

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Э.П. ЛАНИНА

Иркутск, ИрГТУ, 2001

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1. Как все начиналось
2. От арифмометра к релейным вычислительным системам
3. Первые электронные компьютеры
4. Первое поколение компьютеров
5. Второе поколение компьютеров
6. Третье поколение компьютеров
7. Четвертое поколение компьютеров
 - 7.1. Персональные компьютеры
 - 7.2. Серверы
- 8.1. Первые суперкомпьютеры
- 8.2. Суперкомпьютеры, дальнейшее развитие
9. Компьютеры пятого поколения
10. Оптические компьютеры
11. Нейрокомпьютеры
12. Квантовые компьютеры
13. Internet
14. О кибернетике
15. Развитие технологии и ступени прогресса
16. Вопросы

1. КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ

Считается, что первая машина, способная автоматически выполнять четыре арифметических действия была создана в 1623 году В.Шиккардом. В архиве Кеплера в 1958 году были обнаружены письма Вильгельма Шиккарда, написанные в 1623-1624 годах, где он излагал принцип действия машины и сопровождал изложение рисунками. Машина Шиккарда состояла из 3 частей: суммирующего устройства (сложение и вычитание), множительного устройства и механизма для записи промежуточных результатов. Сложение осуществлялось последовательным вводом слагаемых, а вычитание - последовательным вводом уменьшаемого и вычитаемого. Сложение осуществлялось вращением шестерней, при переходе через десяток более длинный зуб шестерни поворачивал шестерню старшего разряда.

При вычитании шестерни вращались в другом направлении. В окошках считывания машины можно было прочесть результат, уменьшаемое и вычитаемое. Деление выполнялось путем многократного вычитания делителя из делимого. Для умножения использовались таблицы умножения, навернутые на шесть осей.

Считается, что первым ученым, предложившим использовать принцип программного управления для автоматического выполнения арифметических вычислений, был английский математик Ч.Бэббидж.

Счетная машина Бэббиджа называлась «аналитической», в 1834 году он изложил основные принципы ее построения. Аналитическая машина — это программируемая автоматическая вычислительная машина с последовательным управлением, содержащая арифметическое устройство и память. Отличительной чертой аналитической машины можно считать использование команды условного перехода, изменяющей управление обработкой в зависимости от результатов вычислений.

Аналитическая машина состояла из более чем 50000 деталей и включала в себя:

- устройство ввода программы при помощи отверстий на перфокартах,
- «склад» (память) для тысячи 50-ти разрядных десятичных чисел,
- «завод», устройство для выполнения операций над числами (арифметическое устройство),
- блок управления, который позволял обрабатывать инструкции в любой последовательности,
- устройство выпуска продукции для вывода результатов на печать.
-

Ввод инструкций в компьютер осуществлялся при помощи перфокарт.

Чарльз Бэббидж намного обогнал свое время. Только спустя 100 лет были реализованы его идеи по созданию вычислительных устройств, выполняющих заданную последовательность действий — программу.

1. Как все начиналось

Развитие человеческого общества привело к потребности счета. Первый прибор, которым воспользовался человек для облегчения счета, были пальцы на его руках. Со счетом на пальцах связано появление десятичной системы счисления. Затем стали использоваться деревянные палочки (бирки), кости, камни, узелки, четки — своеобразные бусы.

Археологами в раскопках была обнаружена, так называемая, "вестоничская кость" с зарубками, которая позволяет предположить, что уже за 30 тысяч лет до н.э. наши предки были знакомы с зачатками счета.

От счета на предметах человек естественно перешел на счет на абаке.

Абак, счетная доска, тоже использует предметы для счета. Вычисления производятся при помощи бусинок (косточек) и счет ведется в разрядах единиц, десятков и сотен с учетом переноса единицы в старший разряд при переходе через десяток. После совершенствования в течение нескольких столетий, возникают китайский суаньпань и русские счеты.

Широкое распространение бумаги и карандаша привело к тому, что многие вычисления стали аналитическими.

На древней миниатюре Арифметика решает спор о преимуществах аналитических расчетов, их ведет Бойий (на рисунке слева), над счетом на линиях, которым занимается Пифагор (справа).

Абак удобно использовать для выполнения операций сложения и вычитания, умножение и деление выполнять при помощи абачка гораздо сложнее. Революцию в области механизации умножения и деления совершил шотландский математик Джон Непер.

В 1618 году Иоганн Кеплер писал о нем в письме: "Некий шотландский барон ... выступил с блестящим достижением ..., он каждую задачу на умножение и деление превращает в чистое сложение и вычитание."

Изобретение логарифмов — крупнейшее достижение Джона Непера. При помощи логарифмических таблиц легко было выполнять умножение и деление больших чисел. В качестве альтернативного метода Джон Непер создал прибор для умножения, названный счетными палочками.

В основу вычислений был положен метод умножения решеткой. Рассмотрим умножение на примере: $456 \cdot 97$. Нарисуем прямоугольник, разбитый на шесть клеток. В клетках записаны результаты умножения, десятки и единицы разделены диагональной линией, так $4 \cdot 9 = 3/6$; $5 \cdot 9 = 4/5$.

Число 456 записано сверху, число 97 справа, в столбец. Результат получаем сложением диагональных элементов таблицы, начиная с младшего разряда (справа налево, учитывая перенос единиц младшего разряда в старший). Результат читаем слева направо: 44232

На палочках Непера записана таблица умножения для чисел 1;2;3;4;5;6;7;8;9.

Умножение большого числа на любое однозначное число производится набором палочек, соответствующих значению цифр числа. Результат умножения получаем, считывая значения в строке, соответствующей значению множителя, суммируя значения по диагонали, как в рассмотренном примере и учитывая перенос в старший разряд. Для умножения числа 7593 на 9 выбираем палочки с цифрами 7,5,9,3 и раскладываем их последовательно на столе. Выбираем девятую строку, в которой записана таблица умножения выбранных цифр на 9.

Непером были разработаны также палочки для деления и извлечения квадратного корня. Свой способ умножения Нефер описал в книге "Rabdologiae seu numeration per virgulas libri duo" - "Две книги о счете с помощью палочек". Эту книгу чаще всего называют "Рабдология" - ("rabdos" по гречески прут, палочка).

Особенно интересно для нас изобретение Нефером счетной доски для умножения, деления, возведения в квадрат, извлечения квадратного корня в двоичной системе счисления. Эти методы он изложил в приложении к "Рабдологии", названном "Arithmetica localis" - "Арифметика".

Каждую степень числа 2 Нефер обозначил отдельной буквой. Из этих букв и цифр формируется любое двоичное число. Для перевода из двоичной системы в десятичную и обратно были разработаны специальные алгоритмы.

Джон Нефер создал устройство для облегчения выполнений действий умножения и деления, а в 1622 году, используя принцип действия этого устройства, Вильям Оугтред (William Oughtred) разработал логарифмическую линейку, которая в 19-20 веках стала основным инструментом инженеров.

Трудно сказать, когда впервые был создан компьютер. Многие начинают обзор с китайских счет (калькуляторов), а несколько лет назад в журнале Scientific American, как повествует Компьютерра № 44 от 4 декабря 1995г., была опубликована статья об удивительной находке археологов на острове Апрафал, расположенном у северо-западного побережья Новой Гвинеи. Археологи обнаружили цифровой компьютер, созданный примерно в 850 году н.э. Это был веревочный компьютер состоявший из элементов современных электронно-вычислительных машин: вентилях, триггеров, регистров, мультиплексоров. Древние математики использовали двоичную систему счисления, логические значения "1" и "0" представлялись различным положением веревок. В деревянном ящике помещался блок, через который пропусклась веревка, концы веревки выходили наружу через два просверленных в ящике отверстия, длина выпущенной веревки соответствовала значению "0" или "1". Такое устройство можно считать веревочным триггером. Ученые обнаружили несколько тысяч ящиков - триггеров, образующих память компьютера. Они располагались рядами по восемь в каждом ряду, образуя восьмибитные ячейки памяти. Были найдены устройства, выполнявшие логические операции "И", "ИЛИ", "НЕ", функцию мультиплексора с двумя информационными входами. Не исключено, что древний компьютер был программируемым. (Хотите верьте — хотите нет!)

Автоматизировать процесс вычислений пытались многие ученые, сталкиваясь с необходимостью произвести большое количество сложных расчетов.

Эту идею пытался воплотить в жизнь и Леонардо да Винчи (1452-1519) Он создал эскиз суммирующего устройства с десятизубчатыми шестернями.

Считается, что первая машина, способная автоматически выполнять четыре арифметических действия была создана в 1623 году Вильгельмом Шиккардом.

Вильгельм Шиккард (1592-1635) был другом астронома Кеплера. В архиве Кеплера в 1958 году и были обнаружены письма Шиккарда, написанные в 1623-1624 годах, где он излагал принцип действия машины и сопровождал изложение рисунками.

Машина Шиккарда состояла из 3 частей: суммирующего устройства (сложение и вычитание), множительного устройства и механизма для записи промежуточных результатов. Множительное устройство занимает верхнюю часть машины, суммирующее - среднюю, для хранения чисел используется нижняя часть машины. Суммирующее устройство было шестиразрядным. В каждом разряде на оси была закреплена шестерня с десятью зубцами и колесо с одним зубом, пальцем. Палец служил для передачи десятка в следующий разряд и, после полного оборота шестерни, поворачивал шестерню следующего разряда на 1/10 оборота, что соответствовало сложению с единицей. Сложение осуществлялось последовательным вводом слагаемых, а вычитание - последовательным вводом уменьшаемого и вычитаемого. При вычитании шестерни вращались в другом направлении. В окошках считывания машины можно было прочесть результат, уменьшаемое и вычитаемое. Деление выполнялось путем многократного вычитания делителя из делимого. Для умножения использовались таблицы умножения, накрученные на шесть осей. Перед осями размещалась панель с девятью рядами окошек. Каждый ряд окошек мог закрываться и открываться при помощи задвижек (ручки задвижек видны на рисунке). При умножении все таблицы путем вращения устанавливаются так, чтобы в верхнем ряду окошек появилось множимое. Умножение на 5 производилось открыванием окошек пятого ряда и считывания результата. Умножение на 30 производилось открыванием третьего ряда и приписыванием нуля. Чтобы произвести умножение на 35 необходимо сложить два результата. В третьей части машины можно было при помощи шестерен установить шестиразрядное число для того, чтобы его запомнить (промежуточный результат вычислений, который может потребоваться позже).

В доме — музее Кеплера, на его родине в городе Вайле, хранится, изготовленная по найденным в письмах Шиккарда схемам, действующая модель машины.

В 1642 году великий французский ученый Блез Паскаль (1623-1662) механизировал канцелярские расчеты по налогообложению, соорудив настольный арифмометр на основе зубчатого колеса.

18-летний сын французского сборщика налогов, изобрел механический калькулятор, чтобы помочь отцу в расчетах с пошлинами.

В медной прямоугольной коробке, получившей название “Pascaline”, были размещены шесть или восемь подвижных дисков. (На рису

е с коробки снята крышка с кругами.) Круги вращаются по часовой стрелке. Вращение передается цилиндрам. Однозначные числа складывались путем последовательного поворота колеса на число зубьев, равное значению каждого слагаемого. Если колесо поворачивалось на десять зубьев, оно поворачивало на один зуб колесо старшего разряда, так как десятый зубец был длиннее. Умножение и деление на этой машине производить было нельзя.

В 1673 году немецкий философ, математик, физик Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646-1716) создал счетную машину, позволяющую складывать, вычитать, умножать, делить, извлекать квадратные корни, при этом использовалась двоичная система счисления. В механическом умножителе Лейбница так же используется система вращающихся дисков. Форма зубцов цилиндров была изменена, они имеют форму ступенек (зубцы имеют разную длину). Счетное колесо могло перемещаться вдоль оси ступенчатого валика и приводиться в сцепление с разным количеством зубцов, это и позволяло выполнять операцию умножения.

Эта машина являлась прототипом арифмометра, использующегося с 1820 года до 60-х годов XX века. Это был совершенный прибор, в котором использовалась движущаяся часть (прообраз каретки) и ручка, с помощью которой оператор вращал колесо. При умножении на три, например, колесо могло повернуться 3 раза, выполнив троекратное сложение. Значение множимого устанавливается предварительно, соответствующим поворотом колес. Значение множителя набирается установкой штифтов, ограничивающих количество поворотов. При делении, как при вычитании, производится вращение в другую сторону.

В 1703 году Лейбниц написал трактат "Explication de l'Arithmetique Binary" - об использовании двоичной арифметики.

Идея Лейбница привлекла множество последователей. Наибольшую известность получила машина М.Гана (1778г.). Священник М.Ган так писал о причинах создания своего прибора: “ Когда я был занят вычислениями над колесами астрономических часов, то мне пришлось иметь дело с громаднейшими дробями и делать умножения и деления над весьма большими числами, от которых даже мои мысли останавливались, так что эта работа могла нанести ущерб моим прямым обязанностям. Тут я вспомнил, что когда-то читал о Лейбнице, что он занимался изобретением арифметической машины, на которую тратил много времени и денег, но удовлетворительного результата не достиг. У меня родилась мысль также поработать в этом направлении. Нечего говорить, что мною также потрачено много времени и средств над различными опытами и над устранением неудач и затруднений при проектировании и устройстве прибора. Наконец мне удалось построить прибор доста-

точно совершенный и прочный. Более всего затруднений я встретил над изобретением способа переноса накопившихся десяти единиц на десятки”

Механические калькуляторы получили широкое распространение только в XVIII веке, когда значительно возросли потребности в большом количестве сложных вычислений. Пока же для вычислений широко используются различные, недорогие приспособления.

В "Переписной книге деловой казны" Патриарха Никона (1658г). встречается слово "счоты", в это время в Росси счеты уже изготавливались для продажи.

Они имели сначала четыре, а затем два счетных поля и были универсальным счетным прибором. Десятичная позиционная система счисления еще только начинала распространяться в России, и практически все вычисления производились на счетах.

Широкое использование в торговле и учреждениях невиданного на Западе счетного инструмента отмечали в XVII-XVIII столетиях многие иностранцы. Английский капитан Перри, находившийся в России с 1698 по 1712 год и издавший по возвращению на родину книгу "Положение России при нынешнем царе с описанием татар и других народов" (1716 г.), писал: "Для счета они пользуются изобретенным ими особым прибором с нанизанными на проволочные прутья шариками от четок или бусами, который они устраивают в ящике или небольшой раме, почти не отличающейся от тех, которыми пользуются у нас женщины, чтобы ставить на них утюги... Передвигая туда и сюда шарики, они справляются с делением и умножением разных сумм..."

Ко времени посещения капитаном Перри России счеты уже приняли вид, существующий и поныне. В них осталось лишь одно счетное поле, на спицах которого размещались либо 10, либо 4 косточки (спица с 4 четками - дань "полушке", денежной единице в 1/4 копейки).

Хотя форма счетов остается неизменной вот уже свыше 250 лет, на протяжении трех столетий было предложено немало модификаций этого элементарного, но полезного прибора.

В 1867г. вице-президент Российской академии наук Владимир Яковлевич Буняковский создает счетный механизм, основанный на принципе действия русских счетов. Самосчеты Буняковского являются простейшим механическим устройством.

Усовершенствованные самосчеты Буняковского предназначены для сложения большого числа двuzначных слагаемых, но на них можно (хотя и менее удобно) производить вычитание. Прибор состоит из вращающегося латунного диска, укрепленного на деревянной доске, и неподвижного металлического кольца с нанесенными числами (от 1 до 99).

1770 г. - создается одно из первых механических вычислительных устройств - машина Якобсона.

