистра (запоминающее устройство на одно число, см. § 7), который приводит во вращение шаговый мотор синхронизатора. После каждого цикла вычислений машина выдает цифровые данные на регистр, который затем постепенно сбрасывается до нуля импульсами, приходящими от импульсного генератора. Каждый импульс, поступивший в регистр, уменьшает на единицу записанное в нем число и одновременно заставляет шаговый мотор поворачивать дифференциальный синхронизатор на угол, соответствующий изменению курса на $\frac{1}{3}$ градуса. Направление изменения курса определяется знаком числа, записанного в регистре. Когда регистр будет сброшен до нуля, дифференциальный синхронизатор введет в автопилот полное изменение курса, соответствующее сигналу управления, выработанному цифровой машиной.

Если в некоторые промежутки времени в регистре накапливаются большие сигналы управления, то скорость считывания автоматически увеличивается в 4 раза. Как показывают сообщения о результатах испытания этой системы, такой способ ввода данных обеспечивает удовлетворительные результаты управления самолетом, когда необходимые изменения курса находятся в пределах $+ 12,6^\circ$.

Общие результаты 60 летних испытаний системы Диджитак, проводившихся с июня 1952 г. по август 1953 г., указывают на большие перспективы применения электронных цифровых машин в авиации.

В последующие годы был создан еще ряд машин для автоматического управления самолетами. Остановимся кратко на некоторых из них.

Американская фирма Джекобс выпустила для авиации малогабаритную цифровую машину ДЖЕНКОМП-С, предназначенную для решения задач навигации, стрельбы, бомбометания.

Для хранения констант, необходимых для вычислений, и промежуточных результатов машина имеет внутреннее запоминающее устройство.

Машина приспособлена для непосредственной работы с реальными объектами; она оперирует с данными, непрерывно поступающими в нее через 9 внешних каналов.

Машина автоматически измеряет входные величины с частотой 10 раз в 1 сек. и в таком же темпе выдает на 3 выхода результаты, управляющие действиями объекта.

При использовании машины в системе управления огнем истребителя в качестве 9 вводимых в нее величин используется азимут, угол места и дальность цели, скорость движения истребителя относительно трех осей, воздушная скорость, высота, температура воздуха. Три выхода дают поправки в двух плоскостях и время предупреждения.

В случае, если на одном из входов переменная резко изменяется, машина анализирует характер изменения по отношению к ранее поступившим данным с целью определения: является ли это изменение возможным или должно рассматриваться как случайное и не учитываться при дальнейших расчетах. Программой работы машины могут быть предусмотрены несколько типов подобных решений.

Для обеспечения правильности работы машины предусматривается автоматическая проверка, заключающаяся в том, что на вход машины периодически через каждые 3,2 сек. (32 цикла операций) задаются некоторые величины, при которых машина должна дать определенный заранее известный ответ. Если ответ получается другой, то машина дает сигнал и прекращает вычисления. Имея в своей схеме 800 сверхминиатюрных электронных ламп, машина занимает объем около $0,25 м^3$ (без источников питания.)

Управляющее и вычислительное устройство АМСС, предназначенное для автоматического управления самолетом от взлета до посадки, разработано и построено фирмой Миннеаполис-Хонейвелл по заданию военно-воздушных сил США. Устройство автоматически выполняет следующие функции: управление взлетом, выравнивание самолета на заданной высоте, направление его по заданному курсу, приведение к заданному пункту и управление посадкой.

Полет заранее рассчитывается и инструкция для вычислительного устройства наносится на перфорированную ленту в виде пробивок. Вычислительное устройство сравнивает данные о местонахождении самолета, даваемые навигационными приборами, с программой полета и по отклонениям корректирует полет.

Устройство АМСС имеет размеры большого настольного телевизионного приемника и целиком управляет полетом самолета. Ручное управление от пилота может потребоваться лишь вследствие непредвиденных обстоятельств.

20. «ИГРАЮЩИЕ» И «ОБУЧАЕМЫЕ» МАШИНЫ

Для исследования логических возможностей машин и для разработки совершенных автоматических устройств весьма интересной и важной является проблема создания машин, обладающих способностью выбирать (вычислять) оптимальные ходы в различных играх (шахматы, шашки, кости, карты и др.), а также проблема разработки соответствующих программ для универсальных цифровых машин.

Обычно правила игры представляют собой вполне определенный комплекс условий, которые позволяют задать в машину с большей или меньшей степенью определенности необходимые исходные данные для целеустремленной работы по вычислению оптимальных вариантов.

Дискретная природа известных игр (расчленение на отдельные чередующиеся ходы) хорошо согласуется с цифровым принципом работы электронных цифровых машин, не требуя каких-либо преобразований непрерывных величин в дискретные и обратно.

Машины для выбора оптимальных ходов могут быть основаны на нескольких различных принципах, определяющих степень совершенства, сложность и гибкость «игры» машины.

В соответствие с этим «играющие» машины могут быть разделены на четыре основные группы в порядке возрастания степени совершенства и сложности «игры» этих машин.

1. Машины типа «словарь»

В машинах этого типа заранее должны быть записаны в памяти все ответы на все положения, которые могут возникнуть в результате ходов противника.

В процессе игры машина просто сравнивает каждое очередное положение с тем запасом, который хранится в памяти, отыскивает такое же положение и соответствующий ему ответ.

Машины, основанные на этом принципе, должны иметь чрезвычайно большие запоминающие устройства, которые могли бы вместить огромное число возможных вариантов.

Ясно, что объем работы по подготовке и введению в машину этих вариантов чрезвычайно велик и для большинства известных игр практически невыполним. Однако этот принцип может использоваться для некоторых игр в комбинации с другими принципами на начальной стадии игры, т. е. когда число возможных вариантов сравнительно невелико.

2. Машины, реализующие строго определенные правила игры

В основе некоторых игр лежит строгая математическая теория, которая позволяет при помощи определенных формул в любом положении рассчитать необходимый оптимальный ход. Таким образом, вычислительная машина, применяемая для подобных игр, должна обычным способом производить вычисления по программе, составленной для соответствующих расчетных формул.

3. Машины, использующие общие принципы оценки положений

В большинстве игр невозможно точно указать в каждом положении единственный оптимальный ход, который бы обеспечивал более успешное продвижение к выигрышу, чем любой другой ход. Однако существуют общие принципы для оценки положений, возникающих в ходе игры, позволяющие сравнивать различные возможные ходы. Эти принципы в своей основе являются общими для всех игроков, правильно играющих в данную игру (шашки, шахматы, карты и др.), но в зависимости от квалификации и индивидуальных особенностей игроков могут быть различные подходы к истолкованию и применению этих общих принципов.

В машину при помощи соответствующей программы могут быть заложены необходимые критерии для применения этих общих принципов в определенных положениях. Ясно, что совершенство игры по такому методу в основном зависит от совершенства исходных общих принципов игры. Это в одинаковой мере относится как к «играющей» машине, так и к людям.

4. «Обучаемые» машины

В машину задаются правила игры, некоторая элементарная тактика игры и методы улучшения этой тактики в результате опыта, т. е. методы «обучения» машины.

Могут быть использованы различные методы обучения машин; к числу таких методов относятся:

- а) пробные ходы с запоминанием благоприятных и устранением неблагоприятных возможностей;
- б) подражание более успешно играющему противнику;
- в) обучение машины в результате одобрения или неодобрения

действий машины с указанием характера допущенных ошибок со стороны внешнего наблюдателя — «учителя»;

г) анализ самой машиной после окончания партии или в процессе игры допущенных ошибок и общего хода игры с целью выработки общих принципов тактики игры.

Машины, играющие по принципу «словаря», и машины, вычисляющие оптимальные ходы по определенным постоянным расчетным формулам, не представляют особого интереса с точки зрения их логических возможностей.

Программы, обеспечивающие поиск и выборку нужных ответов из словаря, аналогичны программам, служащим для выборки необходимых значений функций из таблиц при математических вычислениях.

Программы для вычисления оптимальных ходов по заданным расчетным формулам также не отличаются от обычных вычислительных программ.

Значительный интерес представляют машины, играющие по принципу общей оценки положения, и обучаемые машины, которые мы рассмотрим более подробно.