Вдоль верхнего торца крышки машины через небольшие круглые отверстия выведены 9 осей, расположенных под крышкой дисков, по периметру которых нанесены цифры от 0 до 9. Концевая часть каждой оси имеет квад-

ратное сечение, поэтому ее можно легко поворачивать с помощью специального ключа. Ниже осей располагаются круглые окошки, в которых можно читать цифры на дисках при их вращении. Эти диски предназначены для фиксации начальных данных и промежуточных результатов.

Ниже расположен другой ряд осей, над каждой из которых нанесена дуговая шкала с выгравированными цифрами от 0 до 9 по часовой стрелке и ряд окошек считки, используемых при выполнении операции сложения над любыми числами, сумма которых меньше 109.

Последний ряд осей предназначается для выполнения операции вычитания. Над каждой из этих осей расположена дуговая шкала, такая же, как и над осями сложения, только цифры нанесены на ней против часовой стрелки.

У нижнего торца крышки расположена съемная линейка, в которую смонтировано шесть цифровых дисков с соответствующими осями. Линейка, так же как и верхний ряд осей с дисками, служит для фиксации исходных данных и промежуточных результатов.

Счетный механизм каждого разряда содержит полудиск, имеющий по краю 9 зубьев и расположенный на оси. Этот полудиск зацепляется с зубчатым колесом и поворачивает его на столько зубьев, на сколько единиц поворачивается соответствующая ось. К зубчатому колесу жестко крепится цифровой диск и длинный палец, который, так же как и в машине Шиккарда, выполняет функции передачи десятков.

Интересной особенностью машины Якобсона было особое устройство, которое позволяло автоматически подсчитывать число произведенных вычитаний, т.е. определять частное. Наличие этого устройства, остроумно решенная проблема ввода чисел, возможность фиксации промежуточных результатов позволяют считать "часового мастера из Несвижа" выдающимся конструктором счетной техники.

В середине прошлого века З.Я.Слонимский (1810-1904) предложил простое множительное устройство, основанное на доказанной им теореме. Это устройство позволяло получать произведения любого числа (разрядность которого не превышала разрядности устройства) на любое однозначное число. Другими словами, это было нечто вроде механической таблицы умножения любого числа на 2, 3, 4, ..., 9.

На основе своей теоремы Слонимский составил таблицу, состоящую из 280 столбцов - по 9 чисел в каждом. Эта таблица нанесена на цилиндры, являющиеся основным элементом устройства. Цилиндры могут перемещаться в двух направлениях: вдоль оси и вокруг нее. На ось, на которой находится цилиндр, надеты также два мини-цилиндра. На поверхность одного мини-цилиндра нанесены числа от 0 до 9, а на поверхность другого - буквы a, b, c, d и цифры (от 1 до 7).

На крышке прибора находятся 11 рядов окошек считывания, в первом (нижнем) ряду видно устанавливаемое число (множимое). Во втором и третьем рядах окошек при установке множимого появляются буквы и цифры. Их сочетание служит ключом для оператора. Благодаря ему он знает, какую ось

и насколько нужно повернуть. После поворота осей в 4-11-м рядах окошек появляются числа: в 4-м ряду - произведение множимого на 2, в 5-м - на 3, в 6 - на 4 и т. д. Таким образом, в нашем распоряжении оказывается произведение множимого на все разряды множителя. Теперь остается обычным способом (на бумаге) сложить эти результаты и получить искомое произведение.

Конечно, все это не очень удобно, и прибором Слонимского вряд ли кто-нибудь систематически пользовался. Однако, он послужил прототипом еще одного простого множительного устройства (брусков Иофе), получившего сравнительно широкое распространение.

Важно здесь и другое - прибор Слонимского был единственным инструментом дискретного счета, действие которого в первую очередь основывалось на теории чисел, а не на сложной механике.

В основе конструкции суммирующего устройства Слонимского лежит простой и в то же время достаточно эффективный способ ввода чисел, обеспечивающий одновременно перенос десятков в старший разряд.

Основной элемент конструкции - зубчатые колеса с 24 коническими зубцами: по одному колесу на один разряд числа. Ввод исходных чисел осуществлялся поразрядно с помощью штифта, вставляемого в отверстие между двумя зубцами колеса. Суть конструкции состоит в характере расположения колес друг относительно друга: колеса независимы. При вращении в одну сторону штифт не может задевать соседнее колесо, в другую - задевает, соседнее колесо сдвигается и, таким образом, прибавляется единица в старшем разряде.

В 1881 году созданы счетные бруски Иофе. Прибор Иофе состоял из 70 четырехгранных брусков. Это позволило разместить на 280 гранях 280 столбцов таблицы Слонимского. Каждый брусок и каждый столбец были помечены, для чего использовались арабские и римские цифры и буквы латинского алфавита. Латинские буквы и римские цифры служили для указания порядка, в котором нужно было размещать бруски, чтобы получить произведение множимого на одноразрядный множитель. Полученные произведения складывались с помощью карандаша и бумаги. Хотя это было не совсем удобно, но в 19 веке рассуждали иначе. Эффективных и надежных арифмометров почти не было, а бруски Иофе значительно упрощали умножение чисел.

В середине 19 века были предложены устройства, ориентированные на серийное производство. В этих устройствах при наборе чисел, над которыми производятся действия (сложение и вычитание), одновременно осуществляется и перенос десятков, но только в соседний разряд.

Наиболее совершенным из подобных приборов явилось устройство, изобретенное петербургским учителем музыки Куммером, предложенное в 1846 г. и серийно выпускавшееся (с различными модификациями) вплоть до 70-х годов 20 века. Ведущий принцип конструкции был заимствован Куммером у Слонимского. Однако это устройство, вошедшее в историю вычислительной техники как счислитель Куммера, оказалось значительно более эффектив-

ным, чем прибор Слонимского. В отзыве об этом устройстве М. В. Остроградского отмечалось: "Основная идея заимствована у Слонимского, но результирующая конструкция несравненно более простая и удобная в обращении". Важнейшим из преимуществ счислителя Куммера над прибором Слонимского была портативность. Это отмечал и Остроградский: "Лист обыкновенной бумаги, сложенный в восемь раз, представил бы толщину этого прибора, но длина и ширина будут значительно больше. При меньших размерах с ним было бы неудобно обращаться".

В счислителе Куммера для представления одного разряда числа служит одна рейка. Рейки движутся по желобам. На поверхности рейки нанесены числа от 0 до 9. На крышке прибора прорези, в каждой из которых видны правые зубцы соответствующей рейки, а также один левый зубец соседней рейки, представляющей старший разряд. С правой стороны каждой прорези нанесены цифры от 1 до 9. Если в прорезь вставить штифт, то рейку можно двигать вверх или вниз до упора. При этих движениях в окошках считывания появляются цифры, нанесенные на поверхность рейки. Если штифт вести вверх, он заденет левый зубец соседней рейки и сдвинет ее вниз на одно деление, т. е. в старшем разряде прибавится единица. Счислитель Куммера получил широкое распространение, как в нашей стране, так и за рубежом.

Считается, что первым ученым, предложившим использовать принцип программного управления для автоматического выполнения арифметических вычислений, был Чарльз Бэббидж.

Английским профессором математики Чарльзом Бэббиджем (1791-1871) была разработана полностью автоматическая вычислительная машина с программным управлением. Разочарованный большим количеством ошибок в вычислениях Королевского Астрономического Общества, Бэббидж пришел к мысли о необходимости автоматизации вычислений. Первая попытка реализации такой машины была предпринята Бэббиджем в 1822, когда он создал машину, предназначенную для решения дифференциальных уравнений, называемую "разностной машиной". Работа модели основывалась на принципе, известном в математике как "метод конечных разностей". При вычислении многочленов используется только операция сложения, которая легко автоматизируется. Бэббиджем была использована десятичная система счисления, а не двоичная, как в современных компьютерах.

В течение 10 лет Бэббидж работал над большой разностной машиной. Движение механических частей машины должен был осуществлять паровой двигатель. Большая, как локомотив, машина должна была автоматически выполнять вычисления и печатать результаты. Большая разностная машина так и не была построена до конца. Однако, работая над ней в течение 10 лет, Бэббидж пришел к идее создания механической аналитической машины. Идеи Бэббиджа намного опередили свое время, аналитическая машина не могла быть создана в то время.

В 1871 году Бэббидж изготовил опытный образец арифметического устройства ("завода") аналитической машины и принтера.

Большую помощь в работе над аналитической машиной оказывала Бэббиджу графиня Ада Лавлейс (1815-1842), дочь английского поэта Байрона.

Ада Лавлейс была одним из немногих людей, кто полностью понял проект Бэббиджа. Она помогала добиваться финансирования работы Британским правительством и вела большую работу по популяризации проекта, описывая его в научных статьях и докладах. Прекрасное понимание леди Лавлейс принципов работы аналитической машины позволило ей создавать программы (последовательность инструкций для аналитической машины). Таким образом, ее можно считать первым программистом. В 80-ых годах XX-го столетия в ее честь был назван язык программирования АДА.

Технические трудности, с которыми пришлось встретиться при реализации не позволили осуществить проект. Поэтому Бэббидж не опубликовал проект полностью, а ограничился описанием его в своих лекциях, прочитанных им в Италии и в Турине. Записи этих лекций были опубликованы в 1842 году слушавшим их итальянским математиком Л. Менабреа и переведены на английский язык Адой Лавлейс. Они были изданы в Англии с ее подробными примечаниями.

Хотя движимая паром аналитическая машина Бэббиджа никогда не была построена, однако, работая над ней Бэббидж определил основные черты современного компьютера. Аналитическая машина состояла из более чем 50000 деталей и включала в себя:

- устройство ввода программы при помощи отверстий на перфокартах,
- "склад" (память) для тысячи 50-ти разрядных десятичных чисел.
- "завод", устройство для выполнения операций над числами (арифметическое устройство)
- блок управления, который позволял обрабатывать инструкции в любой последовательности
- устройство выпуска продукции (вывода результатов на печать).

Аналитическая машина - это программируемая автоматическая вычислительная машина с последовательным управлением, содержащая арифметическое устройство и память. Отличительной чертой аналитической машины можно считать использование команды условного перехода, изменяющей управление обработкой в зависимости от результатов вычислений.

Ввод инструкций в компьютер осуществлялся при помощи перфокарт.

Идею использования перфокарт для кодирования инструкций Бэббидж заимствовал у Жаккарда.

В ткацком станке, построенном в 1820 и названном по имени его изобретателя Джозефа Жаккарда, использовались перфокарты для управления станком. При помощи перфокарт задавался узор, который нужно было выткать. Создание ткацкого станка, управляемого картами, с пробитыми на них отверстиями, и соединенными друг с другом в виде ленты, относится к одному из

ключевых открытий, обусловивших дальнейшее развитие вычислительной техники.

В 1889 году американский изобретатель Герман Холлерит (1860-1929) применил способ Жаккарда для ввода данных при помощи перфокарт. Ему необходимо было построить устройство для обработки результатов переписи населения в Америке. Обработка результатов переписи 1880 года заняла почти семь лет. Учитывая рост населения, на обработку результатов следующей переписи потребовалось бы не менее 10 лет. Г.Холлерит разработал машину с вводом с перфокарт, способную автоматически формировать таблицы данных.

Машина автоматически обрабатывала результаты. Каждое отверстие на перфокарте представляло одно значение. Перфокарта вставлялась в пресс. Под перфокартой были расположены чашечки с ртутью в местах пробивки всех возможных отверстий. На перфокарту опускались стерженьки, замыкавшие электрическую цепь через ртуть там, где было пробито отверстие. Счетчики считали количество отверстий на всех перфокартах, соответствующее данному признаку. Машина позволяла считать и сочетание различных признаков. Вместо десяти лет результаты переписи были обработаны машиной Холлерита всего за шесть недель. Перфокарты широко использовались для ввода и вывода информации в первых электронных компьютерах вплоть до 1960-ых годов. (В 1896г. Холлерит основал фирму, которая в 1924г. получила название IBM - International Business Mashines - и стала впоследствии мировым лидером в производстве компьютеров).

Аналитическая машина Бэббиджа так и не была построена. Все, что дошло от нее до наших дней, - это ворох чертежей и рисунков, а также небольшая часть арифметического устройства и печатающее устройство, сконструированное сыном Бэббиджа.

Разностной машине повезло больше. Шведский издатель, изобретатель и переводчик Пер Георг Шойц, прочтя как-то об этом устройстве, построил его слегка видоизмененный вариант. В 1854 году устройство прошло испытание в Лондоне, а годом позже Разностная машина Шойца была удостоена золотой медали на Всемирной выставке в Париже.

Чарльз Бэббидж намного обогнал свое время. Только спустя 100 лет были реализованы его идеи по созданию вычислительных устройств, выполняющих заданную последовательность действий - программу.

Источники информации:

1. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. История вычислительной техники.- М.: Наука, 1990.- 246 с.
2. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. Развитие вычислительных машин.- М., Наука, 1974.- 399с.

2. ОТ АРИФМОМЕТРА К РЕЛЕЙНЫМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Механические арифмометры широко использовались, как простые и дешевые средства вычислений, в дальнейшем в вычислительных устройствах был применен клавишный ввод и электрический привод. Широкое распространение получила счетно-аналитическая техника - перфорационные машины. Перфорационные машины по сравнению с арифмометрами имеют большую скорость и меньшую вероятность ошибок при вычислениях. После того как исходные данные пробиты в виде отверстий в перфокартах, остальная работа выполняется машинами, входящими в состав счетно-аналитического комплекса.

В сороковые годы двадцатого века был построен ряд релейных вычислительных систем, способных выполнять сложные научно-технические расчеты в автоматическом режиме и со скоростями, на порядок превышающими скорость работы арифмометров с электроприводом. Наиболее крупные проекты в сороковые годы были выполнены в Германии (К.Цузе) и США (Айкен и Дж.Стибиц).

В 1938 году в Берлине Конрад Цузе с ассистентом Хельмутом Шрейером создали прототип механического двоичного программируемого калькулятора, названного "Z1". Конрад Цузе использовал в компьютере двоичные числа с плавающей точкой. Цузе запатентовал способ автоматических вычислений. Но машина Z1 не реализовала условных переходов. Машина была выполнена на механических элементах, имела память емкостью 16 чисел по 24 двоичных разряда. Команды были трехадресными и содержали адреса операндов и результата. Затем были созданы модели "Z2", "Z3". Менялась техническая база, но логическая структура у моделей "Z1" и "Z3" была одинакова. Она напоминает архитектуру современных компьютеров: память и процессор были отдельными устройствами, процессор мог обрабатывать числа с плавающей точкой, выполнять арифметические действия и извлекать квадратный корень. Программа хранилась на перфоленге и считывалась последовательно.

В 1936 году Тьюринг и Пост показали принципиальную возможность решения автоматами любой проблемы при условии возможности ее алгоритмизации с учетом выполняемых ими операций.

В 1938 году американский математик и инженер Клод Шеннон показал возможность использования аппарата математической логики для синтеза и анализа релейно-контактных переключательных систем.

В этом году в телефонной компании "Bell Laboratories" создали первый двоичный сумматор (электрическую схему, выполняющую операцию двоичного сложения) - один из основных компонентов любого компьютера. Автором идеи был Джордж Стибиц, создавший в 1938-1940 годах вычислитель-

ную машину "Белл-1" на электромагнитных реле, способную оперировать с комплексными числами.

В 1940 году в Дортмуте было продемонстрировано дистанционное управление машиной "Белл-1" на заседании американского математического общества.

Третий крупный проект "МАРК-1" - проект Говарда Айкена был реализован в 1939-1944гг. В 1944 году машина "МАРК-1" была передана в эксплуатацию Гарвардскому университету, где эксплуатировалась в течение 15 лет. В качестве элементной базы при создании машины использовались детали перфорационных устройств, выпускавшиеся фирмой IBM (США). Машина была создана с использованием и релейных и механических элементов.