Характерным примером машин, выбирающих оптимальные ходы; на основе общих принципов оценки

обстановки, являются машины, играющие в шахматы. Исследованию возможностей такого использования электронных цифровых машин посвящены работы К. Е. Шеннона, Г. Шлибса [18, 19].

Машины, играющие в шахматы

Шахматная игра представляет собой игру, подчиненную строго определенным правилам, каждое из которых сводится, в конечном счете, к последовательности альтернативных выборов (выборов одного из двух взаимоисключающих ответов «да» или «нет») и вполне может быть реализовано на электронной цифровой машине.

Составление программы, обеспечивающей задание в машину полной информации о шахматной позиции (расположение фигур, наличие свободных клеток, очередность хода, взятие пешек на проходе и др.) и дающей возможность выбирать ходы, допускаемые правилами игры, не содержит принципиальных трудностей. Проблема заключается в том, чтобы построить такую программу, которая дает возможность машине выбирать относительно хорошие ходы. Следует заметить, что не ставится вопрос о возможности осуществления машиной оптимальной игры, так как даже человеческий разум не достигает этого.

Необходимо, чтобы машина могла оказать серьезное сопротивление игроку определенной шахматной категории. Сложность шахматной игры заключается в чрезвычайно большом количестве возможных вариантов продолжения партий и необходимости учитывать при анализе обстановки большое количество факторов. Сущность шахматной стратегии сводится к тому, чтобы, продумывая на несколько ходов вперед возможные продолжения игры, оценить возникающие позиции и выбрать такие ходы, которые в будущем, по мнению игрока, должны привести к выигрышу партии. Своеобразие игры отдельных шахматистов заключается в различном подходе к оценке позиций и в различной способности обдумывать продолжение игры на большее или меньшее количество ходов вперед.

Программа работы машины также предусматривает возможность оценки позиций по определенным заранее заданным в машину критериям и последовательную проверку всех возможных своих ходов и ответов противника на несколько ходов вперед. Чем большее количество ходов вперед будет проверять машина, тем совершеннее будет ее игра. Однако ясно, что проверка на каждый лишний ход вперед приводит к резкому увеличению количества проверяемых вариантов и, помимо усложнения программы, приводит к значительному увеличению времени, необходимого для нахождения очередного хода.

Критерии для оценки позиций машиной должны быть заданы в виде определенного математического алгоритма, соответствующего некоторой стратегии игры.

Обычно оценка шахматной позиции производится по элементам (соотношение по численности и качеству фигур, изолированное или защищенное положение королей, занятость центра, наличие проходных пешек, занятость открытых линий и т. п.), причем ясно, что отдельные элементы далеко не равноценны между собой. Кроме того, относительная ценность того или иного элемента (или как говорят преимущества) даже в одной и той же позиции с точки зрения различных игроков может быть различной. Однако представляется возможным оценить в среднем (т. е. по мнению большинства игроков) отдельные элементы позиции определенным количеством очков. Наиболее просто это сделать, очевидно, для оценки качества фигур, и в шахматной игре, вообще говоря, установился определенный эквивалент ценности отдельных фигур. Для других элементов позиции, в том числе элементов, характеризующих степень развития фигур, также представляется возможным установить определенное количество очков, оценивающих этот элемент. Так как один и тот же элемент в различных положениях (например, в дебюте и в эндшпиле) может иметь различную ценность, то может быть введена дополнительная зависимость количества очков, соответствующих элементу, от типа позиции.

Например, может быть установлено следующее распределение очков для отдельных элементов.

Король (Кр)—200; Ферзь (Ф)—9; Ладья (Л)—5; Слон (С)—3; Конь (К)—3; Пешка (П)—1; отсталая пешка (П₁)—0,5; изолированная пешка (П₂)—0,4; сдвоенная пешка (П₃)—0,3; подвижность (М)—0,1.

Подвижность «М» представляет собой чисто позиционное преимущество и может определяться количеством свободных полей, имеющих в распоряжении той или другой стороны, для передвижения наиболее сильных фигур.

Таким же образом могут быть введены определенные оценки в очках и для других элементов. Вопрос рационального расчленения шахматных позиций на элементы и определения соответствующих оценок для этих элементов, по-видимому, еще как следует не разработан и представляет собой задачу шахматной теории. Для обеспечения возможности оценки машиной позиции в целом вводится некоторая функция ценности позиции $\varphi(P)$, которая позволяет на основе указанных оценок отдельных элементов оценивать качество всей позиции.

Эта функция характеризует собой подход «игрока» (машины) к оценке позиций, т. е. определяет по существу своеобразие игры, стратегию игры.

В наиболее простом случае эта функция может представлять собой сумму очков, соответствующих отдельным элементам позиции, и иметь следующий вид:

$$\varphi(P) = 200(Kp - Kp') + 9(\Phi - \Phi') + 5(L - L') + 3(K - K' + C - C') + (P - P') + 0,5(P_1 - P_1') + 0,4(P_2 - P_2') + 0,3(P_3 - P_3') + 0,1(M - M') + \dots, \quad (VI.2)$$

где буквы Кр, Ф, Л, К, С, П, П₁, П₂, П₃ обозначают количества соответствующих фигур у белых, а те же буквы со штрихами — количества таких же фигур у черных; М и М' — определенные выше характеристики подвижности.

Эта функция $\varphi(P)$ позволяет приближенно оценивать качество позиций.

Если считать, что машина играет белыми, то увеличение этой функции будет свидетельствовать об улучшении позиции и успешности игры.

В позиции Р машина подсчитывает на p ходов вперед все возможные варианты своих ходов и ответов противника $a_1, \beta_1, a_2, \beta_2, \dots, a_p, \beta_p$ (где a_i — ходы машины, β_i — ходы противника) и из всех вариантов выбирает наиболее выгодный вариант $\bar{a}_1, \bar{\beta}_1, \bar{a}_2, \bar{\beta}_2, \dots, \bar{a}_p, \bar{\beta}_p$, т. е. такой

вариант, для которого функция ценности $\varphi(P_{\alpha_1, \beta_1, \dots, \alpha_p, \beta_p})$ будет иметь максимальное значение.

$$\varphi(P_{\alpha_1, \beta_1, \dots, \alpha_p, \beta_p}) = \max_{\alpha_1} (\min_{\beta_1} (\max_{\alpha_2} (\min_{\beta_2} (\dots (\max_{\alpha_p} (\min_{\beta_p} \varphi(P_{\alpha_1, \beta_1, \dots, \alpha_p, \beta_p})))))))) \quad (VI.3)$$

где $P_{\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \dots, \alpha_p, \beta_p}$ — позиция, получающаяся из P после ходов $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2, \dots, \alpha_p, \beta_p$, то ход α_1 является искомым, наилучшим при данной „стратегии“ игры ходом.

Процесс выбора «оптимального хода» осуществляется путем последовательного определения значения функции ценности получающейся позиции для каждого хода. Может получиться так, что, просчитывая на несколько ходов вперед (p порядка 3), машина выберет такой вариант продолжения, что первый или второй ход приведет к уменьшению функции ценности позиции (необходимость пожертвовать фигуру и др.), но в результате всех p ходов функция ценности позиции должна быть максимальной для машины.

Если в течение этих p ходов будет иметься возможность поставить мат, то машина его обязательно сделает; также если будет возможность самой избежать мата, то машина его избежит. Машина не «прозевает» свою фигуру и не пропустит возможность взять фигуру противника. В общем, такая машина могла бы играть в шахматы так же, как играют в эту игру большинство людей, но, безусловно, она проиграла бы игроку высокого класса, способному продумывать продолжение игры на большее, чем p количество ходов вперед.

Описанная выше «стратегия» машинной игры в шахматы может быть названа элементарной стратегией, так как она предполагает непосредственный просчет и проверку всех возможных вариантов ходов (в том числе и явно бессмысленных с точки зрения играющего человека) и неизменность этой стратегии в ходе игры. Эта стратегия может быть усовершенствована путем введения дополнительной проверки, получающейся после p -го хода позиции на устойчивость. Под устойчивой позицией подразумевается позиция, в которой противник не может взять менее ценной фигурой более ценную, король не находится под шахом и т. д. Если позиция P , выбранная по максимуму функции ценности $\varphi(P)$, является в то же время неустойчивой, то машина просчитывает новые варианты до получения устойчивой позиции.

Далее, усовершенствованная стратегия машинной игры предусматривает исключение из рассмотрения явно бессмысленных ходов (которые человек, играя в шахматы, отбрасывает из общих соображений). Для того чтобы отбросить большое количество возможных вариантов, связанных с такими ходами, в программе предусматривается оценка возможных ответных ходов противника по определенной шкале «силы» ходов и рассмотрение только наиболее сильных ответов противника. Шкала силы устанавливается приблизительно такой: шах, взятие фигуры, нападение на фигуру, развитие, защита, рокировка и т. д.

Таким образом, видно, что изложенные принципы построения программы для машинной игры в шахматы основываются на четком задании совокупности однозначных правил, определяющих алгоритм выбора «оптимального» хода на основе общей оценки обстановки. Этот алгоритм, будучи реализован в виде программы работы электронной цифровой машины, обеспечит возможность машине играть достаточно хорошо в шахматы по неизменной стратегии, определяемой установленным видом функции ценности позиции.

Для того чтобы машина могла усовершенствовать в процессе игры свою «стратегию», менять «стиль» игры, необходимо обеспечить в программе возможность изменения по определенным критериям вида функции, оценивающей позицию, с учетом «опыта» игры машины, т. е. необходимо придать машине некоторую способность к самоорганизации или к «обучению».

Следует отметить, что разработка вопросов применения электронных цифровых машин для игры в шахматы, шашки и другие игры исследование вопросов машинной тактики и стратегии игры, в том числе создание программ самосовершенствующейся стратегии игры, имеет большое экономическое и военное значения. Строя такие автоматы и исследуя их работу, можно изучить законы построения целого класса автоматических устройств, которые могут быть применены в промышленности и в военном деле.

„Обучаемые“ машины

Понятие обучения машины может быть определено как увеличение меры успеха в выполнении определенного задания в результате предшествующего опыта. Так, машина, играющая в шахматы с постоянно увеличивающейся частотой выигрывает, может быть названа обучающейся.

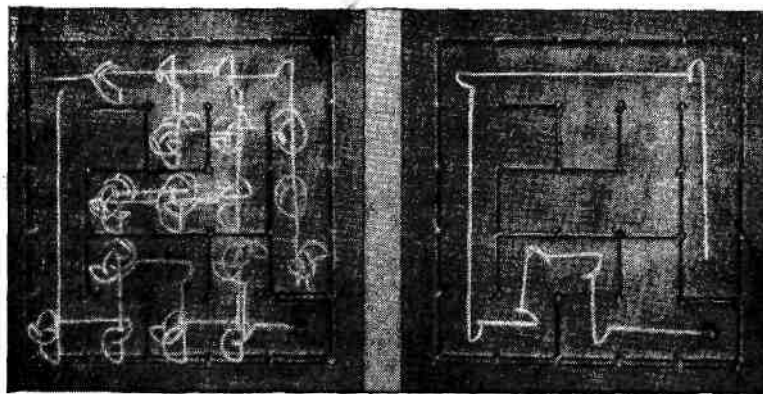


Рис. VI.9.

В литературе описан ряд работ по созданию обучаемых машин. Такая машина построена К. Е. Шенноном и названа им «мышь в лабиринте».

На столе при помощи съемных перегородок образуется лабиринт из 25 квадратов, расположенных в пять рядов по пять квадратов в каждом ряду (рис. VI.9). По этому лабиринту может двигаться постоянный магнит на колесиках, оформленный внешне в виде мыши. Спереди «мышь» имеет чувствительные усики — контакты, которые замыкаются при соприкосновении с преградой. Вначале мышь, помещенная в какое-нибудь место лабиринта, двигается ощупью, наталкиваясь на перегородки и изменяя после этого направления движения. Цель «мышь» добраться до «кормушки» — специального контакта, помещенного в конечном квадрате лабиринта. Первый раз «мышь» проделывает весьма запутанный путь, но после того как «мышь» пройдет таким образом весь путь, она «запоминает» дорогу и будучи пущена во второй раз сразу и безошибочно находит правильную дорогу к «кормушке». Если «мышь» помещена в другую часть лабиринта, в которой еще не была, то она идет вслепую до тех пор, пока не выйдет на знакомую дорогу, после чего идет прямо к цели без ошибочных попыток.

Машина сохраняет информацию о пройденном пути и, если помещать «мышь» в различные части лабиринта, то со временем в машине накопится полная информация обо всем лабиринте и «мышь» будет безошибочно приходить к цели из любой точки лабиринта.

Если затем изменить лабиринт (переставить перегородки), то «мышь» сначала будет пытаться пройти к цели прежним маршрутом, но, наталкиваясь на препятствия, будет вынуждена менять направление движения и добираться к цели каким-нибудь другим путем. Эти изменения уже освоенных маршрутов будут соответствующим образом отражаться в накапливаемой машине информации: будут «забываться» старые маршруты, оказавшиеся непригодными в новой обстановке, и «запоминаться» новые маршруты. После многократных опытов в новой обстановке «мышь» может полностью забыть старые маршруты и освоить вместо них новые решения.

«Мышь» приводится в движение электромагнитом,двигающимся под лабиринтом. Движением электромагнита управляет вычислительная машина, в которой запоминающее устройство построено из 110 реле. Эти 110 реле распределены следующим образом: по 2 реле отводится на каждый квадрат лабиринта; четыре комбинации состояний «включено — выключено» этих реле представляют и запоминают 4 направления движения в данном квадрате. По одному реле отводится на каждую перегородку между квадратами лабиринта. Эти реле замыкаются при соприкосновении «мышь» с соответствующей стенкой. Описанная машина для нахождения пути в лабиринте представляет собой простейший пример машины, способной к обучению. Она обладает следующими «способностями»:

- 1) определяет первый путь, делая пробные шаги и учитывая ошибки;
- 2) безошибочно повторяет найденное решение;
- 3) при каждой последующей попытке движения из нового исходного положения добавляет информацию о новых участках пути и устанавливает соответствие новой информации и прежней;
- 4) «забывает» прежние решения в том случае, если эти решения оказываются непригодными в новой обстановке.

Описанная модель «мышь в лабиринте» была построена К. Е. Шенноном для иллюстрации основных положений теории информации, в частности, идеи Н. Винера об оптимальном использовании систем автоматической телефонной связи.

Существующая система вызовов в автоматической телефонной станции не учитывает статистический характер соединений абонентов и является в этом отношении весьма неэкономной. Количество номеров, с которыми средний абонент обычно связывается, очень ограничено и за небольшим исключением абонент целые недели пользуется малым количеством номеров, записанных в его записной книжке. В то же время затрата времени на соединение абонентов с номерами, используемыми часто, имеет тот же порядок, что и затрата на соединение с каким-либо номером, по которому абоненту приходится звонить чрезвычайно редко. Задача состоит в том, чтобы разработать такую систему соединений, которая бы могла запоминать и учитывать набираемые номера и в зависимости от частоты соединений тех или иных номеров обеспечивать более простые и быстрые соединения. Для исследования этой задачи и была разработана описанная машина «мышь в лабиринте».

В литературе описана модель черепахи «Кора», построенная для моделирования процессов выработки условных рефлексов у животных. Сущность условного рефлекса заключается в следующем.

Если на животное одновременно с раздражителем, вызывающим безусловный рефлекс, действует другой условный раздражитель, то через некоторое время у животного вырабатывается условный рефлекс на второй раздражитель, т. е. оно начинает реагировать на второй раздражитель таким же образом, как на основной раздражитель. «Черепаха Кора» может воспринимать два рода сигналов: сигналы, вызываемые соприкосновением с препятствием, вследствие замыкания электрических контактов и звуковые сигналы — свист (для этой цели «черепаха» снабжена микрофоном).