Работы Цузе, предшествовавшие работам Айкена, были более передовыми, так как Цузе использовал более современную техническую базу. Последние образцы машины Цузе строились целиком на реле, в то время как в "МАРК-1" еще использовались механические элементы. Цузе использовал двоичную систему счисления и представление чисел в формате с плавающей точкой, что обеспечивало больший диапазон представления чисел, в "МАРК-1" использовалась десятичная система счисления.

2. От арифмометра к релейным вычислительным системам

В 1821 году француз Карл Томас организовал серийное производство арифмометров. Принцип работы был основан на применении ступенчатого валика Лейбница. Томас-машина могла исполнять четыре основных арифметических действия. Появление арифмометра Томаса подтолкнуло исследователей к созданию еще более совершенных и быстродействующих машин.

Петербургским ученым В.Т. Однером был создан и организован массовый выпуск арифмометров, которые распространились по всему миру. Несколько десятков лет это была самая распространенная вычислительная машина. Однер заменил ступенчатые валики Лейбница зубчатым колесом с меняющимся числом зубцов. Колесо Однера состоит из подвижного диска, который прилегает к неподвижному диску. На неподвижном диске закреплены выдвигающиеся зубья. Ступенька на подвижном, вращающемся диске выдвигает зубец, соответствующий заданной цифре. Выдвинутые зубцы входят в зацепление с промежуточным колесом, которое вращает шестерню колеса счетчика результата.

В России выпуск арифмометров Однера, получивших в последствии название “Феликс”, был начат в 1925 году.

В дальнейшем Однер - машины совершенствовались, был применен клавишный ввод и электрический привод, однако механические арифмометры попрежнему широко использовались, как более простые и дешевые средства вычислений.

В 1876 г. создан первый арифмометр Чебышева, который является 10-разрядной суммирующей машиной с непрерывной передачей десятков, где колесо высшего разряда продвигается на одно деление, в то время как колесо низшего разряда переходит с 9 на 0. При непрерывной передаче десятков соседнее колесо (а вместе с ним и все остальные) постепенно поворачивается на одно деление, пока колесо младшего разряда совершает один оборот.

Работа оператора при выполнении сложения на машине Чебышева была очень простой. С помощью десяти наборных колес поочередно вводились слагаемые, а результат считывался в окнах считки. На наборных колесах имеются специальные зубцы, с помощью которых поворачиваются колеса. В корпусе машины - прорези, в которых видны эти зубцы, а рядом с прорезями написаны цифры (0...9). При вычитании устанавливается уменьшаемое, а вычитаемое нужно набирать, вращая наборные колеса в обратную сторону. Машина была приспособлена для сложения, и вычитание на ней производить не так удобно.

В 1878 году Чебышевым создана множительно-делительная приставка к суммирующей машине. Арифмометр, состоящий из двух устройств - суммирующего и множительно-делительного был передан на хранение в музей в Париже (1881 г.).

Новаторствами Чебышева были непрерывная передача десятков и автоматический переход каретки с разряда на разряд при умножении. Оба эти изобретения вошли в широкую практику в 30-е годы 20 века в связи с применением электропривода и распространением полуавтоматических и автоматических клавишных вычислительных машин.

В 1935 г. в СССР был выпущен клавишный полуавтоматический арифмометр КСМ-1 (клавишная счетная машина). Эта машина имела два привода: электрический (со скоростью 300 оборотов в минуту) и ручной (на случай отсутствия питания).

Клавиатура машины состоит из 8 вертикальных рядов по 10 клавишей в каждом, т. е. можно набирать 8-значные числа. Для удобства набора группы разрядов клавиатуры окрашены в разные цвета. Имеются клавиши гашения. Если цифра набрана ошибочно, то для ее замены достаточно нажать на нужную цифру в том же ряду и тогда неверно набранная цифра погасится автоматически. В подвижной каретке находится 16-разрядный счетчик результатов и 8-разрядный счетчик оборотов, имеющие устройства для передачи десятков из одного разряда в другой. Для гашения этих счетчиков служит ручка. Имеются подвижные запятые (для удобства считывания). Звонок сигнализирует о переполнении счетчика результатов.

В послевоенные годы были выпущены полуавтоматы КСМ-2 (с незначительными отличиями по конструкции от КСМ-1, но с более удобным расположением рабочих деталей).

Начиная с 50-х годов XX века в клавишных машинах стали использовать электропривод. На рисунке вычислительная десятиклавишная машина Быстрица-2, полуавтомат, на котором можно выполнять четыре арифметических действия: деление, сложение и вычитание – автоматически, умножение – полуавтоматически. Наличие электропривода увеличивало скорость ведущих механизмов по сравнению с ручным приводом. Машины работали при помощи электродвигателя переменного тока с напряжением 220 в. и скоростью не менее 4.8 обор./сек.

Распространение счетно-аналитической техники было связано с тем, что перфорационные машины по сравнению с арифмометрами имеют большую скорость и меньшую вероятность ошибок при вычислениях. После того как исходные данные пробиты в виде отверстий в перфокартах, остальная работа выполняется машинами, входящими в состав счетно-аналитического комплекса. Конкретный комплекс счетно-аналитической техники может состоять из различного числа устройств, но в него обязательно входят следующие четыре устройства: входной перфоратор, контрольный, сортировальная машина и табулятор. Перфоратор служит для пробивки отверстий в перфокартах, а контрольный - для проверки правильности этой пробивки, т. е. правильности перенесения информации с исходного документа на перфокарту. Обычно контрольный конструируется на основе перфоратора с заменой пробивного устройства воспринимающим. Основной функцией сортировальной машины является группировка перфокарт по признакам для дальнейшей обработки на

табуляторе. Разновидностью сортировальной машины является счетно-сортировальная, т. е. имеющая приспособление для подсчета перфокарт в каждой группе.

Основная машина счетно-аналитического комплекса — табулятор. Независимо от конструкции его обязательными частями являются механизмы, обеспечивающие подачу перфокарт, восприятие пробивок, счет пробивок и печатание результатов, а также устройство управления.

Наряду с перечисленными в состав счетно-аналитического комплекса могли входить так называемые дополняющие, или специальные, машины, в том числе:

- итоговые перфораторы (для перфорации новых перфокарт по итоговым данным табулятора);
- перфораторы-репродукторы (для дублирования перфокарт, а также работы в качестве итоговых перфораторов при их соединении с табуляторами);
- вычислительные приставки к табуляторам и т. д.

К 1930 г. общее число счетно-аналитических комплексов в мире достигло 6-8 тыс. штук. В начальный период развития перфорационной техники она применялась главным образом в статистике. Со временем все более возрастает применение для бухгалтерского учета, и например, в 40-е годы в СССР в статистике использовалось около 10% счетно-аналитических машин, а более 80% - в бухгалтерском учете.

Наряду с обработкой экономической и статистической информации счетно-аналитические машины постепенно начинают применять для выполнения расчетов научного и научно-технического характера. В Советском Союзе первое применение счетно-аналитических машин для научно-технических вычислений в области астрономии относится к началу 30-х годов, а с 1938 г. табуляторы используются в математических исследованиях.

В Академии наук СССР создается самостоятельная машиносчетная станция. В 1926-27 гг. в промышленности, на транспорте, в государственных банках и ЦСУ создаются крупные машиносчетные станции. С 1931 г. в СССР начинается широкое развитие работ по механизации учета. В Москве создается специальный завод счетно-аналитических машин (САМ). К 1932 г. в нашей стране было создано 12 машиносчетных станций, а к 1935 г. отечественная промышленность наладила выпуск всех основных видов счетно-аналитического оборудования.

В 50-е годы создается электромеханический перфоратор П80-2 с автоматической подачей и откладкой карт и с механизмом дублирования, позволяющим делать пробивки с ранее пробитых перфокарт.

Первый отечественный табулятор САМ позволял суммировать числа с перфокарт и печатать эти числа и подсчитанные итоги. Следующей была выпущена модель Т-2, выполняющая те же операции и получившая широкое

распространение. Эта модель, выпускавшаяся до 1940 г., была рассчитана на два режима работы: обычный (4,5 тысяч перфокарт в час) и повышенный (9,5 тысяч перфокарт в час). Смена режима осуществлялась переключением скорости работы главного мотора, а выбор режима определялся скоростью подачи перфокарт.

Особенно много внимания правительства разных стран стало уделять развитию вычислительной техники перед Второй Мировой Войной, понимая, как много преимуществ получает сторона, владеющая машинными способами кодирования и декодирования информации.

В сороковые годы двадцатого века был построен ряд релейных вычислительных систем, способных выполнять сложные научно-технические расчеты в автоматическом режиме и со скоростями, на порядок превышающими скорость работы арифмометров с электроприводом. Наиболее крупные проекты в сороковые годы были выполнены в Германии (К.Цузе) и США (Айкен и Дж.Стибиц).

Переход к двоичной системе счисления в вычислительной технике был шагом, давшим толчок к ее дальнейшему бурному развитию.

Еще 1847 году английский математик Джордж Буль (1815-1864) опубликовал работу "Математический анализ логики". Появился новый раздел математики, получивший название - "Булева алгебра". Каждая величина в ней может принимать только одно из двух значений: истина или ложь, 1 или 0. Буль изобрел своеобразную алгебру - систему обозначений и правил, применимую к различным объектам, от чисел до предложений. Пользуясь правилами алгебры, он мог закодировать высказывания (утверждения, истинность или ложность которых требовалось доказать) с помощью символов своего языка, а затем манипулировать ими, подобно тому как в математике манипулируют числами. Основными операциями булевой алгебры являются конъюнкция (И), дизъюнкция (ИЛИ), отрицание (НЕ). Через некоторое время стало понятно, что система Буля хорошо подходит для описания переключаемых схем. Ток в электрической цепи может либо протекать, либо отсутствовать, подобно тому как утверждение может быть либо истинным, либо ложным.

В 1936 году американский математик Алан Тьюринг в статье "О вычислительных числах" и, независимо от него, американский математик и логик Э.Пост (уроженец Польши) выдвинули и разработали концепцию абстрактной вычислительной машины. "Машина Тьюринга" - гипотетический универсальный преобразователь дискретной информации, теоретическая вычислительная система. Тьюринг и Пост показали принципиальную возможность решения автоматами любой проблемы при условии возможности ее алгоритмизации с учетом выполняемых ими операций. Этими работами теоретически была доказана возможность создания универсальной цифровой вычислительной машины.

Тьюринг ввел математическое понятие абстрактного эквивалента вычислительного алгоритма, получившего название машины Тьюринга.

Машина Тьюринга состоит из контрольного модуля, читающей и пишущей головки (устройства ввода/вывода) и бесконечной ленты, разделенной на клетки. Поведение машины определяется конечным набором формул перехода типа ввод-вывод-сдвиг. Формула перехода включает пять символов, например: $AT - T A$, это означает, что если контрольный модуль находится в состоянии A и головка сканирует на ленте символ T , то головка сначала запишет символ T , затем сдвинется на одну клетку влево, на одну клетку вправо или останется на месте, в зависимости от значения $(-, +, \text{ или } 0 \text{ соответственно})$, перейдет в новое состояние. Каждая пятерка определяет последующее состояние машины (содержимое ленты, положение головки, состояние контрольного модуля). Для стандартной машины Тьюринга набор пятерок (квинтиплетов) удовлетворяет следующим требованиям:

Не существует двух квинтиплетов, отвечающих одним и тем же A и T одновременно.

Начав с состояния $A(1)$ машина при любых начальных данных окажется в состоянии $A(f)$ (где f -номер конечного состояния).

Переход будет происходить по набору пятерок, начиная с $A(1)b \rightarrow b+A2$ и заканчивая $A(f-1)b \rightarrow b0A(f)$. Буква b означает пробел. Состояния $A1$ и $A(f)$ больше ни в каких квинтиплетах не встречаются. Таким образом, каждый шаг машины Тьюринга связан с тремя операциями - запись, вычисление и сдвиг. Такая интерпретация вычислительного алгоритма широко используется и в настоящее время, например для оценки вычислительных возможностей компьютеров будущего - квантовых компьютеров.

Только спустя 100 лет идеи Бэббиджа по созданию программируемого вычислительного устройства были впервые реализованы в Германии доктором Конрадом Цузе. Цузе начал по существу все сначала, не воспользовавшись забытыми идеями Бэббиджа.

В 1938 году в Берлине Конрад Цузе с ассистентом Хельмутом Шрейером создали прототип механического двоичного программируемого калькулятора, названного "Z1". Интересно отметить, что Конрад Цузе использовал в компьютере двоичные числа с плавающей точкой. Механическое устройство памяти работало хорошо, но разработку арифметического блока нельзя было считать удачной.

Программа читалась с перфокарт, вывод осуществлялся на 35 миллиметровую перфоленту. Ввод можно было осуществлять с клавиатуры, а вывод на дисплей, составленный из электрических ламп. Общая площадь, которую занимала машина составляла 4 кв.м.

Конрад Цузе запатентовал способ автоматических вычислений. Очевидно Цузе пришел к идее создания универсальной вычислительной машины с программным управлением и хранимой в запоминающем устройстве программой независимо от идей Бэббиджа.

Но машина Z1 не реализовала условных переходов. Машина была выполнена на механических элементах, имела память емкостью 16 чисел по 24

двоичных разряда. Команды были трехадресными и содержали адреса операндов и результата.

Следующая работа Цузе, машина Z2, была выполнена совместно с Гельмутом Шрейером и была завершена в 1940 г. Это первый в мире электромеханический компьютер. Цузе отказался от механических устройств и заменил их электромеханическими. Механическим устройством оставалась только память. Для Z2 Цузе придумал очень остроумное и дешевое устройство ввода - он стал кодировать инструкции для машины, пробивая отверстия в использованной 35-миллиметровой фото пленке.

Работы по созданию вычислительных машин интересовали накануне войны военные ведомства всех стран. При финансовой поддержке Германского авиационного исследовательского института Цузе разрабатывает машину Z3, которую заканчивает в 1941 г.

Это был первый в мире электронный программируемый калькулятор, основанный на двоичной системе счисления. Как и в предыдущих моделях в Z3 не предусматривалась условная передача управления и машина не позволяла решать сложные задачи с разветвленными алгоритмами.

Компьютер Z3 управлялся перфолентой, ввод производился с четырехкнопочной цифровой клавиатуры, вывод на ламповую панель. Это была полностью релейная машина. В машине в качестве двоичных элементов использовалось приблизительно 2600 реле: 1400 для памяти, 600 для арифметического модуля, 600 для системы управления. Он выполнял вычисления с числами в формате с плавающей точкой. Длина слова составляла 22 бита: 14 для мантиссы, семь для порядка, 1 для знака. Z3 мог выполнять три или четыре сложения в секунду и умножать два числа за четыре или пять секунд. Единственная модель Z3 была разрушена в Берлине во время воздушного налета в 1944г.

Весной 1945 г. появилась улучшенная версия Z3 - Z4. Менялась техническая база, но логическая структура у моделей Z1 и Z3 была одинакова. Она напоминает архитектуру современных компьютеров: память и процессор были отдельными устройствами, процессор мог обрабатывать числа с плавающей запятой, выполнять арифметические действия и извлекать квадратный корень. Программа хранилась на перфоленте и считывалась последовательно. Благодаря высокой надежности эта модель использовалась вплоть до 1959 года (с 1950 по 1958 год она использовалась министерством обороны Франции.)

Электромагнитные реле уже тогда считали в двоичном коде - у них было два устойчивых состояния - "включено/выключено", что соответствует 1/0.

В выключенном состоянии контакты реле были разомкнуты и ток через них на следующие реле не поступал. Переключающиеся реле создавали страшный шум при работе такого компьютера, впоследствии реле были вытеснены электронными лампами, которые, в свою очередь, были вытеснены транзисторами и интегральными схемами.

Успехи в области применения электромеханических реле привели к тому, что электромеханические вычислительные машины создавались почти параллельно с электронными. Опыт их разработки использовался в дальнейшем при создании электронной вычислительной техники.