Безусловный рефлекс моделировался тем, что «черепаха» при столкновении с препятствием автоматически обходила его. Если во время опыта при каждом столкновении с препятствием подавался звуковой сигнал, то через некоторое время «черепаха» вырабатывала «условный рефлекс» на этот сигнал и начинала обходить препятствия даже без соприкосновения с ними только под влиянием свиста. В машине определение одновременности действия безусловного и условного раздражителя производилось при помощи схемы совпадения, на которую одновременно поступали сигналы от схемы, срабатывающей от соприкосновения с препятствием, и от схемы, управляемой микрофоном. Случаи совпадения сигналов фиксировались в запоминающем устройстве, и в зависимости от частоты поступления совпадающих сигналов в машине вырабатывалась способность реагировать на сигналы второго рода даже при отсутствии первых сигналов.

Если долгое время не повторять «урок», т. е. не воспроизводить совпадения сигналов, то конденсатор, на котором сохраняется заряд, представляющий собой разрешение на восприятие звуковых сигналов, постепенно разряжался и звуковые сигналы уже не оказывали на «черепаху» действия, т. е. «урок» забывался. Для его восстановления требовалось некоторое повторение опытов.

Мы рассмотрели некоторые специальные устройства, моделирующие в весьма упрощенной форме процессы обучения и выработки условных рефлексов у животных. Подобные опыты и значительно более сложные могут быть осуществлены с помощью больших электронных цифровых машин универсального назначения, которые, благодаря возможности условных переходов в программах и преобразования программ, обладают большими логическими возможностями и большой гибкостью применения. При наличии соответствующей программы универсальные электронные цифровые машины способны выполнить все, что могли бы сделать любые специализированные машины. Поэтому проблему моделирования процессов обучения и выработки условных рефлексов в общем случае целесообразно ставить не как проблему создания соответствующих специализированных машин, а как проблему разработки соответствующих программ для машин универсального назначения.

Программы для «обучения» машины

Две программы для «обучения» машины были разработаны А. Е. Эттингером и испытаны на машине ЭДЗАК в Кэмбриджском университете (Англия).

В первой программе моделировался некоторый логический процесс, который образно можно назвать процессом «посещения покупателем магазинов и покупки товаров».

Определенные группы ячеек памяти машины условно представляли собой магазины, в которых находились различные «товары» (в условном числовом коде). Другая часть памяти машины занята была программой, характеризующей действия «покупателя». Задача «покупателя» состоит в том, чтобы путем повторных поисков отдельных видов «товара» в «магазинах» изучить имеющийся в «магазинах» ассортимент «товаров» и при очередной «покупке» сразу направляться в тот «магазин», где имеется требуемый «товар».

Вначале машина осуществляет поиск нужного «товара» беспорядочно во всех «магазинах». После того, как этот «товар» найден, машина фиксирует тот «магазин», где найден этот «товар», и если в дальнейшем снова потребуются «купить» такой «товар», то она безошибочно направляется в нужный «магазин». Эта программа была усложнена дополнительным требованием, чтобы машина во время поисков «товара» заданного вида одновременно проявляла бы «любопытство» и по отношению к другим «товарам», находящимся в посещаемых «магазинах», с тем, чтобы в случае необходимости в этих «товарах» сразу направляться в нужный «магазин».

Вторая программа была разработана для моделирования процессов выработки условных рефлексов у животных.

Сущность этой программы сводится к следующему.

В машину оператором может быть задан стимул — раздражитель различной интенсивности в виде одного числа из заданной группы целых чисел. В ответ на этот стимул машина может реагировать рядом различных способов, обозначенных целыми числами, выдаваемыми машиной. Получив ответ машины, оператор может выразить свое одобрение или неодобрение в зависимости от того, совпадает или нет напечатанная цифра с требуемой. Одобрение или неодобрение выражается путем ввода в определенную ячейку памяти третьего целого числа, величина которого определяет степень одобрения или неодобрения.

В начале работы машина выдает на стимулы случайные ответы. Указание одобрения увеличивает шансы на выдачу в будущем той цифры, которая была выдана непосредственно перед одобрением, указание неодобрения уменьшает эти шансы.

После ряда повторений машина начинает уверенно давать нужную цифру даже при незначительном стимуле.

Если же при ряде правильных ответов, машина не будет получать одобрения, а, наоборот, будет получать неодобрение, то она может сбиться, т. е. забыть выработанный «условный рефлекс» и опять начнет печатать беспорядочные ответы.

Идея построения такой программы коротко сводится к следующему.

В машине имеется восемь чисел $a_0, a_1, a_2 \dots a_7$, расположенных в определенных ячейках памяти $k_0, k_1, k_2 \dots k_7$. Каждому номеру ячейки $k_0 \dots k_7$ поставлена в соответствие одна из восьми цифр 0, 1, 2...7, характеризующих собой вид реакции машины на стимул. Любая из этих цифр (0, 1, 2... 7) может быть напечатана машиной в ответ на стимул. Числа $a_0, a_1, a_2 \dots a_7$ в процессе работы машины изменяются.

Когда машина получает стимул, она выбирает из этих чисел наибольшее число a_i , прибавляет к нему число, соответствующее силе стимула, и если сумма превосходит определенную минимальную величину, то печатает в качестве ответа цифру i , соответствующую номеру ячейки k_i в которой находится выбранное наибольшее значение a_i . Если сумма меньше установленного предела, то машина печатает некоторое число x , означающее, что машина не знает, что нужно печатать. После того, как оператор выразит одобрение или неодобрение по поводу напечатанной цифры, машина увеличивает или уменьшает число a_i на величину, зависящую от силы одобрения или неодобрения. Затем к a_i прибавляется небольшое случайное положительное или отрицательное число, которое получается отдельным вычислением (или генератором случайных чисел), не имеющим отношения к основной программе.

Случайное число прибавляется для создания нерегулярности в поведении машины.

Для того чтобы машина могла «забывать» рефлекс, если нет одобрения, предусматривается периодическое умножение всех восьми чисел от a_0 до a_7 на постоянное число, меньшее единицы, что обеспечивает стремление всех чисел $a_0 \dots a_7$ к нулю при отсутствии одобрения. Сущность действия одобрения заключается в увеличении вероятности получения той цифры в будущем, для которой было выражено одобрение, и при многократном повторении это создает впечатление выработки условного рефлекса.

Описанная программа является простой и весьма ограниченной. По этой программе можно «обучить» машину только тому, что заранее предусмотрено для нее составителем программы. В этой программе точно расписаны все действия машин; можно усложнять вид «рефлексов», но подобные программы, точно описывающие поведение машины для каждого случая, не могут имитировать обучение машины любым рефлексам, которые будут предложены уже после составления и введения в машину программы. Для получения такой возможности

необходима обобщенная программа обучения, которая позволяла бы обучать машину всему, что будет задано, независимо от планов составителя программы.

Такая программа должна быть построена на существенно новых идеях и должна, по-видимому, обеспечивать преобразование и расширение самой программы в процессе обучения.

21. ИМИТАЦИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Исследования в этой области проводились Б. Дж. Фэрли и У. А. Кларком на электронной цифровой машине MTG Линкольновской лаборатории при Массачусетском технологическом институте (США) [20].

Машина MTG представляет собой машину параллельного действия с 16 двоичными разрядами, с запоминающим устройством на магнитном барабане емкостью в 4 096 ячеек. Быстродействие машины — около 90 000 одноадресных команд (сложения и вычитания) в секунду. Помимо обычных входных и выходных устройств MTG имеет выходное устройство на осциллографических трубках для графического изображения результатов решения.

Самоорганизующимися системами называются такие системы, которые в процессе многократного выполнения какого-либо задания автоматически приспосабливаются к тому, чтобы наилучшим образом выполнять это задание. Точнее говоря, самоорганизующиеся системы — это такие системы, которые, будучи поставлены в начальный момент в весьма произвольное состояние, под влиянием «опыта» организуются для выполнения предписанного задания. К числу таких систем могут быть отнесены и рассмотренные в предыдущем параграфе «играющие» и «обучаемые» машины.

Высказываются предположения, что сети нейронов, образующие нервную систему животных, представляют собой самоорганизующиеся системы. Под влиянием многократно повторяющихся определенных внешних воздействий изменяется проницаемость различных нервных волокон, соединяющих отдельные нервные клетки. Таким образом, получают устойчивые нервные связи, соответствующие определенному характеру внешних воздействий. В связи с этим работы по моделированию самоорганизующихся систем будут, по-видимому, иметь некоторое значение для нейрофизиологии. Помимо нейрофизиологических исследований, моделирование на электронных цифровых машинах может быть применено для исследования поведения таких систем автоматки, которые ввиду их сложности не могут быть описаны и исследованы математическими методами. Экспериментальный же путь исследования подобных систем требует, как известно, больших затрат труда, времени и материальных средств и не дает достаточной полноты исследований.

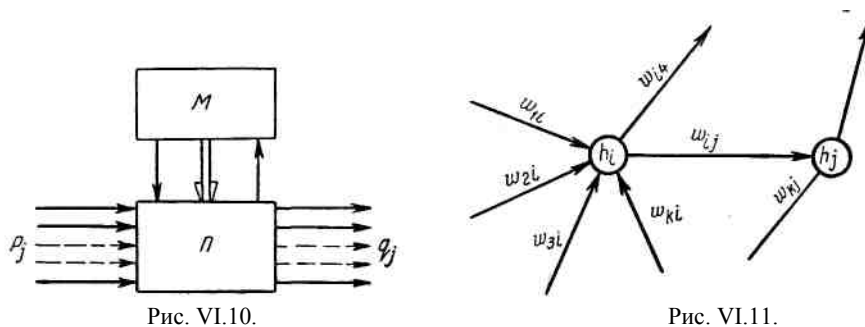
Всякая самоорганизующаяся система представляет собой некоторую систему преобразования информации, в которую подаются входные сигналы из внешней среды и из которой выдаются выходные сигналы, характеризующие реакцию системы на эти воздействия внешней среды. В самоорганизующихся системах характер выходных сигналов должен изменяться в нужном направлении по мере проведения опыта. Удобно рассматривать самоорганизующиеся системы как системы, состоящие из двух частей: собственно преобразователя, который преобразует входные сигналы в выходные, и модификатора, который воздействует на преобразователь с тем, чтобы приспособить этот преобразователь к выполнению предписанного задания.

На рис. VI.10 показана схема самоорганизующейся системы, в которой Π — преобразователь, M — модификатор, p_i — входные сигналы, q_j — выходные сигналы. Двойной стрелкой показано взаимодействие модификатора на преобразователь и одинарными стрелками — обмен информацией между преобразователем и модификатором.

В действительности преобразователь и модификатор могут представлять собой единую систему, и указанное разделение их функций является до некоторой степени условным. В каждом конкретном случае должен быть определен критерий, по которому модификатор оценивает степень успешности работы преобразователя, а также должны быть заранее установлены способы воздействия модификатора на преобразователь. В работе Б. Дж. Фэрлея и У. А. Кларка в качестве преобразователя описана математическая модель сети из нелинейных элементов, обладающих определенными пороговыми характеристиками и приближающихся по своим свойствам, по мнению авторов, к нейронам [20].

На рис. VI.11 показана схема части такой сети, где каждый элемент сети может находиться в двух устойчивых состояниях: возбужденном и невозбужденном.

Переход элемента из невозбужденного состояния в возбужденное может происходить либо под влиянием возбуждений, передаваемых этому элементу от других элементов, с которыми он связан, либо под влиянием возбуждений, получаемых из внешней среды.



Для того, чтобы перевести элемент j в возбужденное состояние, необходимо, чтобы сумма полученных им возбуждений за определенный промежуток времени превысила некоторое пороговое значение $h_j(t)$.

Элемент, перешедший в возбужденное состояние, сам начинает передавать возбуждение другим элементам после некоторого определенного периода задержки. После перехода элемента в возбужденное состояние значение его порога возбуждения сразу резко поднимается, так что этот элемент в течение некоторого промежутка времени (устойчивый период в нейронах) неспособен воспринимать другие импульсы возбуждения. Постепенно величина порога возбуждения снижается по экспоненциальному закону до некоторой минимальной величины $h_{j\min}$, характерной для данного элемента j .

Порог возбуждения еще зависит от некоторой величины смещения $h_{cm}(t)$, общей для всех элементов и регулируемой модификатором. Таким образом, порог возбуждения элемента будет определяться формулой

$$h_j(t) = h_{\max} \cdot e^{-a_j t} + h_{j\min} + h_{cm}(t). \quad (VI.4)$$

Величина возбуждения отдельных элементов различна и не остается постоянной с течением времени. С одной стороны, возбуждение имеет тенденцию с течением времени убывать по экспоненциальному закону. С другой стороны, уровень возбуждения элемента может увеличиваться за счет поступления возбуждений от других элементов, если поступающие суммарные импульсы возбуждения превышают порог возбуждения $h_j(t)$. Изменение возбуждения элемента за время от $t - 1$ до t может быть записано формулой

$$\Delta S_j(t) = -b_j S_j(t-1) + \sum_i W_{ij} \quad (VI.5)$$

где b_j — коэффициент, характеризующий затухание возбуждения, а

$\sum_i W_{ij}$ — суммарный импульс возбуждения, поступивший по линиям связи от других активных элементов.

В отношении характера связей между элементами делаются следующие допущения.

Каждый элемент соединен с другими элементами линиями связи двух типов: по одним линиям элемент получает возбуждения от других элементов, по другим линиям сам передает возбуждения другим элементам.

Взаимное расположение линий связи в сети является случайным. Для моделируемой сети заранее задается матрица вероятностей соединений, в которой для каждого элемента сети отводится одна строка, содержащая вероятности связей данного элемента со всеми другими элементами.

Для каждой линии связи вводится характеристика проводимости линии W_{ij} , показывающая, какая часть уровня возбуждения элемента i воздействует на элемент j .

В начальный момент процесса значения проводимостей W_{ij} для всех соединений задаются, а затем они изменяются в процессе опыта модификатором.

В описываемой математической модели моделировалось также наличие «шумов» в сети нейронов, для чего сравнение значения величины суммы поступающих к элементу импульсов возбуждения со значением порога возбуждения элемента производилось с учетом некоторой случайной величины, представляющей собой «шум» и имеющей гауссов закон распределения. В связи с этим большое значение поступающей суммы импульсов возбуждения еще не определяет полностью факт возбуждения элемента, а только увеличивает вероятность этого возбуждения. Уровень шума регулировался модификатором; чем ниже значение шума, тем определеннее поведение системы.

Моделирование воздействий внешней среды на систему и оценка успешности работы системы осуществлялись следующим образом.

Все элементы сети были разделены на четыре группы, которые условно обозначены: I_a , I_b , $0(+)$, $0(-)$. Элементы групп I_a и I_b представляют собой входную часть системы: элементы групп $0(+)$ и $0(-)$ представляют собой выходную часть системы.

В качестве внешних воздействий во входную часть системы поочередно подавались две последовательности двоичных сигналов P_1 или P_2 . Подача сигналов P_1 состояла в том, что на каждый элемент группы I_a поступал периодический сигнал вида 001 001 001... и на каждый элемент группы I_b подавался нулевой сигнал 000 000 000. При подаче сигналов P_2 , наоборот, на элементы группы I_a подавались нулевые сигналы, а на элементы группы I_b — периодические сигналы вида 001 001 001 ...

Наличие единицы в определенный момент времени в последовательности двоичных сигналов, подаваемых на какой-либо элемент, означало, что уровень возбуждения этого элемента в данный момент времени должен быть увеличен на некоторую достаточно большую постоянную величину. Наличие нулей в последовательности двоичных сигналов не оказывало влияния на элементы сети. Под влиянием периодически подаваемых входных импульсов некоторые элементы сети как из числа входных (I_a и I_b), так и из числа выходных [$0(+)$ и $0(-)$] переходят в возбужденное состояние. При этом возникает весьма сложная картина взаимных влияний элементов, определяемая характером расположения и проводимостью связей, а также характером протекания переходных процессов в элементах, обусловленных изменением порогов и уровней возбуждения. Цель самоорганизации системы заключалась в том, чтобы добиться положения, при котором подача внешних воздействий типа P_1 приводила бы в возбужденное состояние в основном элементы выходной группы $0(+)$, а при подаче воздействий P_2 возбуждались бы элементы группы $0(-)$.