Второй крупный проект МАРК-1 - проект Говарда Айкена был реализован в 1939-1944гг. В 1944 году машина МАРК-1 была передана в эксплуатацию Гарвардскому университету, где эксплуатировалась в течение 15 лет. В качестве элементной базы при создании машины использовались детали перфорационных устройств, выпускавшиеся фирмой IBM (США).

Машина была создана с использованием и релейных и механических элементов. Устройство управления машиной состояло из зубчатого колеса, которое перематывало перфоленту, на которой была нанесена программа. Один ряд пробивок на перфоленте имел 24 отверстия.

Машина выполняла пять операций - четыре арифметических и операцию отыскания в таблицах требуемых величин. Скорость движения перфоленты составляла 200 шагов в минуту. За один шаг перфоленты выполнялись операции сложения и вычитания (0,3 сек.) Операции умножения и деления производились соответственно за 5,7 и 15,3 секунд. В машине использовалась десятичная система счисления. Сложение и вычитание производилось накапливающим сумматором, состоявшим из 72 механических счетчиков, в каждом счетчике использовалось 24 цифровых колеса (23 колеса для одного десятичного числа и одно для знака числа. Вычислительная машина содержала устройства для выполнения различных математических операций: суммирующее устройство, множительно-делительное устройство, счетчики для вычисления логарифмических и тригонометрических функций и три интерполятора. Для запоминания данных служили 72 счетчика - сумматора и память на релейных схемах с ручной установкой 60 чисел.

Все переключатели, применяемые в машине, были выполнены на электромагнитных реле. Для пересылки данных использовался один канал, по которому передавались переключающие импульсы, имеющие амплитуду 50 Вольт. Привод механических устройств осуществлялся через систему зубчатых передач от одного мотора мощностью 5 лошадиных сил.

Работы Цузе, предшествовавшие работам Айкена, были более передовыми, так как Цузе использовал более современную техническую базу. Последние образцы машины Цузе строились целиком на реле, в то время как в МАРК-1 еще использовались механические элементы. Цузе использовал двоичную систему счисления и представление чисел в формате с плавающей точкой, что обеспечивало больший диапазон представления чисел, в МАРК-1 использовалась десятичная система счисления.

В 1947 году в лаборатории Гарвардского университета была создана вычислительная машина MARK-II, полностью на релейных элементах (13 тысяч шестиполосных реле), но это была уже дань прошлому, так как к этому времени уже были созданы первые электронные компьютеры, имевшие неизмеримо большие возможности совершенствования структуры и высокое быстродействие.

MARK-II создавался по заказу Пентагона для морского испытательного полигона. Машина имела два сумматора, четыре множительных устройства и устройства для вычисления шести алгебраических функций. Для ввода команд и чисел использовалось 12 механизмов. Машина оперировала с 10-разрядными десятичными числами. Сложение выполнялось за 0,2сек., умножение за 0,7сек.

В 1938 году американский математик и инженер Клод Шеннон показал возможность использования аппарата математической логики для синтеза и анализа релейно-контактных переключательных систем.

В этом году в телефонной компании "Bell Telephone Laboratories" был создан первый двоичный сумматор. Автором идеи был Джордж Стибиц, экспериментировавший с булевой алгеброй и различными деталями - старыми реле, батарейками, лампочками и проводниками. К 1940 году родилась машина, умевшая выполнять над комплексными числами четыре действия арифметики.

В Европе бушевала Вторая Мировая Война. Необходимость в автоматических вычислениях усиливалась расширением числа артиллерийских орудий для уничтожения таких целей как самолеты. Так, вычислительная машина Стибица, основанная на электронных реле, крепилась к зенитным орудиям. Но еще более такие устройства были необходимы для расчета, так называемых "огневых таблиц" для полевой и морской артиллерий.

Работы американского ученого Дж. Стибица сыграли заметную роль в создании первых автоматических вычислительных машин.

Первую свою машину Стибиц назвал Model K, потому что большая ее часть была сконструирована на кухонном столе. Принцип ее действия заключался в следующем: если два реле активны (например, означающие "3" и "6"), то они активизируют третье реле, значение которого равно их сумме (то есть "9").

Являясь сотрудником компании "Bell Telephone Laboratories", он разработал в 1938 году вычислительную машину "Белл-1" на электромагнитных реле, способную оперировать с комплексными числами.

В 1940 году он устроил эффектное зрелище на заседании американского математического общества в Дортмуте (штат Нью-Гемпшир). Оставив свой компьютер дома, в Нью-Йорке, он взял с собой телеграфный аппарат, который подсоединил к компьютеру через телефонную линию. Стибиц поразил присутствующих: он излагал задачу, которая телеграфом отсылалась на компьютер, и через короткий промежуток времени телеграф печатывал ответ, выданный компьютером. Впервые было продемонстрировано дистанционное

управление вычислительной машиной. В Нью-Йорк из Дортмунта по телеграфу было передано два комплексных числа, произведение двух чисел было получено на телетайпе в городе Дортмуте в зале заседания. Демонстрация имела большой успех.

Среди участников заседания были Ноберт Виннер - "отец кибернетики" и Дж.Моучли, создавший позднее компьютер, считающийся первым в мире универсальным электронным компьютером.

В 1942г. была сконструирована машина "Белл-II", автоматически управляемая программой (машина "Белл-I" автоматического управления не имела), кроме того, в этой машине впервые была применена встроенная система обнаружения ошибок, останавливающая процесс вычислений, если не срабатывало реле.

Каждая новая разработка Дж.Стибица была шагом к созданию универсальной цифровой вычислительной машины. В 1942-1944 годах была построена вычислительная машина "Белл-III" с управлением при помощи программы, записанной на перфоленте, машина содержала устройство умножения, средства автоматического просмотра таблиц, записанных на бумажную перфоленту, и запрещающее устройство на 10 слов. По образцу "Белл-III" был построен релейный калькулятор "Белл-IV". Последней релейной машиной, построенной Джоном Стибицем была машина "Белл-V". Она оперировала 7-разрядными десятичными числами, выполняла сложение (0,3 сек.), умножение (1 сек.) и деление (2,2 сек.). Прогрессивные черты компьютера - арифметика с плавающей точкой, многопроцессорная система.

Машина "Белл-V", как и "МАРК-II" на фоне электронного компьютера ENIAC выглядела уже достижением вчерашнего дня.

Последний крупный проект программно-управляемой релейной машины RBM-1 был выполнен в Советском Союзе. Машина была создана по проекту Н.И.Бессонова. Проект запоздал, но был настолько удачным, что по быстродействию мог соперничать с электронными вычислительными устройствами (умножение двух чисел с плавающей точкой с 27-разрядной мантиссой и 6-разрядным порядком производилось за 50мсек. против 700мсек. у наиболее быстродействующего релейного компьютера "МАРК-II").

Дальнейшее повышение скорости вычислений могло произойти только в результате перехода на электронные схемы.

Сознавали ли это конструкторы релейных вычислительных машин, продолжая разработку новых образцов, в то время, когда уже существовала новая элементная база?

Ноберт Винер делает следующее заключение:

"Меня очень удивило, что Айкен в качестве основных элементов своей машины выбрал сравнительно медленно действующие механические реле, не придав особого значения громадному увеличению скорости вычислений, которого можно было бы достигнуть, используя электронные реле. Порочность этой точки зрения в настоящее время очевидна, в частности, благодаря самому Айкену, ставшему одним из наиболее энергичных и оригинальных изо-

бретателей и конструкторов электронных вычислительных машин. Но тогда у него была какая-то странная причуда, заставлявшая его считать работу с механическими реле нравственной и разумной, а использование электронных реле - делом, никому не нужным и морально нечистоплотным. В этой связи мне хочется напомнить об одном чрезвычайно опасном свойстве, которым часто отличаются наиболее талантливые и целеустремленные изобретатели.

Люди такого склада обычно стремятся навеки законсервировать технические приемы своей области на том уровне, которого они сами достигли, и проявляют чудеса моральной и интеллектуальной изворотливости, сопротивляясь, а иной раз даже воздвигая непреодолимые препятствия на пути новых работ, основанных на новых оригинальных принципах."

До середины 30-х годов 20-го века вычислительная техника развивалась по пути создания настольных счетных машин и счетно-перфорационного оборудования. Настольные машины применялись для автоматизации элементарных арифметических вычислений, а счетно-перфорационные устройства для решения задач статистики и учета. Со второй половины 30-х годов на основе работы счетно-перфорационных устройств были предприняты попытки создать программно управляемые автоматические вычислительные устройства для сложных научно-технических расчетов. Первые такие вычислительные вычислительные устройства были построены на электромеханических реле и работали по программам, записанным на перфоленты или перфокартах. Затем аналогичные устройства стали проектировать на электронных лампах. И это произвело революцию в вычислительной технике. Применение электронных схем позволило на несколько порядков увеличить производительность вычислительных устройств, характерную для бесконтактных вычислительных систем, повысить надежность.

Источники информации:

1. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. История вычислительной техники.- М.: Наука, 1990.- 246 с.
2. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. Развитие вычислительных машин.- М., Наука, 1974.- 399с.
3. Konrad Zuse. Copyright J. A. N. Lee, September 1994.
4. Mark 1 Story: Introduction, The Baby, Manchester Mark1, Ferranti Mark1 Copyright University of Manchester 1998, 1999.
5. George R. Stibitz. Inventure Place. National Inventors Hall of Fame.
<http://www.invent.org/inventure.html>

3. ПЕРВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Джон Ф. Атанасов в 1939 году опубликовал окончательный вариант своей концепции современной вычислительной машины:

1. В своей работе компьютер будет использовать электричество и достижения электроники.
2. Вопреки традиции его работа будет основана на двоичной, а не на десятичной системе счисления.
3. Основой запоминающего устройства послужат конденсаторы, содержание которых будет периодически обновляться во избежание ошибок.
4. Расчет будет проводиться с помощью логических, а не математических действий.

В 1939 году Атанасов вместе со своим ассистентом Клиффордом Э.Бэрри построил и испытал первую вычислительную машину, предназначенную для решения больших систем линейных уравнений. Они решили назвать ее ABC (Atanasoff Berry Computer)

В компьютере ABC были отдельно выполнены блоки арифметического и оперативного запоминающего устройства. Арифметическое устройство было выполнено на радиолампах, а оперативное запоминающее устройство на вращающемся барабане с конденсаторами. Использовалась двоичная система счисления. Перевод из десятичного представления в двоичное и обратно осуществлялся схемным путем. Внешняя память была выполнена на типовом оборудовании для ввода и вывода перфокарт.

Первый универсальный электронно-цифровой компьютер ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) был создан в 1946 году. ENIAC стал первым полнофункциональным компьютером.

Разрабатывали проект Джон В. Моучли и Дж. Преспер Эккерт в Баллистической исследовательской лаборатории армии США. Источником вдохновения для Моучли послужило устройство, созданное профессором федерального колледжа Айовы Джоном Ф. Антанасовым для решения больших систем линейных уравнений.

Машина была десятизначной, включала 12 десятизначных сумматоров с регистрами для хранения результатов.

Арифметическое устройство и оперативная память состояли из кольцевых электронных счетчиков. Каждый разряд числа отображался одним кольцом. Схемы колец вырабатывали сигнал переноса при переходе с 9 на 0 и соединялись между собой, образуя 10-ти разрядные регистры.

Для ускорения выполнения арифметических операций у ENIAC имелись множитель, делитель, извлекающий корня. Компьютер содержал 17468 элек-

тронных ламп, 7200 кристаллических диодов, 4100 магнитных элементов. Потребляемая мощность составляла 174 кВт. Занимаемое пространство составляло около 300 кв.м. Время сложения составляло 200 мкс., умножения - 2800 мкс. и деления - 24000 мкс. С появлением компьютера ENIAC скорость выполнения операций значительно возросла, но программа вводилась путем установки переключателей и коммутации разъемов. Различные блоки соединялись проводами в определенной последовательности, это и задавало последовательность вычислений. При программировании возникало много ошибок и ввод программы требовал значительных затрат времени. Консультантом проекта был известный математик Джон фон Нейман, который предложил записывать алгоритм вычислений в память вместе с данными. Принцип "хранимой программы" был использован при проектировании нового компьютера.

1946 году Джон фон Нейман на основе критического анализа конструкции ENIAC предложил ряд новых идей организации ЭВМ.

В отчете "Предварительное обсуждение логического конструирования электронного вычислительного устройства" Дж. фон Нейман опубликовал основные принципы, которые заключались в следующем:

1. Компьютеры на электронных элементах должны работать не в десятичной, а в двоичной системе счисления.

2. Компьютер управляется программой, составленной из отдельных шагов - команд. Программа должна размещаться в одном из блоков компьютера - в запоминающем устройстве, обладающем достаточной емкостью и скоростью выборки команд.

3. Команды, так же как и числа, с которыми оперирует компьютер, записываются в двоичном коде. Это обстоятельство приводит к следующим важным последствиям:

а) промежуточные результаты вычислений, константы и другие числа могут размещаться в том же запоминающем устройстве, что и программа;

б) числовая форма записи программы позволяет производить операции над величинами, которыми закодированны команды программы;

в) появляется возможность перехода в процессе вычислений на тот или иной участок программы в зависимости от результатов вычислений, условных переходов.

4. Трудности физической реализации запоминающего устройства, быстротейшие которого соответствуют скорости работы логических схем требуют иерархической организации памяти.

5. Арифметическое устройство конструируется на основе схем, выполняющих операцию сложения - создание специальных устройств для выполнения других операций нецелесообразно.

6. Необходимо использовать параллельный принцип организации вычислительного процесса (операции над словами производятся одновременно во всех разрядах слова)

3. Первые электронные компьютеры

В 1937 году американский физик болгарского происхождения профессор федерального колледжа Айовы Джон Ф. Атанасов сформулировал, а в 1939 году опубликовал окончательный вариант своей концепции современной вычислительной машины:

1. В своей работе компьютер будет использовать электричество и достижения электроники.
2. Вопреки традиции его работа будет основана на двоичной, а не на десятичной системе счисления.
3. Основой запоминающего устройства послужат конденсаторы, содержимое которых будет периодически обновляться во избежание ошибок.
4. Расчет будет проводиться с помощью логических, а не математических действий.

В 1939 году Атанасов вместе со своим ассистентом Клиффордом Э.Берри построил и испытал первую вычислительную машину, предназначенную для решения больших систем линейных уравнений. Они решили назвать ее ABC (Atanasoff Berry Computer)

В компьютере ABC были раздельно выполнены блоки арифметического устройства оперативного запоминающего устройства. Арифметическое устройство было выполнено на радиолампах, а оперативное запоминающее устройство на вращающемся барабане с конденсаторами. Использовалась двоичная система счисления. Перевод из десятичного представления в двоичное и обратно осуществлялся схемным путем.

Внешняя память была выполнена на типовом оборудовании для ввода и вывода перфокарт, и это был самый ненадежный блок компьютера. Из-за вступления США в войну и перехода Дж.Атанасова на исследовательскую работу военного значения осталась незавершенной работа над системой ввода/вывода.

В 1943г. в научно-исследовательской лаборатории Почтового департамента Англии был создан программируемый электронный компьютер "Colossus". Проект был засекречен. Секретность была необходима потому, что проектировалось устройство для дешифровки кодов, которыми пользовались вооруженные силы Германии в период Второй Мировой Войны. Математический метод дешифровки был разработан группой математиков, в число которых входил Алан Тьюринг. За 10 месяцев в 1943 году в Лондоне была построена машина Colossus . Разработчики машины - М.Ньюмен и Т.Ф.Флауэрс.