В качестве критерия для оценки успешности работы сети (в качестве меры достигнутого уровня организации системы) принималась величина $N(t)$ — значение суммы разностей числа возбужденных элементов в группе $0(+)$ и в группе $0(-)$ для последовательных моментов времени t

$$N(t+1) = N(t) + n_+(t) - n_-(t),$$

где $n_+(t)$ — количество возбужденных элементов в группе $0(+)$, а $n_-(t)$ — количество возбужденных элементов в группе $0(-)$ в момент времени t .

Процесс взаимодействия системы с внешней средой был организован следующим образом. В зависимости от знака выходной величины $N(t)$ на вход системы подается либо воздействие P_1 либо P_2 .

Если выходная величина положительна [$n_+(t)$ преобладает], то должна подаваться группа P_2 , если выходная величина отрицательна [$n_-(t)$ преобладает], то должна подаваться группа P_1 . Так как в достаточно организованной сети при подаче P_2 должны возбуждаться в основном выходные элементы группы $0(-)$, а при подаче P_1 — элементы группы $0(+)$, то мерой степени организованности системы может служить быстрота стремления выходной величины $N(t)$ к нулю.

Если выходная величина $N(t)$ остается близкой к нулю в течение некоторого промежутка времени (достаточно большого, чтобы обеспечить затухание остаточного возбуждения в элементах), то эта величина искусственно отклоняется на заданное значение поочередно в положительную или отрицательную сторону.

Эти отклонения для системы играют роль проверочных заданий, определяющих степень ее организации.

После каждого такого искусственного отклонения начинается процесс, который должен по возможности более быстро привести выходную величину к нулю.

Степень организованности системы определяется по скорости возвращения $N(t)$ к нулю.

Весь процесс сходен, в известной мере, с процессом автоматического регулирования в следящей системе, которая служит для автоматического возвращения системы в нулевое положение, после того как она смещена в ту или иную сторону. Сигналы P_1 и P_2 , представляющие собой воздействия на систему внешней среды, являются в данной самоорганизующейся системе также сигналами обратной связи, которые позволяют системе «чувствовать» характер изменения ее выходной величины.

Воздействие модификатора на систему заключается в основном в изменении величин проводимостей соединений между элементами. Кроме того, как упоминалось выше, модификатор регулирует величину смещения порога возбуждения элементов и уровень «шумов» в сети.

Программа моделирования процесса самоорганизации состоит из двух основных частей. Одна часть выполняет работу преобразователя входных сигналов P_1 или P_2 в выходную величину $N(t)$, а вторая часть выполняет работу модификатора, т. е. изменяет параметры сети в направлении повышения организации системы.

Работа по выполнению программы начинается с построения некоторого варианта сети.

По заданной матрице вероятностей соединений определяется расположение связей между элементами сети. Для этого в машине воспроизводится случайный процесс, не имеющий отношения к рассматриваемому основному процессу имитации самоорганизующейся системы. Найденное расположение связей задается в машину в виде матрицы связей. Каждому элементу сети отводится одна строка в матрице, показывающая наличие соединений от этого элемента к другим элементам. Если элемент сети i соединен с элементом сети j , то соответствующий элемент в строке матрицы c_{ij} равен единице, если такая связь отсутствует, то соответствующий элемент в матрице c_{ij} равен нулю. Задается таблица начальных значений проводимостей W_{ij} для всех установленных таким образом связей. В простейшем случае все начальные значения проводимостей принимаются одинаковыми и равными некоторому среднему значению. Кроме того, для каждого элемента задаются в машину необходимые постоянные характеристики: номер группы, к которой относится этот элемент [I_a , I_b , $0(+)$, $0(-)$], коэффициент затухания возбуждения b_j , коэффициент затухания порога возбуждения a_j , минимальное значение порога возбуждения $h_{i \min}$ и др.

В программе моделирования переменная времени увеличивается с каждым шагом на одинаковый интервал, принятый за единицу времени.

Машинное время, затрачиваемое в действительности для расчета одного шага процесса, не является постоянным, а зависит от степени

возбуждения сети. Для случая сети из 128 элементов с одинаковыми для всех элементов вероятностями соединений, равными 0,4, время расчета одного шага для машины МТГ было порядка одной секунды.

После того, как введены в машину все исходные данные и определено статистическим путем расположение связей в сети, задается начальное значение переменной времени и производится подсчет для этого момента всех характеристик элементов сети (уровней и порогов возбуждения). Так как расположение связей в сети случайно и начальные значения проводимостей W_{ij} одинаковы, то система в начальный момент может находиться в весьма произвольном (неорганизованном) состоянии. При подаче на вход системы какого-либо внешнего воздействия P_1 или P_2 выходная величина

$$N(t+1) = N(t) + n_+(t) - n_-(t) \quad (VI.6)$$

может иметь любое значение (положительное, отрицательное или равное нулю) После подачи входного сигнала P_1 или P_2 и определения выходной величины $N(t)$ начинает действовать модификатор, организующий сеть таким образом, чтобы при подаче воздействия P_1 возбуждались в основном выходные элементы группы 0(+), а при подаче воздействия P_2 — элементы группы 0(—).

Напомним, что процесс подачи внешних воздействий P_1 и P_2 организован так, что если выходная величина $N(t)$ положительна ($n_+(t)$ преобладает), то в следующий шаг подается воздействие P_2 , если $N(t)$ отрицательно, то следующим подается P_1 . Модификатор после каждого шага производит проверку абсолютного значения величины $N(t)$.

Если абсолютное значение $N(t)$ уменьшилось по сравнению со значением на предыдущем шаге, то это значит, что система на предыдущем шаге сработала правильно [т. е. было подано P_1 , и возбуждились в основном элементы группы 0(+), или было подано P_2 , и возбуждились в основном элементы группы 0(—)]. В этом случае необходимо данное состояние системы закрепить (поддержать), для чего модификатор увеличивает на определенную величину проводимости всех действовавших на предыдущем шаге линий (т. е. линий связи, которые отходили от элементов, находившихся в возбужденном состоянии).

Если абсолютное значение величины $N(t)$ увеличилось, то это значит, что система в течение предыдущего шага была организована неправильно [т. е. либо было подано P_1 и получилось преобладание $n_-(t)$, либо было подано P_2 и получилось преобладание $n_+(t)$]. В этом случае модификатор уменьшает на определенную величину проводимости всех действовавших в данном шаге линий связи. Затем модификатор проверяет, не является ли величина $N(t)$ уже достаточно близкой к нулю.

Если величина $N(t)$ еще далека от нуля, то процесс повторяется, т. е. увеличивается на единицу переменная времени и снова подается внешнее воздействие P_1 или P_2 в зависимости от знака $N(t)$ (что делается автоматически вне связи с работой модификатора). Для нового значения переменной времени производится расчет состояния сети (пороги возбуждения, уровни возбуждения и др.) с учетом измененных значений проводимостей. Снова проверяется выход $N(t)$ и соответствующим образом изменяются проводимости и т. д. После того, как выходная величина $N(t)$ приблизилась достаточно близко к нулю, ход процесса изменяется. Несколько шагов еще в течение заданного интервала T продолжается повторение воздействий P_1 или P_2 .

После выдержки интервала T , необходимого для затухания всех остаточных возбуждений в сети, модификатор искусственно смещает выходную величину $N(t)$ на значения $\pm N''$ (\pm чередуются при каждом повторении), т. е. системе задается как бы новое проверочное задание. Одновременно с этим модификатор повышает величину смещения порога возбуждения $h_{CM}(t)$ до начального значения и снижает до нуля уровень шумов в сети, т. е. системе, получившей уже некоторую степень организованности, может быть задана большая определенность (четкость) поведения.

Затем снова подаются внешние воздействия P_1 и P_2 и подсчитываются для каждого шага параметры сети. Модификатор соответствующим образом корректирует значения проводимостей действующих линий связи.