В то время секретные сообщения немецких военных были зашифрованы кодом ENIGMA, который хорошо знали английские шифровальщики, но для

совершенно секретных сообщений немцы использовали другой шифр (шифровальную машину Лоренца), который англичане смогли разгадать только с помощью Colossus. Компьютер не оказал большого влияния на развитие вычислительной техники, т.к. он не был универсальным, кроме того, компьютер был долгие годы засекречен и использовался только военным департаментом вплоть до 1970 года. Компьютер состоял из 1800 электронных ламп и был одним из первых программируемых электронных цифровых компьютеров.

"Colossus" был предназначен для декодирования немецких телеграфных шифровок.

Универсальный электронно-цифровой компьютер ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) был создан в 1945 году. Разработка его велась во время войны и требования диктовали чисто военные проблемы, проект финансировался министерством обороны США. Разрабатывали проект Джон В. Моучли и Дж. Преспер Эккерт в Баллистической исследовательской лаборатории армии США. Источником вдохновения для Моучли послужило устройство, созданное профессором федерального колледжа Айовы Джоном Ф. Атанасовым для решения больших систем линейных уравнений. На основе предоставленного Атанасовым полного описания ABC Джон Моучли и Дж. Преспер Эккерт - построили в 1946 году (в этом году проект был рассекречен) машину, которую принято считать первым в мире универсальным компьютером. То, что ABC является первым в мире универсальным компьютером Атанасову удалось доказать. В 1973 году в США федеральный окружной суд Миннеаполиса объявил недействительным патент Моучли и Эккерта на автоматическую электронную цифровую вычислительную машину, мотивируя тем, что основная концепция была позаимствована из проекта Атанасова. Моучли утверждал, что он не воспользовался предоставленной ему Атанасовым информацией в патенте на ENIAC, но суд не согласился с этим. Однако мир уже привык считать первым электронным компьютером компьютер ENIAC, разработанный Джоном В. Моучли и Дж. Преспером Эккертом.)

Левая сторона машины ENIAC, при входе надпись: "Вход воспрещен всем, кроме проектирующего ENIAC персонала".

ENIAC стал первым полнофункциональным компьютером. В 1946 году состоялась публичная демонстрация работы компьютера. Компьютер был десятизначным, включал 12 десятизначных сумматоров с регистрами для хранения результатов. Для ускорения выполнения арифметических операций у ENIAC имелись умножитель, делитель, извлекающий корня.

Компьютер содержал 17468 электронных ламп, 7200 кристаллических диодов, 4100 магнитных элементов. Потребляемая мощность составляла 174 кВт. Занимаемое пространство составляло около 300 кв.м. Время сложения составляло 200 мкс., умножения - 2800 мкс. и деления - 24000 мкс.

Арифметическое устройство и оперативная память состояли из кольцевых электронных счетчиков. Каждый разряд числа отображался одним коль-

цом. Схемы колец вырабатывали сигнал переноса при переходе с 9 на 0 и соединялись между собой, образуя 10-ти разрядные регистры.

Применение электронных ламп вместо реле обусловило качественный скачок в быстродействии. В компьютере использовалось три типа электронных схем:

- Схемы совпадения, сигнал на выходе которых появлялся только в том случае, если поступили сигналы на все входы.

- Собираательные схемы, сигнал на выходе появляется, если есть сигнал хотя бы на одном входе.

- Триггеры, выполненные на двойных триодах (две трехэлектродные электронные лампы монтировались в одном баллоне)

Машина работала в десятичной системе счисления. Триггерные ячейки использовались во всех блоках арифметического устройства. Для сложения, вычитания, запоминания информации использовалось 20 сумматоров, представляющих собой декадные кольцевые счетчики по десять триггерных колец в каждом, плюс два триггера для хранения знака числа. В каждом из декадных счетчиков применялось около 600 электронных ламп, в том числе 204 диода для запоминания десяти десятичных разрядов числа и знака, остальные лампы предназначались для формирования сигналов, вывода результата и т.д. Каждый триггер был соединен с неоновой индикаторной лампой. Операции сложения и вычитания проводились путем передачи в счетчик числа или его десятичного дополнения из другого блока машины. Передача чисел производилась по группе из одиннадцати проводников, по одному на каждый десятичный разряд и один проводник для передачи знака числа. Число импульсов в каждом проводнике соответствовало значению передаваемой цифры.

Для перемножения десятиразрядных чисел в множительном устройстве использовалось до шести декадных счетчиков.

С появлением компьютера ENIAC скорость выполнения операций значительно возросла, но программа вводилась путем установки переключателей и коммутации разъемов. Такой способ ввода программы требовал разработки сложных схем управления для арифметических устройств.

Программа задается при помощи перемычек, соединяющих блоки компьютера в определенном порядке.

Различные блоки соединялись проводами в определенной последовательности, это и задавало последовательность вычислений. При программировании возникало много ошибок и ввод программы требовал значительных затрат времени. Для решения каждой новой задачи требовалась новая схема соединений. В зависимости от сложности задачи этот процесс занимал от 30 минут до 8 часов.

Для запоминания информации использовались статические триггеры на ламповых триодах, т.е. была сделана попытка построить все внутренние устройства на элементах одного типа. Это было приемлемо лишь на первых порах. Достаточно емкое запоминающее устройство потребовало бы огромного

количества электронных ламп. Поэтому емкость памяти была мала и составляла всего 20 чисел.

Программа работы компьютера оставалась жесткой, только вводилась, для достижения большего быстродействия не с перфокарт или перфолент, а со специальных коммутационных досок при помощи переключателей и штеккеров.

ENIAC можно считать скорее техническим решением, чем логическим или архитектурным на пути создания электронных вычислительных систем. Конструкция компьютера во многом повторяла конструкцию электромеханических устройств.

Роль ENIAC в развитии вычислительной техники определяется прежде всего тем, что это была первая действующая машина, в которой для выполнения арифметических и логических операций, а так же для запоминания информации использовались электронные схемы.

Несмотря на недостатки в конструкции машины, применение электронных ламп позволило достичь скоростей, о которых нельзя было и мечтать при использовании электромеханических и механических элементов.

Консультантом проекта ENIAC был известный математик Джон фон Нейман.

В 1946 году Нейман на основе критического анализа конструкции ENIAC предложил ряд новых идей организации ЭВМ, в том числе концепцию хранимой программы, он предложил записывать и хранить в памяти алгоритм вычислений вместе с данными. Принципы Дж.фон Неймана оказались вначале простыми и очевидными и лишь в дальнейшем они приобрели статус фундаментальных положений, надолго определивших направление развития вычислительной техники. В результате реализации идей фон Неймана была создана архитектура ЭВМ, во многих чертах сохранившаяся до настоящего времени. Принцип "хранимой программы" был использован при проектировании нового компьютера, получившего название EDVAC в Муровской электротехнической школе в Пенсильвании. Работа шла медленно и компьютер EDVAC Пенсильванского университета был пущен в эксплуатацию только в 1952 году. В компьютере применялась двоичная арифметика, память была создана на ультразвуковых ртутных линиях задержки, емкость памяти составляла 1024 44-х разрядных слова. Операции выполнялись поразрядно, начиная с младшего разряда числа.

В отчете "Предварительное обсуждение логического конструирования электронного вычислительного устройства" Дж. фон Нейман опубликовал основные принципы, которые заключались в следующем:

1. Компьютеры на электронных элементах должны работать не в десятичной, а в двоичной системе счисления.

2. Компьютер управляется программой, составленной из отдельных шагов - команд. Программа должна размещаться в одном из блоков компьютера - в запоминающем устройстве, обладающем достаточной емкостью и скоростью выборки команд.

3. Команды, так же как и числа, с которыми оперирует компьютер, записываются в двоичном коде. Это обстоятельство приводит к следующим важным последствиям:

а) промежуточные результаты вычислений, константы и другие числа могут размещаться в том же запоминающем устройстве, что и программа;

б) числовая форма записи программы позволяет производить операции над величинами, которыми закодированы команды программы;

в) появляется возможность перехода в процессе вычислений на тот или иной участок программы в зависимости от результатов вычислений, условных переходов.

4. Трудности физической реализации запоминающего устройства, быстрдействие которого соответствует скорости работы логических схем требует иерархической организации памяти.

5. Арифметическое устройство конструируется на основе схем, выполняющих операцию сложения - создание специальных устройств для выполнения других операций нецелесообразно.

6. Необходимо использовать параллельный принцип организации вычислительного процесса (операции над словами производятся одновременно во всех разрядах слова)

Принцип использования двоичной системы счисления расширил набор физических приборов и явлений, которые можно использовать для представления информации в операционных и запоминающих устройствах компьютера. Две цифры для отображения "1" и "0" могут отображаться состоянием любой двухстабильной системы. Например, открытое и закрытое состояние электронного ключа (ламповой схемы), два состояния триггера, намагниченным или ненамагниченным состоянием ферромагнитной поверхности. Ну, а в настоящее время набор электронных приборов и физических явлений, позволяющих получить два состояния для записи и обработки информации стал намного шире, но об этом поговорим позже. В двоичной системе счисления возможно построение логических схем и реализация функций алгебры логики или Булевой алгебры.

Принцип хранимой в памяти программы, представленной в двоичном коде, позволяет производить не только вычисления, направляя команду в устройство управления, а данные в арифметическое устройство, но и преобразовывать сами команды, например в зависимости от результатов вычислений, используя для преобразования коды команд и оперируя с ними, как с данными.

Принцип реализации условных переходов позволяет осуществлять программы с циклическими вычислениями с автоматическим выходом из цикла. Благодаря принципу условного перехода сокращается число команд, в программе, так как не требуется повторять одинаковые участки программы.

Принцип иерархической организации памяти был сформулирован в связи с тем, что с самого первого компьютера с сохраняемой программой существовало несоответствие между быстрдействием арифметического устрой-

ства и оперативной памяти. Противоречия бы не существовало, если выполнить память на тех же элементах, что и арифметическое устройство, но такая память получалась слишком дорогой, кроме того, непомерно увеличивалось количество радиоламп, что заметно снижало надежность компьютера. Иерархическое построение оперативного запоминающего устройства позволяет иметь быстродействующую память небольшого объема только для данных и команд, подготовленных к выполнению. Все остальное хранится в запоминающем устройстве более низкого уровня, для этого стали использоваться появившиеся вскоре магнитные носители информации.

Параллельный принцип организации вычислений позволяет значительно увеличить скорость вычислений, хотя это и приводит к более значительным затратам оборудования.

Группа Морриса Уилкса Кембриджского университета Англии опередила конструкторов EDVAC Пенсильванского университета США и создала первый электронно-цифровой компьютер с сохраняемой программой EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer), первый компьютер нового типа. В названии компьютера отражен тот факт, что в компьютере использовались ртутные линии задержки.

В 1949 году на первом электронно-цифровом компьютере с сохраняемой программой EDSAC была успешно выполнена первая программа.

В компьютере EDSAC для согласования работы отдельных блоков использовалась синхронизация

Учитывая неэкономичность и громоздкость запоминающего устройства в машине ENIAC, еще в 1944 году конструктор машины ENIAC Дж. Эккерт предложил новый тип запоминающего устройства - память на ультразвуковых ртутных линиях задержки. Ртутные линии задержки в те годы широко применялись в радиолокации. Впервые память на ультразвуковых ртутных линиях задержки была применена в компьютере EDSAC. Для поддержания постоянной температуры запоминающее устройство помещалось в термостат. Такая память стала использоваться в первых компьютерах с хранимой в памяти программой. Это наложило отпечаток и на конструкцию и на вычислительные возможности компьютера. Запоминающее устройство состояло из 32 ртутных трубок, по 576 двоичных разрядов в каждой трубке. Частота синхроимпульсов составляла 526 кГц. Среднее время выборки одного слова равнялось 550 мксек. Слово выбиралось последовательно, начиная с младших разрядов, разряд за разрядом, поэтому не было необходимости вводить параллельную обработку всего слова. Быстродействие всей системы определяла скорость выборки слов. Этим объясняется то, что в компьютере применялось арифметическое устройство последовательного типа. Оно состояло из одноразрядного сумматора и регистров для хранения операндов и результата на ртутных линиях задержки. Машины такого класса не могли выполнять больше 1-2 тысяч операций в секунду. Все операции в машине выполнялись в двоичной системе счисления. Числа записывались в формате с плавающей точкой. Система команд включала 19 операций. Команды имели одноадрес-

ную структуру. Для ввода команд и данных использовалась 5-ти канальная перфолента. Ввод данных с перфоленты производился с помощью фотоэлектрического устройства. Всего в машине было использовано 24500 электронных ламп. Результаты выводились на телеграфный аппарат. В процессе эксплуатации компьютера EDSAC был освоен метод использования библиотечных подпрограмм, разработанный М.Уилксом, Д.Уиллером и С.Гиллом. Опыт использования программного обеспечения в компьютере EDSAC был описан М.Уилксом, Д.Уиллером, С.Гиллом в книге "Составление программ для электронных счетных машин". Кроме того, в этом компьютере впервые стала применяться программа-транслятор (assembler), что позволяло перейти от программирования в машинных кодах к программированию на специальных языках программирования.

В это время группа Фредди Вильямса приступала к проектированию более мощных компьютеров Manchester Mark1 и Ferranti Mark1 (1948-51годы) на электронных запоминающих устройствах и с хранимой в памяти программой. Все предшествующие разработки проводились для создания наиболее совершенного проекта компьютера Ferranti.

Проект Manchester Mark1, возглавляемый Томом Килбурном, был закончен к ноябрю 1948, и машина была полностью введена в эксплуатацию в октябре 1949 года, тем временем детальный проект был уже передан для сборки фирме Ferranti.

В начале 1951 года опытный образец Manchester Mark 1 был заменен компьютером Ferranti Mark1, предназначенным для нужд университета и внешних пользователей.

Мощность Ferranti Mark1 превышала потребности не только отдела, но даже университета и поэтому выделялось время для решения задач правительственными учреждениями, другим университетам, ассоциации научных исследований, индустриальным фирмам. В среднем компьютер работал 100 часов в неделю.

Первые компьютеры использовались для расчетов в ядерной физике, для проектирования и запуска ракет, поэтому сведения о новых разработках были закрыты и разработка вычислительных машин в нашей стране проводилась самостоятельно, с незначительным влиянием Запада до начала 60-х годов, когда компьютеры стали массовой продукцией, рекламируемой фирмами производителями. В 1950 году в Советском Союзе была создана первая отечественная электронная цифровая машина МЭСМ (Малая Электронная Счетная машина), разработанная институтом электротехники АН УССР под руководством академика С.А.Лебедева.

Малая электронная счетная машина - была первой отечественной универсальной ламповой ЭВМ в СССР (название "компьютер" не было принято в те времена). Начало разработки - 1948 г, 1950г. - официальный ввод в эксплуатацию. В 1952-1953 гг. МЭСМ была самой быстродействующей и практически единственной регулярно эксплуатируемой ЭВМ в Европе.

Принципы построения МЭСМ были разработаны С.А. Лебедевым независимо от аналогичных работ на Западе. Работа по созданию машины носила научно-исследовательский характер и имела целью экспериментальную проверку общих принципов построения универсальных ЦВМ (цифровых вычислительных машин).

Быстродействие ЭВМ составляло 50 операций в 1 секунду; емкость оперативного ЗУ - 31 число и 63 команды; представление чисел - 16 двоичных разрядов с фиксированной перед старшим разрядом запятой; команды трех-адресные, длиной 20 двоичных разрядов (из них 4 разряда - код операции); рабочая частота - 5 килогерц; машина имела также постоянное (штеккерное) запоминающее устройство на 31 число и 63 команды; была предусмотрена также возможность подключения дополнительного запоминающего устройства на магнитном барабане, емкостью в 5000 слов. Оперативное запоминающее устройство было построено на триггерных регистрах. Арифметическое устройство параллельного действия, чем в основном, и объясняются сравнительно большие аппаратные затраты (только в ОЗУ было использовано 2500 триодов и 1500 диодов). Потребляемая мощность составляла 15 кВт, машина размещалась на площади 60 кв.м.