Периодически после определенного числа шагов производится проверка наличия изменений в количестве возбужденных элементов в выходных группах 0(+) и 0(—). Если изменений нет, то это значит, что в системе все время возбуждаются одни и те же элементы, главным образом, те, которые получают возбуждения непосредственно от воздействий P_1 и P_2 , а передача возбуждений между элементами отсутствует. Это может иметь место при слишком высоком значении смещения порога возбуждения, который, действуя сразу на все элементы сети, затрудняет передачу возбуждений между элементами. В этом случае модификатор должен понизить общее смещение порога возбуждения, чтобы облегчить взаимную передачу возбуждений между элементами и тем самым облегчить возможности организации системы. Если же имеет место изменение количества возбужденных элементов в группах 0(+) и 0(—) по сравнению

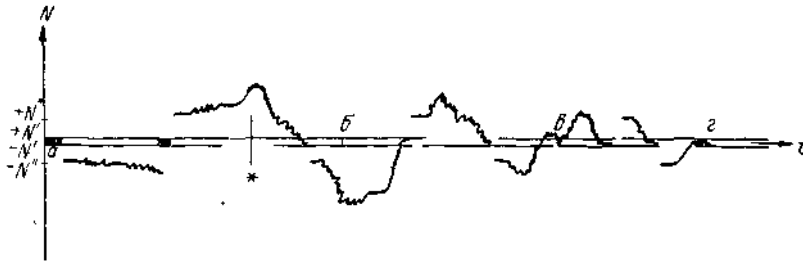


Рис. VI.12.

с предыдущей проверкой, то модификатор переходит к проверке наличия суммарного изменения выходной величины $N(t)$ за прошедшее число шагов. Если изменений в $N(t)$ нет, то модификатор повышает уровень шумов в сети, так как система еще недостаточно организовалась и необходимо активизировать процесс организации. Если изменение в $N(t)$ имеется, то, наоборот, уровень шумов в сети понижается, так как система более или менее успешно организуется и целесообразно закрепить такое поведение системы, т. е. сделать его более определенным путем снижения уровня шумов. После каждого воздействия модификатора производится повторение «опыта», т. е. подаются вновь на вход сигналы P_1 или P_2 и весь процесс повторяется.

На рис. VI.12 приведен полученный упомянутыми авторами график изменения выходной величины $N(t)$ для сети из 8 элементов.

В табл. VI.7, *a*, *б*, *в*, *г* приведены изменения проводимостей линий связи во время самоорганизации. Эти таблицы соответствуют моментам, отмеченным буквами *a*, *б*, *в*, *г* на графике рис. VI.12. Табл. VI.7, *a* показывает начальное значение проводимостей в сети. В каждой клетке стоят числа, показывающие, какие элементы в группах I_a , I_b , 0 (+) и 0(—) соединены между собой линиями с проводимостью 0,7. Например, левая верхняя клетка 07 07 07 показывает, что имеют место следующие соединения: первый элемент группы I_a соединен сам с собой и со вторым элементом той же группы, а второй элемент группы I_a соединен только сам с собой. На рис. VI.12 звездочкой отмечен момент включения в работу модификатора. Из графика видно, что до включения модификатора выходная величина $N(t)$ имела тенденцию к увеличению как при задании ей начального отклонения в положительную сторону, так и при задании отклонения в отрицательную сторону. После начала действия модификатора выходная величина $N(t)$ при отклонении ее в любую сторону возвращается в нулевое положение, причем по мере протекания процесса самоорганизации скорость возвращения увеличивается.

	I_a	$0(-)$	$0(+)$	I_b		I_a	$0(-)$	$0(+)$	I_b
I_a	07 07 07	07 07 07	07 07 07	07 07 07 07	I_a	07 10 07	07 11 03	04 11 02	11 11 02 07
$0(-)$	07 07 07 07	07 07 07 07	07 07 07 07	07 07 07 07	$0(-)$	07 06 07 06	07 06 06 07	01 01 01 01	07 01 02
$0(+)$	07 07 07	07 07 07	07 07 07 07	07 07 07 07	$0(+)$	04 10	14 17 10	10 01 07	12 07 02 05
I_b	07 07 07	07 07	07 07 07	07 07 07	I_b	10 05 12	14 01	06 01	07 07 08

а)

б)

	I_a	$0(-)$	$0(+)$	I_b		I_a	$0(-)$	$0(+)$	I_b
I_a	07 10 07	02 01 01	15 07 17	01 16 01 07	I_a	07 03 07	02 03 01	02 03 16	01 14 01 07
$0(-)$	16 04	07 04 02 07	11 14 07 10	07 01 10	$0(-)$	15 01	07 04 03 07	11 12 01 02	07 01 06
$0(+)$	13	03 11 01	03 11 07	02 07 01 12	$0(+)$	15	03 12 01	04 04 07	03 07 01 11
I_b	17 10 01	11 01	16 05	07 07 01	I_b	17 17 01	16 01	06 02	07 07

в)

г)

Табл. VI.7, а, б, в, г показывают, что значения проводимостей линий, связывающих элементы группы I_a и $0(+)$, группы I_b и $0(-)$, имеют тенденцию к возрастанию, а значения проводимостей линий, связывающих элементы группы I_a и $0(-)$ и группы $0(+)$ и $0(+)$, имеют тенденцию к убыванию. Эти тенденции характеризуют организуемость сети. Следует заметить, что в процессе опыта производится изменение значений всех действовавших проводимостей W_{ij} безотносительно к конкретному действию, оказываемому той или иной линией связи на поведение системы, так что влияние изменения проводимостей линий связи носит статистический характер.

Проводились опыты с целью выяснения влияния, оказываемого повреждениями линий связи на описанные сети после их организации. Оказалось, что подобные сети могут выдержать произвольные нарушения до 10% связей без заметного ухудшения качества работы. Высокая надежность организованных сетей и нечувствительность их к отдельным повреждениям линий связи напоминает свойства нейронных сетей.

Представляет значительный интерес также следующее свойство самоорганизующихся систем. Процесс постепенной самоорганизации системы под воздействием внешних сигналов P_1 и P_2 предполагает способность системы к некоторому примитивному «опознаванию» этих внешних воздействий. Однако опытным путем было установлено, что, после того как система организовалась, другие группы внешних сигналов оказывают на систему такое же влияние, как и группы P_1 и P_2 . Другими словами, организованная система может классифицировать определенным образом группы внешних воздействий по характеру влияния, оказываемого ими на данную систему. Следует ожидать, что, используя более сложные правила работы модификатора, можно будет получить сложные самоорганизующиеся системы, способные к классификации и обобщению разнообразных внешних сигналов. Такие самоорганизующиеся системы будут создаваться для выполнения весьма сложных заданий, причем их организация будет происходить под влиянием внешних воздействий, изменяющихся в весьма широких пределах.

22. ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНАХ И МЫШЛЕНИЕ

Усиленное развитие электронных цифровых машин в последние годы и расширение их логических возможностей выдвигают интересные и важные вопросы о соотношении между логическими процессами, происходящими в машинах, и человеческим мышлением.

Этот круг вопросов составляет один из основных разделов нового научного направления, называемого кибернетикой. Слово «кибернетика» в переводе на русский язык означает «рулевой» или «управляющий движением».

Задачей кибернетики является изучение общих закономерностей в различных самоуправляемых системах, включая процессы автоматического управления в машинах, различные процессы управления и саморегулирования в живых организмах.

Для кибернетики как научного направления характерными являются следующие две основные черты.

1. Применение точных количественных математических методов исследования явлений, в том числе явлений в области биологии, физиологии и других областях, которые до последнего времени изучались только

качественными описательными методами.

2. Исследование аналогий, общей природы и закономерностей в процессах управления и регулирования, происходящих в самых различных физических областях с различными физическими объектами. Последнее обстоятельство отличает кибернетику от теории автоматического регулирования, занимающейся изучением вопросов управления в автоматических машинах.

Так как высшим и наиболее сложным органом управления в живых организмах является нервная система и мозг, то одной из основных задач кибернетики является изучение с функциональной точки зрения процессов работы нервной системы и мышления и моделирование этих процессов с помощью средств современной электронной автоматики — быстродействующих электронных цифровых машин.

Методы моделирования и аналогий, как известно, широко применялись в научных исследованиях как в области биологических наук, так и в точных науках и в технике. В настоящее время, благодаря развитию науки и техники, появилась возможность глубже применить метод аналогий для изучения процессов, происходящих в живых организмах, моделируя эти процессы с помощью сложных электронных машин и приборов, и, с другой стороны, использовать принципы и закономерности жизнедеятельности организмов для создания более совершенных автоматических устройств.