Использование электронных схем в производстве вычислительных устройств привело к качественному скачку, позволившему на несколько порядков повысить производительность автоматических вычислений. Применение быстродействующих элементов потребовало произвести изменения и в структуре вычислительных устройств. Производительность первого электронного компьютера ENIAC примерно на два порядка превышала производительность программно управляемых релейных устройств, таких как MARK-II и Белл-5. Однако возможности электронных схем не были использованы в первом электронном компьютере полностью. Его структура копировала электромеханические структуры, а штеккерное программирование делало неэффективным процесс ввода программы.

Первые электронные компьютеры с хранимой программой, такие как EDSAC, позволили повысить производительность электронных компьютеров еще приблизительно на два порядка, хотя это были компьютеры последовательного действия. Операции выполнялись последовательно разряд за разрядом. Эта организация была связана со спецификой работы запоминающих устройств на ртутных линиях задержки.

В Советском Союзе была создана первая регулярно эксплуатируемая в Европе электронная вычислительная машина МЭСМ. И, хотя производительность машины не была высока, на ней, как на макете исследовались основные принципы построения вычислительных устройств параллельного типа, использованные при создании большой электронной счетной машины - БЭСМ.

История развития компьютеров напоминает развитие живых организмов: от простого к сложному и вновь к простому на новом витке развития.

Первые электронные компьютеры выполняли операции над машинными словами последовательно разряд за разрядом, что было связано с устройством памяти на ртутных линиях задержки. Создание запоминающих устройств на электронно-лучевых трубках привело к созданию арифметических устройств параллельного действия, в которых операция осуществляется одновременно над всеми разрядами слова.

Совмещение во времени операций над данными и операций ввода/вывода привело к более эффективному использованию оборудования. Дальнейшее развитие параллельной обработки информации привело к мультипрограммной работе компьютера, который выполняет параллельно несколько программ. При этом процессор не простаивает, когда одна из программ работает, например, с устройством ввода или вывода, процессор выполняет участок кода другой программы. Дальнейшим развитием мультипрограммирования стало коллективное использование дорогостоящих универсальных компьютеров несколькими пользователями, каждый из пользователей работал за терминалом, связанным с компьютером. Работа велась в режиме разделения времени. На новом витке развития создание локальных и глобальных вычислительных компьютерных сетей позволило производить обмен громадными потоками информации, а также производить объединение вычислительных мощностей компьютеров для наращивания вычислительной мощности системы. История развития вычислительной техники показывает, что основным критерием ее развития является расширение круга практически решаемых задач и наращивание вычислительной мощности. К качественному скачку в развитии вычислительной техники приводило каждое изменение в технологии производства электронных схем, параллельно происходило развитие структуры и функциональных возможностей вычислительных систем.

По этим принципам можно выделить четыре этапа развития вычислительной техники, четыре поколения компьютеров.

Путь к пятому поколению должен проложить переход на новую элементную базу, однако возможности современной электронной базы еще далеко не исчерпаны.

Источники информации:

1. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. Развитие вычислительных машин.- М., Наука, 1974.- 399с.

2.<http://www.scl.ameslab.gov/abc/abc.html>

3. John W. Mauchly and the Development of the ENIAC Computer. <http://www/library.upenn.edu/spesial>

4.[http:// web soi.city.ac.uk/archive](http://web soi.city.ac.uk/archive)

5.[http:// www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac](http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac)

6.[http:// www.computer50.org/mark1](http://www.computer50.org/mark1)

7.[http:// www.club66mhz.vl.ru](http://www.club66mhz.vl.ru)

8.<http://www.bashedu.ru/konkurs/tarhov/russian>

- 9.http://www.computer_museum.ru/History_CCCP
- 10.<http://www.computerhistory.org/timeline>
История вычислительной техники от 1945 до 1990гг.
11. Timeline of Computer History <http://www.computerhistory.org/timeline/topics/computers.page>
12. Поколения компьютеров.
Сравнение разных поколений компьютеров.
<http://pokolenia.ok.ru/Explorer/hystory.htm>
<http://pokolenia.ok.ru/Explorer/sravnen.htm>
13. Физико-математическая общеобразовательная школа-лаборатория №444 <http://schools.techno.ru/sch444/webr>
14. Chronology of Digital Computing Machines (to 1952)
<http://kbs.cs.tu-berlin.de/~jutta/time/msb-chronology-of-dcm.html>
15. Mark Brader. A Chronology of Digital Computing
<http://www.davros.org/misc/chronology.html>
16. The Abwehr Enigma
<http://members.aol.com/nbrass/abwehr.htm>
17. Codebreaking and Secret Weapons in World War II
<http://hometown.aol.com/nbrass/1enigma.htm>
18. Manchester Baby Computer
<http://www.computer50.org/mark1/new.baby.html>

4. ПЕРВОЕ ПОКОЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОВ

Первое поколение компьютеров создавалось на лампах в период с 1944 по 1954 гг. В этих компьютерах выполняемая программа уже хранилась в памяти и обработка данных производилась не последовательно по одному двоичному разряду, а параллельно во всех разрядах машинного слова. Применение электронных ламп позволило повысить скорость вычислений уже в первых несовершенных моделях на три прядка по сравнению с автоматическими релейными машинами, а в более совершенных на четыре порядка. Программа составлялась уже не на машинном языке, а на языке Ассемблера. Применялась память на магнитных сердечниках, вытеснившая в дальнейшем запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках и ртутных ультразвуковых линиях задержки. Наиболее характерным типом компьютеров первого поколения являются компьютеры на электронных лампах и электронно-лучевых трубках. Компьютеры первого поколения создавались как универсальные и применялись, в основном для решения научно-технических задач, но не имели еще системного программного обеспечения. В компьютерах первого поколения вручную выполнялись операции ввода программы и вывода результатов.

4. Первое поколение компьютеров

Первое поколение компьютеров создавалось на электронных лампах в период с 1944 по 1954 гг. Это время становления архитектуры компьютеров фон-Неймановского типа, разработки и совершенствования структуры компьютеров, совершенствования программного обеспечения, развития методов и языков программирования.

Трехэлектродная электронная лампа была изобретена в 1906г. Лидом Фостером.

В 1918 году русским ученым М.А.Бонч-Бруевичем был изобретен триггер, электронное устройство, имеющее два состояния и переключающееся из одного состояния в другое под действием электрических сигналов. Это позволило заменить механические реле электронными.

Создать электронный компьютер, в принципе, можно было уже в 1919 году, но понадобились годы развития ламповой электроники, развития схемотехники, прежде чем ламповые электронные схемы были применены в компьютерах. Первые электронные счетчики были созданы в тридцатые годы 20-го столетия для счета заряженных частиц в экспериментах по ядерной физике. Механические счетчики не справлялись с этой работой из-за низкой скорости счета. Выполнены были первые электронные счетчики на газоразрядных лампах. В 1930 году в Англии Вилли Вильямс разработал электронные счетчики на тиратронах (газоразрядных трехэлектродных лампах). К началу сороковых годов получили широкое развитие радиотехника, телевидение и радиолокация, электронная контрольно-измерительная техника. Был накоплен опыт в проектировании электронных схем и появилась возможность применения электронных приборов в вычислительных устройствах.

В 1950 году Алан М.Тьюринг, один из основоположников компьютерной технологии, задался вопросом, сможет ли когда-нибудь машина мыслить. Он предложил рассмотреть обычную цифровую вычислительную машину и поставил вопрос так: можно ли, увеличив объем ее памяти и быстродействие, а также снабдив ее нужной программой, добиться того, чтобы она могла выступать в роли человека? Вот его ответ: "Я полагаю, что вопрос "Могут ли машины мыслить?" лишен смысла и поэтому не заслуживает обсуждения. Тем не менее я уверен, что к концу нынешнего столетия и в значениях тех слов, которыми мы пользуемся, и в мировоззрении образованного человека произойдут такие перемены, что можно будет говорить о думающих машинах, не встречая возражений" (Алан Тьюринг,1950).

Для реализации принципа хранимой программы в компьютерах первого поколения необходимо было наличие быстродействующей и емкой памяти, поэтому каждое достижение в области создания запоминающих элементов, каждая возможность наладить изготовление запоминающего устройства нового типа приводили (и приводят) к новому скачку в повышении производительности вычислительной системы. В компьютерах первого поколения эти

изменения связаны с использованием сначала электронно-лучевых трубок как элементов памяти, затем заменой их памятью на ферритовых сердечниках.

В США первые компьютеры с хранимой программой были введены в эксплуатацию в 1950 году.

В мае началась эксплуатация компьютера SEAC. Компьютер был разработан лабораторией электронных вычислительных машин Национального бюро стандартов. Компьютер имел арифметическое устройство последовательного действия, двоичные числа имели 45 разрядов, частота синхроимпульсов составляла 1МГц. SEAC был одним из первых компьютеров, в котором использовались полупроводниковые диоды. Для его построения было использовано 750 электронных ламп и 10500 германиевых диодов. Запоминающее устройство на 64 ртутных линиях задержки позволяло записать 512 чисел по 45 разрядов. Для ввода данных использовалась клавиатура, для вывода - телетайпное печатающее устройство и устройство ввода и вывода на перфоленту. В дальнейшем компьютер был усовершенствован. Вдвое была увеличена память на ртутных линиях задержки и добавлен блок памяти на трубках Вильямса (1024 числа). Ввод и вывод производился на электрические пишущие машинки, управляемые перфолентой. Этот компьютер содержал уже 2300 ламп и 24000 диодов. еще в 1962 году компьютер успешно эксплуатировался в Национальном бюро стандартов США. В компьютере SEAC впервые были применены динамические триггеры.

Почти одновременно был введен в эксплуатацию компьютер BINAC, разработанный по проекту Дж.Эккерта и Дж.Моучли. Целью проекта было создание компьютера с высокой надежностью вычислений путем дублирования внутренних устройств. Блоки компьютера параллельно осуществляли вычисления, проверка правильности осуществлялась сравнением результатов. Это был компьютер последовательного действия с одноразрядными сумматорами комбинационного типа и памятью на ртутных линиях задержки. Его отличительной особенностью была высокая тактовая частота (4МГц.)

Значительное влияние на развитие вычислительной техники оказал компьютер IAS (1952г.), созданный под руководством Дж.Неймана в Принстонском институте перспективных исследований по заказу управления вооружения армии США.

В IAS был впервые реализован принцип асинхронного управления. При этом время выполнения одной операции определяется только временем, затрачиваемым устройством на ее реализацию, а не определяется длительностью такта, которая устанавливается по времени выполнения самой длительной операции, как в синхронных устройствах управления. В результате возрастает скорость выполнения операций в компьютере.

Наряду с асинхронным принципом работы в компьютере IAS применены арифметическое и запоминающее устройства параллельного типа. Все это обеспечило рекордно высокую скорость вычислений. Компьютер оперировал с 40-разрядными двоичными числами. Операция сложения выполнялась за

52мксек., умножения за 790-990мксек. Компьютер отличался компактной и экономической конструкцией, в нем использовалось всего 2300 электронных ламп (в основном двойных триодов).

В 1951 году в Англии появились первые серийные компьютеры Ferranti Mark-1 и LEO-1. А через 5 лет фирма Ferranti выпустила ЭВМ Pegasus, в которой впервые нашла воплощение концепция регистров общего назначения.

В том же 1951 году офицер ВМФ США и руководитель группы программистов, в то время капитан (в дальнейшем единственная женщина в ВМФ - адмирал) Грейс Хоппер разработала первую транслирующую программу, которую она назвала компилятором (фирма Remington Rand). Эта программа производила трансляцию на машинный язык всей программы, записанной в удобной для обработки алгебраической форме.

К передовым вычислительным машинам первого поколения можно отнести компьютер Массачусетского технологического института - Whirlwind1, в котором впервые была использована память на магнитных сердечниках и компьютер ATLAS Манчестерского университета. В этих компьютерах выполняемая программа уже хранилась в памяти и, в отличие от EDVAC, обработка данных производилась не последовательно по одному двоичному разряду, а параллельно во всех разрядах машинного слова. В компьютере ATLAS впервые была предпринята попытка использования одноуровневой памяти, по существу "виртуальной памяти" и индексных регистров для более простой адресации.

В 1945 году в лаборатории сервомеханизмов Массачусетского технологического института (Кембридж, штат Мериленд) были начаты работы по применению вычислительной техники для моделирования работы самолетов. К 1947 году был создан проект компьютера Whirlwind, а в марте 1951 года компьютер был введен в эксплуатацию.

В 1951 году Джей Форрестер запатентовал запоминающее устройство на магнитных сердечниках. Впервые такая память применена в компьютере Whirlwind-1 (Вихрь).

В Whirlwind1 впервые была применена не только память на магнитных сердечниках, но и, тоже впервые, была использована универсальная шина. При помощи универсальной шины связи между различными устройствами компьютера осуществляются более просто и надежно. В качестве систем ввода-вывода использовались два устройства: электронно-лучевая трубка Вильямса и пишущая машинка с перфолентой (флексорайтер).

Одной из основных целей проекта было создание компьютера с максимально высоким быстродействием. Здесь был частично применен асинхронный принцип управления, что позволило достичь высокого быстродействия (20 тысяч операций в секунду) при сравнительно небольшой разрядности чисел (16 двоичных разрядов). Вначале память была выполнена на электронно-лучевых трубках новой конструкции в запоминающем устройстве. В отличие от ранее использовавшихся трубок Вильямса, лучевые трубки Дж.Форрестера и А.Хэфа не требовали периодической регенерации электро-

статического заряда, в них использовался поддерживающий луч дополнительной электронно-лучевой пушки. Емкость запоминающего устройства составляла 1024 числа. Однако, в процессе эксплуатации запоминающее устройство было заменено памятью на магнитных сердечниках.

Конструктивно память состояла из двух кубов, каждый из которых содержал 32x32x17 сердечников. Емкость каждого куба составляла 1024 числа, каждое слово было 17 разрядным, один разряд использовался для контроля правильности при записи и считывании по контролю четности. Оперативная память на магнитных сердечниках была разработана Дж.Форрестером и У.Папяном и нашла в дальнейшем широкое применение в вычислительной технике.

В 1951 году Джон Моучли и Дж. Преспер Эккерт создали универсальный автоматический компьютер UNIVAC (Universal Automatic Computer). Он мог хранить в памяти 1000 слов, 12000 цифр со временем доступа 400 мкс. На магнитной ленте могло храниться 120000 слов и 1440000 цифр. Устройства ввода/вывода работали с носителями на магнитных лентах и перфокартах. Операции сложения выполнялись за 120 мкс., умножения за 1800 мкс., деления за 3600 мкс.

Это был первый серийный компьютер с хранимой программой, проект разрабатывался с 1947 года и до 1951 года было создано пять экземпляров компьютеров. Всего было выпущено 48 таких компьютеров. Разработкой занималась небольшая фирма "Эккерт-Моучли Компьютер", основанная в 1947 году. В 1950 году эта фирма влилась в крупную фирму конторского машиностроения "Ремингтон Рэнд", которая и организовала серийный выпуск компьютеров.

UNIVAC предназначался для обработки больших массивов коммерческой информации. Первый образец машины UNIVAC-1 был построен для бюро переписи США. Одним из внушительных достижений компьютера UNIVAC было предсказание победы на президентских выборах 1952 года Д. Эйзенхауэра.

Синхронный, последовательного действия компьютер UNIVAC-1 повторял структуру компьютеров ENIAC и EDVAC. Работал компьютер на тактовой частоте 2,25 МГц и содержал около 5000 электронных ламп. Внутреннее запоминающее устройство имело емкость 1000 12-разрядных десятичных чисел и было выполнено на 100 ртутных линиях задержки. Этот компьютер интересен тем, что он был нацелен на сравнительно массовое производство без изменения архитектуры и особое внимание было уделено периферийной части (средствам ввода-вывода). Компьютер работал не в двоичной, а в двоично-кодированной системе счисления. Для представления информации использовался семиразрядный двоичный код. Шесть разрядов служили для кодирования десятичных цифр, букв английского алфавита, а один разряд предназначался для контроля на четность. Выбор системы кодирования определялся характером информации и небольшим количеством операций над данными. Машинное слово состояло из 11 семиразрядных кодов и одного

разряда, отведенного под знак числа. Это был первый компьютер с системой контроля правильности передачи и обработки информации. Для контроля правильности выполнения операций дублировались отдельные схемы (счетчик команд, регистр арифметического устройства и др.) и результат выполнения операций в задублированных схемах проверялся путем сравнения. Последовательный принцип работы позволял использовать дублирование без больших затрат оборудования. Коммерческий успех UNIVAC оказал влияние на техническую политику ведущих зарубежных фирм, приступивших к серийному выпуску компьютеров.

В июне 1951 года в Великобритании на конференции в Манчестерском университете Морис Уилкс представил доклад "Наилучший метод конструирования автоматической машины", который стал пионерской работой по основам микропрограммирования. Свою идею микро программирования Морис Уилкс реализовал лишь в 1957 году при создании машины EDSAC2.

М.Уилкс совместно с Д.Уиллером и С.Гиллом в 1951 году написали первый учебник по программированию "Составление программ для электронных счетных машин" (русский перевод был сделан в 1953 году).

В 1952 году (в том же году, что и EDVAC) была создана первая российская ЭВМ общего назначения семейства БЭСМ (большая электронная счетная машина), разработанная Институтом точной механики и вычислительной техники Академии наук СССР, ориентированная на решение сложных задач науки и техники.

В этой трехадресной машине параллельного действия на электронных лампах (4000 ламп) была использована двоичная система счисления с плавающей точкой. По структуре, конструкции и характеристикам машина стояла на уровне лучших зарубежных компьютеров, "БЭСМ" оперировала с 39-разрядными данными со средней скоростью 10 тысяч операций в секунду. Вначале в ней использовалось оперативное запоминающее устройство на электронно-акустических линиях задержки, замененное в дальнейшем устройством на электронно-лучевых трубках, а затем на ферритовых сердечниках, емкостью 1024 слова с произвольной выборкой. Внешнее запоминающее устройство было реализовано на двух магнитных барабанах по 5120 слов (скорость считывания с барабана - 800 чисел в 1 секунду) и магнитной ленте (120 тысяч чисел). В качестве устройств ввода использовалась перфокарта, для вывода - магнитная лента с последующим печатанием на специально разработанном быстродействующем фотопечатающем устройстве, применяемом для выдачи больших массивов данных. Кроме того, имелось электромеханическое печатающее устройство для печати контрольных значений и результатов в случае их малого количества по сравнению с объемом вычислений (скорость работы - 20 чисел в секунду).

Интересными особенностями структуры машины было введение местного управления операциями, выходящими по времени за рамки стандартного цикла, а также автономное управление при переходе на подпрограммы. Машина содержала долговременное запоминающее устройство для подпро-

грамм, часть которого была сменной. Для контроля применялись как серия тестов, так и специально разработанные методы логического контроля.

Созданная в том же году, что и EDVAC, БЭСМ превосходила EDVAC по многим параметрам. В БЭСМ были осуществлены решения, вошедшие в практику построения компьютеров только через несколько лет. Например, чтобы уменьшить диспропорцию между быстродействием вычислений и медленным выводом результатов на печать, было разработано устройство, дешифрирующее запись на магнитной ленте с отображением десятичных цифр результата на неоновых лампах. Вывод данных осуществлялся фотографированием результата. Скорость выдачи данных с использованием магнитной ленты намного возрастала. Арифметико-логическое устройство БЭСМ, выполненное на ламповых логических схемах, обладало рекордным быстродействием (10000 оп/сек.), которое могло быть реализовано только при переходе к технологиям памяти, позволявшим параллельное считывание всех разрядов слова. Доводка и совершенствование БЭСМ продолжалось пока в 1955 году не была создана серийная конструкция БЭСМ1.

Несколько позднее было создано специализированное конструкторское бюро - СКБ-245 Министерства машиностроения и приборостроения под руководством Ю. Я. Базилевского и Б. И. Рамеева для конструирования серийной ЭВМ. В 1953г. ЭВМ "Стрела" была принята Государственной комиссией в эксплуатацию, а в 1954г. начался серийный выпуск ЭВМ. Серия оказалась очень маленькой: всего за четыре года было выпущено семь машин. Одна из машин проработала 15 лет в Энергетическом институте АН СССР.

В ЭВМ "Стрела" осуществлялось параллельное представление десятиразрядных чисел с плавающей запятой в диапазоне 10 ± 19 . Структура команд была трехадресной. Арифметическое устройство с полным составом арифметических и логических операций (15 видов). Разрядность составляла 43 двоичных разряда. Внутреннее оперативное запоминающее устройство емкостью до 2048 слов было построено на 43 специальных запоминающих электронно-лучевых трубках. Внешнее запоминающее устройство (на магнитной ленте емкостью 200 тысяч слов) состояло из двух блоков. Постоянное запоминающее устройство со сменными коммутируемыми ячейками хранило 16 стандартных программ и 256 констант. Ввод информации в машину осуществлялся с массивов перфокарт и с магнитной ленты, вывод - на магнитную ленту, перфоратор карт и широкоформатное печатающее устройство. Арифметическое устройство высокой надежности было построено на большой диодной трехходовой матрице. На два входа матрицы подавались операнды, на третий вход - код операции, на выходной шине матрицы автоматически устанавливался код результата.

Построенная на 6000 электронных лампах, ЭВМ "Стрела" имела среднюю производительность вычислений 2 тысячи трехадресных операций с плавающей точкой в секунду, полезное машинное время работы доходило до 18 часов в сутки. "Стрела" отличалась гибкой системой программирования. Различные виды групповых арифметических и логических операций, услов-

ные переходы и сменяемые стандартные программы, а также системы контрольных тестов и организующих программ позволяли создавать библиотеки эффективных программ различного направления, осуществлять автоматизацию программирования и решение широкого круга математических задач.

В 1953 году появился первый компьютер фирмы IBM - IBM 701 - синхронный, параллельного действия, содержащий 4000 электронных ламп и 1200 германиевых диодов. Объем оперативной памяти составлял 2048 слов. Время сложения составляло 84 мкс., умножения - 204 мкс., деления - 216 мкс. В 1954 году 18 компьютеров были поставлены главному заказчику - американскому правительству, из них три были поставлены в атомные лаборатории, восемь в авиакомпаниях, три в большие корпорации, две в правительственные агентства и две на флот. В начале 1955 года еще одна машина была направлена в американское бюро погоды.

В 1955 году был выпущен ламповый компьютер IBM 704 с отличительными чертами компьютера второго поколения, он имел индексный регистр, аппаратные средства для выполнения операций с плавающей запятой и первый вариант операционной системы. Параллельно с развитием структуры компьютера развивается программное обеспечение в виде пакетов стандартных прикладных программ.

В этом же году фирма Remington Rang выпустила компьютер UNIVAC-1103, который работал в 50 раз быстрее UNIVAC-1. Позже в UNIVAC-1103 впервые были применены программные прерывания.

Применение электронных ламп позволило повысить скорость вычислений уже в первых несовершенных моделях на три прядка по сравнению с автоматическими релейными машинами, а в более совершенных на четыре порядка. На первых порах программирование заключалось в составлении программ на языке машины, использовались методы программирования в символических обозначениях. Программа в последних ламповых компьютерах составлялась уже не на машинном языке, а на языке Ассемблера. С 1954 года вводится язык программирования ФОРТРАН. Применялась память на магнитных сердечниках, вытеснившая в дальнейшем запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках и ртутных ультразвуковых линиях задержки. Были введены индексные регистры, и команды установки заданного значения индексного регистра, инкремента и декремента, позволившие значительно упростить процесс программирования и длину программ. В командах можно было указывать адрес операнда непосредственно или использовать команды, формирующие адрес при помощи индексного регистра. В большинстве машин первого поколения индексный регистр отсутствовал. Компьютеры первого поколения создавались как универсальные и применялись, в основном, для решения научно-технических задач, но не имели еще системного программного обеспечения.

Типичные представители ЭВМ первого поколения среди отечественных - МЭСМ, Минск1, Урал1, Урал2, Урал4, М1, М3, БЭСМ2, Стрела и др. Они были значительных размеров, потребляли большую мощность, имели невы-

сокую надежность работы и слабое программное обеспечение. Быстродействие их не превышало 2-3 тыс. операций в секунду, емкость оперативной памяти - 2048 машинных слов, длина слова - 48 разрядов.

Этот период явился началом коммерческого применения электронных вычислительных машин для обработки данных. В вычислительных машинах этого времени использовались электровакуумные лампы и внешняя память на магнитном барабане. Они были опутаны проводами и имели время доступа 1×10^{-3} с. Производственные системы и компиляторы пока не появились. В конце этого периода стали выпускаться устройства памяти на магнитных сердечниках. Надежность ЭВМ первого поколения была еще крайне низкой.

Характеризуя период первого поколения, необходимо отметить, что чисто ламповыми были только первые компьютеры этого периода. Примерно с 1950 года начинается замена ламповых диодов полупроводниковыми. Компьютер SEAC (США, 1950г.) был одним из первых компьютеров, в котором использовались полупроводниковые диоды.

Источники информации:

1. И.А.Апокин, Л.Е.Майстров. Развитие вычислительных машин.- М., Наука, 1974.- 399с.

2. <http://www.computerhistory.org/timeline/topics/computers.page>
Timeline of Computer History

3. <http://www.computer50.org/kgill/atlas/atlasbook.html>
The Atlas.

4. <http://www.computerhistory.org/timeline>
История вычислительной техники от 1945 до 1990гг.

5. ВТОРОЕ ПОКОЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОВ

Второе поколение компьютеров создавалось в период с 1955 по 1964гг. Успехи полупроводниковой технологии привели к смене элементной базы. Запоминающие устройства на магнитных сердечниках, магнитных барабанах и магнитных лентах вытеснили полностью запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках и ртутных ультразвуковых линиях задержки, применяемых в компьютерах первого поколения, используется оперативная память на феррит-диодных ячейках. Во втором поколении применение запоминающих устройств на магнитных лентах позволяло записывать на магнитной ленте несколько программ, которые автоматически выполнялись в компьютере одна за другой и в той же последовательности результаты автоматически записывались на другую ленту. Этот вид обработки получил название пакетной обработки, при которой пользователь не имел прямого доступа к компьютеру.

В связи с переходом на ферриты в схемах оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) произошло удешевление ОЗУ и системы управления памятью, увеличился объем оперативной памяти. В арифметическое устройство стали встраиваться сверхбыстрые запоминающие устройства — регистры на транзисторах.

Кроме устройств считывания и записи на перфоленты появляются устройства вывода на алфавитно-цифровые печатающие устройства, вывод на телетайп, прием и передача данных по телеграфу.

Развиваются языки высокого уровня (Алгол60, Кобол, Фортран2) и трансляторы к ним. Компьютеры стали широко использоваться для экономических расчетов.

Общее устройство управления становилось слишком большим, поэтому появляются дополнительно местные устройства управления.

Появились компьютеры со стекком, выполняющие безадресные команды, в стек последовательно заносились данные, которые извлекались при выполнении операции, результат операции заносился в верхнюю ячейку стека. Машины такой конфигурации получили название стекковых. Среди компьютеров второго поколения появились и первые суперкомпьютеры, предназначенные для решения сложных задач, требовавших высокой скорости вычислений. В них были применены методы параллельной обработки (увеличивающие число операций, выполняемых в единицу времени), конвейеризация команд (когда во время выполнения одной команды вторая считывается из памяти и готовится к выполнению) и параллельная обработка нескольких программ. Компьютеры, выполняющие параллельно несколько программ при помощи нескольких микропроцессоров, получили название мультипроцессорных систем.

5. Второе поколение компьютеров

Второе поколение компьютеров создавалось в период с 1955 по 1964 г.

Важное событие, определившее возможность перехода на новую элементную базу в производстве компьютеров, произошло в 1926 году. Джулиус Эдгар Лилиэнфилд (Dr. Julius Edgar Lilienfield) получил патент под названием "Метод и прибор для управления электрическими токами" (Method and apparatus for controlling electric currents), а почти 20 лет спустя, в 1945 году, специалисты компании Bell Laboratories начали изучение полупроводниковых материалов, что в конечном итоге вылилось в создание первого точечного германиевого транзистора. Дальнейшие исследования полупроводниковых материалов привели к созданию плоскостных кремниевых транзисторов.

Успехи полупроводниковой технологии и связанные с этим возможности совершенствования структуры компьютеров, расширения выполняемых функций и усложнения решаемых задач привели к смене элементной базы. Запоминающие устройства на магнитных сердечниках, магнитных барабанах и магнитных лентах вытеснили полностью запоминающие устройства на электронно-лучевых трубках и ртутных ультразвуковых линиях задержки, применяемых в компьютерах первого поколения.

Сначала лампы были заменены в оперативной памяти, затем в арифметическом и управляющем устройствах германиевыми диодами, позже в оперативной памяти стали применяться феррит-диодные ячейки, позволявшие реализовать логические функции управления памятью, а в арифметическом и управляющем устройствах - транзисторы.

В 1953 году в Массачусетском технологическом институте был разработан первый экспериментальный компьютер на транзисторах TX-0 (в 1955 году он был введен в эксплуатацию).

Подчеркнем основные особенности компьютеров 2-го поколения:

- Переход на полупроводниковую элементную базу повысил надежность вычислительных систем, произошло уменьшение габаритов и энергопотребления, снизилась стоимость компьютера в целом и стоимость выполнения одной операции, возник новый критерий оценки компьютера - цена/производительность.
- В связи с переходом на ферриты в схемах оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) произошло удешевление ОЗУ и системы управления памятью, увеличился объем оперативной памяти. В арифметическом устройстве стали встраиваться сверхбыстрые запоминающие устройства- регистры на транзисторах.
- Появляется новый тип команд, связанный с применением регистров. Расширяется количество устройств ввода/вывода.

- Появляются внешние запоминающие устройства на магнитных лентах, магнитных барабанах, магнитных дисках, магнитных картах.
- Кроме устройств считывания и записи на перфоленты появляются устройства вывода на алфавитно-цифровые печатающие устройства, вывод на телетайп, прием и передача данных по телеграфу.
- Общее устройство управления становилось слишком большим, поэтому появляются дополнительно местные устройства управления.
- Развиваются языки высокого уровня (Алгол60, Кобол, Фортран2) и трансляторы к ним. Компьютеры стали широко использоваться для экономических расчетов.
- Появляется пакетная обработка данных. В компьютерах первого поколения вручную выполнялись операции ввода программы и вывода результатов. Во втором поколении применение запоминающих устройств на магнитных лентах позволяло записывать на магнитной ленте несколько программ, которые автоматически выполнялись в компьютере одна за другой и в той же последовательности результаты записывались на другую ленту. Этот вид обработки получил название пакетной обработки. Пакетный режим работы больших универсальных компьютеров второго поколения лишал пользователя непосредственного общения с вычислительной системой, подготовленные к решению программы передавались оператору, оператор вводил программу в компьютер, получал результат и передавал его пользователю, после чего пользователь вносил изменения в программу и вновь передавал ее оператору, процесс отладки был сложным.

В 1951 году М.Уилкс и Д.Стринджер обнародовали идею микропрограммного управления, но только в 1957 году был построен первый компьютер EDSAC-2 с микропрограммным управлением. Сущность микропрограммного управления состоит в том, что любая машинная операция выполняется как последовательность микроопераций.