Основными с точки зрения кибернетики являются следующие два свойства электронных цифровых машин с программным управлением:

1) способность автоматически выбирать то или иное направление вычислительного процесса в зависимости от получающихся в ходе вычислений результатов;

2) способность преобразовывать и многократно повторять в процессе вычислений первоначально введенную в машину программу.

Эти свойства позволяют машине оценивать по определенным критериям получающиеся в процессе вычислений результаты и вырабатывать программу дальнейшей работы, основываясь на некоторых исходных принципах, заложенных в первоначально введенной в машину программе.

Таким образом, в принципе действия электронной цифровой машины основным является наличие некоторого самоорганизующегося (саморазвертывающегося) процесса, который определяется, с одной стороны, исходными данными и программой и, с другой стороны, логическими свойствами конструкции машины.

Теория таких самоорганизующихся машинных процессов, подчиненных законам формальной логики, и составляет ту часть теории электронных цифровых машин, которой занимается кибернетика.

Весь процесс работы электронной цифровой машины при решении любой вычислительной или логической задачи состоит из огромного числа последовательных двоичных выборов (причем возможности последующих выборов определяются результатами предыдущих выборов), т. е. заключается в реализации длинной и непрерывной логической цепи, каждое звено которой может иметь только два значения «да» или «нет». Конкретные условия, имеющие место каждый раз в момент выполнения отдельного звена, однозначно определяют выбор одного из двух значений.

Такой характер работы электронных цифровых машин особенно нагляден на примере машин, работающих по двоичной системе счисления. Все действия в двоичной арифметике могут быть выполнены при помощи трех операций математической логики: отрицания, логического сложения и логического умножения. Таким образом, процесс работы электронной цифровой машины сводится в конечном счете к последовательному определению значений 1 или 0 в зависимости от ранее полученных значений. Другими словами, любая электронная цифровая машина может быть представлена как совокупность реле, обладающих двумя состояниями: «включено» и «выключено».

Известно, что нервная система состоит из элементов, которые в функциональном отношении напоминают реле. Это так называемые нейроны или нервные клетки. Строение нейронов и их свойства довольно сложны, однако в обычном физиологическом состоянии они действуют в хорошем соответствии с принципом «да» или «нет».

Нейроны или отдыхают или возбуждены, причем во время возбуждения они проходят ряд стадий, почти независимых от характера и интенсивности возбудителя. При возбуждении нейрона сначала наступает активная фаза, перемещающаяся с определенной скоростью с одного конца нейрона на другой, затем устойчивый период, в течение которого нейрон невозбудим. В конце устойчивого периода нейрон остается неактивным, но уже может снова возбуждаться.

За исключением нейронов, получающих возбуждение от свободных нервных окончаний, каждый нейрон получает возбуждение от других нейронов в точках соединения, называемых синапсами. Число таких синапсов у различных нейронов бывает различным; от нескольких единиц до многих сотен.

Переход данного нейрона в возбужденное состояние зависит от сочетания импульсов возбуждения, приходящих извне, и от того, в каком состоянии до этого находился данный нейрон. При одних условиях возбуждения нейрон переходит в активное состояние, в то время как при других условиях он остается невозбудимым.

Таким образом, нейроны с функциональной точки зрения аналогичны реле, обладающим двумя различными устойчивыми состояниями.

Очень важной функцией нервной системы, имеющей себе аналогию в электронных цифровых машинах, является память. Заметим, что машина в отношении функций памяти при нормальных условиях не является полной аналогией мозга. Одно из отличий, например, заключается в том, что машина решение каждой новой задачи может производить с полностью очищенной памятью, в то время как мозг всегда сохраняет в большей или меньшей степени предыдущую информацию.

Фактический материал из области патофизиологии подтверждает, что основой памяти у животных и людей являются следовые явления в нервной системе, т. е. способность нервных клеток сохранять длительное время изменения, возникшие под влиянием внешнего раздражителя.

Физическая сущность процессов запоминания информации в машинах также сводится к образованию

следовых явлений в веществах, обладающих способностью сохранять эти изменения более или менее длительное время. На этом основано запоминание данных с помощью магнитных веществ, фоточувствительных веществ, запоминание путем изменения электрического состояния диэлектриков и другие способы. Высказываются предположения, что в нервной системе информация запоминается, главным образом, как изменения в проницаемости синапсов. В принципе возможно сконструировать такие машины, в которых информация запоминалась бы аналогичным образом, т. е. чтобы в зависимости от информации, поступающей в запоминающее устройство, изменялись бы постоянно или на определенное время состояния соответствующих ячеек машинной памяти с тем, чтобы это сказывалось на характере приема и хранения последующей информации.

Таким образом, процесс работы нервной системы имеет некоторую аналогию с процессом работы электронной цифровой машины. Каждый элементарный акт реакции нейрона (разряд нейрона) подобен элементарному акту работы цифровой машины, имеющей возможность в каждом отдельном случае сделать выбор только одного из двух вариантов. Однако между логическими процессами в машинах и процессами человеческого мышления имеются качественные различия.

В машине действительно воспроизводятся логические процессы, подобные процессам человеческого мышления, так как сущность программирования работы машины собственно к тому и сводится, чтобы задать в машину те же законы преобразования информации, т. е. те же правила решения задач, которые выполнялись бы человеком.

Принципиальная разница заключается прежде всего в том, что человек получает информацию непосредственно от внешней среды в процессе взаимодействия с окружающим миром и, получая информацию, сам активно воздействует на внешний мир, а машина может получить информацию только при участии человека (не исключая и случаев непосредственного соединения логических машин с реальными объектами).

Человеческий мозг приобрел способность к мышлению в результате длительного исторического развития, в то время как машина может получить способность перерабатывать информацию по определенным законам логики только от человека.

Качественное отличие процессов мышления от машинных логических процессов связано также с огромной разницей в количестве элементов. Мозг человека имеет около четырнадцати миллиардов клеток, в то время как современные электронные машины имеют порядка 10 000 элементов. Благодаря огромному количеству нервных клеток, мозг человека может заключать в себе чрезвычайно большое количество различных элементарных связей, которые порождают неисчерпаемые по разнообразию содержания процессы мышления.

Однако машина, обладая узкой специализацией работы, может точнее и быстрее, чем человек, выполнять заданные алгоритмы решения конкретных задач, поставленных человеком.

Электронные цифровые машины представляют собой орудия умственного труда; они расширяют возможности человеческого разума, освобождая людей от наиболее примитивных и однообразных форм умственной работы. Являясь орудиями умственного труда, электронные цифровые машины имеют безграничные перспективы развития. Все более и более сложные логические процессы, характерные для умственной работы людей, будут выполняться при помощи машин.

Однако говорить о замене мозга машинами, об их равнозначности было бы неправильно.

Для машины недостижима в полной мере способность человеческого мозга к творчеству, к широкой и гибкой классификации и поиску в памяти образов, установлению устойчивых обратных связей, анализу и синтезу понятий. Человеческий мозг сам в процессе творчества непрерывно развивается и эта способность к бесконечному саморазвитию является важной отличительной чертой мозга, которая никогда в полной мере не будет воплощена в машине.

В направлении развития вычислительных машин возникает ряд чрезвычайно важных и интересных проблем, таких, например, как создание машин со случайными связями элементов; создание саморемонтирующихся и самовоспроизводящихся машин; разработка запоминающих устройств, приближающихся по своим функциям к памяти мозга; создание самосовершенствующихся и самообучающихся машин, обладающих развитыми чувствительными и манипуляционными устройствами.

Эти задачи могут показаться фантастическими, но жизнь показывает: что было фантазией вчера, становится реальностью сегодня. Возможности человеческого познания окружающего мира и самого себя безграничны.

Не подлежит сомнению, что идея исследования и воспроизведения процессов мышления с помощью автоматических электронных систем сама по себе глубоко материалистична, и достижения в этой области могут только способствовать утверждению материалистического мировоззрения на базе новейших достижений современной науки и техники.