В 1955 году Белл лаборатория (Bell Laboratories) анонсировала первый полностью транзисторный компьютер TRADIC.

В 1957 году был выпущен первый специализированный бизнес-компьютер корпорацией NCR под названием NCR304.

С первых лет появления компьютеров они применялись не только для расчетов, но и для управления производственными процессами. Компьютеры управляли процессами в доменных печах, прокатных станах, управляли военными объектами.

В 1958 была создана система SAGE (Semi-Automatic Ground Environment), осуществлявшая объединение радарных станций США и Канады в первую крупномасштабную компьютерную сеть.

Воздушная система защиты базировалась на компьютере AN/FSQ-7, известном как Whirlwind II (Вихрь II), компьютер потреблял мощность 1 Мега-

ватт для питания 55000 электронных ламп, 175000 диодов, 13000 транзисторов.

1959 году был создан первый мини-компьютер, компьютер, предназначенный для управления технологическими процессами, с обработкой информации о протекающем процессе, под названием PDP1, разработанный корпорацией DEC (Digital Equipment Corporation).

Мини компьютеры отличаются от компьютеров общего назначения и от специализированных компьютеров, специально предназначенных для управления производственными процессами. Основными особенностями мини-компьютеров являются:

- использование общей шины;
- модульность структуры - компьютер состоит из отдельных, конструктивно оформленных модулей, каждый модуль выполняет определенные функции, структуру компьютера можно изменять присоединением дополнительных модулей к общей шине;
- укороченное слово, так как датчики, поставляющие данные для обработки не имели достаточно высокой точности измерений, кроме того, такая высокая точность не требовалась для управления большинством объектов;
- уменьшенный объем оперативной памяти;
- передовая технология;
- простая и дешевая периферия;
- меньший объем программного обеспечения;
- низкая стоимость.

В итоге соотношение цена/производительность у мини-компьютеров значительно ниже, чем у универсальных компьютеров. Мини-компьютеры прошли долгий путь развития от простейших до супермини-компьютеров.

Переход к полупроводниковой технологии позволил значительно уменьшить габариты и потребляемую компьютером мощность. Быстродействие, надежность и скорость вычислений повысились в несколько раз, транзисторный компьютер IBM 7090 позволил решать задачи в 5 раз быстрее, чем его ламповый аналог IBM 709.

В СССР в 1961 г. был начат серийный выпуск первой полупроводниковой вычислительной машины "Раздан 2". Машина была предназначена для решения научно-технических и инженерных задач, не требовавших высокой производительности (скорость вычислений - до 5 тысяч операций в 1 секунд). Оперативное запоминающее устройство было выполнено на ферритовых сердечниках. Для расширения круга решаемых задач, требующих большого объема памяти, в машине предусмотрено внешнее запоминающее устройство — накопитель на магнитной ленте.

В 1967 году в России была создана самая мощная вычислительная машина семейства БЭСМ - БЭСМ6, высокопроизводительная и оригинальная по архитектуре отечественная вычислительная машина на транзисторной элементной базе. Это была вычислительная машина мирового уровня.

В БЭСМ6 использовалось 60 тысяч транзисторов и 200 тысяч полупроводниковых диодов. Для обеспечения высокой надежности использовался режим работы приборов с большим запасом по мощности. БЭСМ6 имела исключительно высокое для своего времени быстродействие - 1 млн. операций в сек., обладала отличным коэффициентом отношения производительности к стоимости вычислений.

В структуру компьютеров второго поколения был введен специализированный процессор, управляющий обменом данных между устройствами ввода/вывода и основной памятью. Это управление осуществляется программой ввода/вывода, которая считывается из основной памяти и выполняется процессором ввода/вывода автономно. Для обеспечения возможности совместной работы процессора ввода/вывода и центрального процессора были введены прерывания работы центрального процессора по сигналу от процессора ввода/вывода.

Появились компьютеры со стеком. Это KDF9 фирмы Elektrik (Великобритания) и B5000 фирмы Burroughs (США), выполняющие безадресные команды, стек использовался вместо регистра-аккумулятора, в него последовательно заносились данные, которые извлекались при выполнении операции, результат операции заносился в верхнюю ячейку стека. Машины такой конфигурации получили название стековых.

В апреле 1961 года был введен в строй компьютер FX1, разработанный Линкольновской лабораторией Массачусетского технологического института. Разработка носила экспериментальный характер и преследовала цель - достичь максимальных вычислительных возможностей за счет использования наиболее передовых достижений в технологии. В компьютере впервые в качестве основного запоминающего устройства была использована память на тонких магнитных пленках. Емкость памяти составляла 1024 числа из 13 двоичных разрядов. Полный цикл обращения к памяти составлял 0,37мксек. Пленки были получены напылением в вакууме магнитного вещества на стеклянную подложку. Применение высокочастотных транзисторов позволило использовать тактовую частоту 50МГц, на порядок выше, чем стандартная тактовая частота компьютеров второго поколения.

В 1959 г. под руководством Н.П.Брусенцова на вычислительном центре Московского университета была разработана малая цифровая вычислительная машина, предназначенная для решения научно-технических и экономических задач средней сложности "Сетунь". В 1962-1964 ЭВМ выпускалась серийно. Интересной особенностью ЭВМ "Сетунь" является троичная симметричная система представления чисел (цифрами 1,0,-1) с фиксированной после второго разряда или плавающей (программированной) точкой с операциями нормализации чисел(приведения к определенному виду) и сдвига.

Возможно, это был единственный в мире компьютер, работавший в троичной системе счисления.

Считается, что запоминающий элемент с тремя состояниями наиболее оптимален для представления данных, но с машинами, работающими в двоичной системе счисления, работать оказалось проще, несмотря на неоптимальность. Разрядность представления чисел в запоминающем устройстве (ЗУ) составляла 18 троичных разрядов (длинное слово) или 9 разрядов (короткое слово), разрядность команд составляла 9 разрядов, структура команд была одноадресной с признаком модификации адресной части; количество операций - 24.

"Сетунь" имела 2 ступени памяти: память на магнитном барабане, емкостью 1944 или 3888 коротких слов, и оперативное запоминающее устройство на ферритовых сердечниках, емкостью 162 коротких слова (пересылка из одного устройства в другое осуществлялось группами по 54 коротких слова). Выполнение арифметических и логических операций осуществлялось последовательно, но был введен отдельный блок для выполнения быстрого умножения. При работе с оперативным запоминающим устройством время выполнения операции сложения - 180 микросекунд, умножения - 320 мксек, передачи управления - 100 микросекунд. Среднее время группового обращения к памяти на магнитном барабане - 7500 микросекунд. Ввод данных в машину осуществлялся с пятидорожечной бумажной перфоленты со скоростью 800 строк/сек. "СЕТУНЬ" имела два входных устройства (фотоввода). Вывод данных из машины осуществлялся на двухцветную печать со скоростью 7 знаков/сек. и на бумажную перфоленту - со скоростью 20 строк/сек (а также на телетайп).

Особенности структуры "СЕТУНЬ" предопределили принципы построения, получившие дальнейшее развитие в миниЭВМ.

К вычислительным машинам второго поколения относятся такие отечественные вычислительные машины, как Урал14, Урал16, Минск22, Минск23, Минск32, БЭСМ3, БЭСМ4, М220, М222, БЭСМ6, МИР2, Наири и др.

Цифровая электронная вычислительная машина "Минск23" была предназначена для работы в системе организации производства, а также для решения таких планово-экономических задач, как оперативный учет производства, начисление зарплаты, составление бухгалтерских сводок и т. д. Машина позволяла решать также инженерные, научно-технические и технологические задачи.

Быстродействие БЭСМ4, М220, М222 порядка 20-30 тыс. оп/сек. У БЭСМ6 быстродействие около миллиона операций в секунду и память от 32 Кслов до 128 Кслов (в большинстве машин использовалось два сегмента по 32 Кслова каждый).

Для массового использования вычислительной техники необходимы были новые технологии, допускающие непосредственную работу нескольких пользователей с компьютером. В компьютерах следующего поколения для работы с одним процессором нескольких пользователей, к компьютеру под-

ключались терминалы и специальная программа обеспечивала общение в диалоговой форме. При соответствующей организации системы создавалась видимость того, что каждый пользователь имеет собственный компьютер. Этот режим работы называют мультипрограммным с разделением времени. На обслуживание каждого запроса пользователя выделяется определенный квант времени, временной интервал выбирается таким образом, чтобы промежутки между интервалами активности программ пользователя были минимальными. Эффективность эксплуатации систем в режиме разделения времени возрастает в 3 - 7 раз.

Среди серийных моделей универсальных компьютеров следует отметить компьютеры "Гамма60" и "Атлас".

Опытный образец компьютера "Гамма60" был изготовлен французской фирмой "Буль" в 1959 году.

Компьютер состоял из центрального блока и набора устройств, не связанных друг с другом, и связанных только с центральным блоком. Набор устройств включает четыре независимых устройства обработки данных (арифметического, логического, устройства сравнения и устройства преобразования кодов). Компьютер имел внешние запоминающие устройства на магнитных барабанах и лентах, устройства ввода с перфокарт и устройство вывода на перфокарты и печать.

Каждое автономное устройство имело устройство управления, которое посылало запросы центральному устройству управления на обмен с оперативным запоминающим устройством и осуществляло последнюю фазу дешифрации команд, перед их выполнением. В состав автономных устройств управления входили регистры для хранения адреса следующей команды, регистры для хранения исходных адресов исходных данных и регистр для связи с оперативной памятью. Центральный блок состоял из центрального устройства управления и оперативного запоминающего устройства. Устройство управления являлось распределителем программ. Каждое автономное устройство посылает сигналы о выполнении текущей команды, в ответ на которые центральное устройство управления направляет новые команды на выполнение. При одновременном поступлении запросов работала система приоритетов.

Центральный блок производил опережающую обработку запросов, в результате чего в оперативном устройстве создавалась очередь команд, подготовленных к выполнению. В результате компьютер "Гамма60" достиг быстроты действия до 100 тыс. оп/сек. В компьютере использовалось 15 тыс. транзисторов, 200 тыс. германиевых диодов и 400 ламп. Возможности компьютера при обработке экономической информации иллюстрирует такой пример. Первый экземпляр компьютера "Гамма60" был установлен в вычислительном центре Национального объединения французских железных дорог и использовался для расчета заработной платы для 250 тысяч рабочих и служащих. Ранее эта работа выполнялась пятью машиносчетными станциями, в состав

оборудования которых входило 40-50 перфорационных вычислительных комплексов и несколько ламповых компьютеров.

Компьютер "Атлас" был разработан под руководством Т.Килбурна в Манчестерском университете совместно с фирмой "Ферранти" и в 1961 году был установлен в университете.

В компьютере "Атлас" впервые была применена страничная организация машинной памяти, получившая широкое распространение в универсальных компьютерах 60 годов. Для хранения постранично организованных массивов данных использовалось оперативное запоминающее устройство, выполненное на ферритовых сердечниках и состоящее из модулей памяти (до 64) емкостью по 4096 слов и внешнее запоминающее устройство на магнитных барабанах (до 16), емкость каждого из них 24576 слов (48 страниц) и запоминающее устройство на магнитных лентах (до 32 блоков). Важной особенностью машины было также постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) на ферритовых сердечниках. Максимальная емкость ПЗУ составляла 64 модуля по 8192 слова.

В ПЗУ также использовалась страничная организация. Высокое номинальное быстродействие компьютера (700-900тыс. оп/сек.) было достигнуто за счет использования мультипрограммного управления (в компьютере одновременно могло выполняться до 4 команд), за счет применения высокочастотных транзисторов и высокой скорости работы арифметического устройства, внутренних запоминающих устройств и внешних устройств.

В первом экземпляре компьютера использовалось 4 модуля оперативного запоминающего устройства, четыре магнитных барабана, восемь лентопротяжных механизмов, использовалось 50 тысяч транзисторов и 250 диодов.

Среди компьютеров второго поколения появились и первые суперкомпьютеры, предназначенные для решения сложных задач, требовавших высокой скорости вычислений.

Это LARC фирмы UNIVAC, Stretch фирмы IBM и "CDC-6600" фирмы Control Data Corporation, в них были применены методы параллельной обработки (увеличивающие число операций, выполняемых в единицу времени), конвейеризация команд (когда во время выполнения одной команды вторая считывается из памяти и готовится к выполнению) и параллельная обработка нескольких программ. Компьютеры, выполняющие параллельно несколько программ при помощи нескольких микропроцессоров, получили название мультипроцессорных систем.

В годы с 1955 по 1961 в США фирмой IBM разрабатывался проект "Stretch", оказавший большое влияние на развитие структуры универсальных компьютеров. В проекте были воплощены все известные к 1960 году структурные принципы повышения производительности, такие как:

- совмещение операций, характерное для мультипрограммирования;
- разделение времени работы различных блоков и устройств, выполняющих одну команду;

- совмещение во времени подготовки и выполнения нескольких команд одновременно;
- параллельное выполнение нескольких независимых программ.

Совмещение во времени процесса выполнения нескольких последовательных команд одной программы осуществлялось при помощи опережающего устройства, согласующего работу оперативного запоминающего устройства и арифметического блока. Система регистров опережающего устройства получает операнды из оперативной памяти и команды, которые хранятся в буферном устройстве до их выполнения арифметическим устройством. В эти же регистры записываются результаты операций. В опережающем устройстве на разных стадиях выполнения могло находиться до 11 команд.

Оперативная память была разбита на 6 отдельных модулей на магнитных сердечниках емкостью по 16384 слова (по 64 разряда), полный цикл обращения к памяти составлял 2,1мксек. Модули памяти могли работать одновременно, их количество можно было увеличить до 16. Чтобы за время выполнения одной операции можно было параллельно работать с другими данными, последовательно возрастающие адреса ячеек памяти располагались в последовательно расположенных блоках.

С независимыми программами, выполняющимися одновременно, могло работать центральное устройство обработки данных, каналы ввода/вывода, устройство управления внешней памятью на магнитных дисках.

Типовая структура компьютера включала два устройства дисковой памяти. Емкость каждого из устройств составляла 2 млн. слов, а среднее время доступа к любой ячейке составляло 150мксек.

Система команд включала более шестисот операций. По количеству схемных элементов "Stretch" значительно превосходит все ранее разработанные универсальные компьютеры. Всего в схемах компьютера использовалось 169 тысяч транзисторов. Применение высокочастотных транзисторов позволило получить высокое быстродействие. Тактовая частота составляла 10МГц. Сложение 64 разрядных двоичных чисел с плавающей точкой выполнялось за 1,5 мксек., умножение за 2,7мксек. Всего было выпущено пять экземпляров компьютера "Stretch".

Наряду с компьютерами фирмы IBM мощные вычислительные системы разрабатывались и другими фирмами. Наиболее мощной вычислительной системой, разработанной до 1965 года был компьютер "Control Data Corp. 6600".

Разработка проекта была начата в 1957 году по заказу Комиссии по атомной энергии США. В состав системы входило 11 устройств обработки данных, в том числе центральный процессор и 10 компьютеров-спутников. Каждый компьютер-спутник имел оперативное запоминающее устройство емкостью 4096 слов по 12 двоичных разряда. Мультипроцессорная организация позволяла эффективно совмещать во времени работу отдельных компонентов системы. Центральное оперативное запоминающее устройство со

временем обращения 1мксек состояло из 32 блоков по 4096 60 разрядных слов. Одновременно можно было производить выборку 10 слов, что равносильно снижению времени обращения к запоминающему устройству в 10 раз (до 100нсек.). Совмещение во времени внешних устройств с центральными осуществлялось при помощи запоминающих устройств компьютеров-спутников. Центральный процессор состоял из 10 независимых блоков, каждый из которых был предназначен для выполнения определенной операции (суммирование, умножение, деление, логические операции и т.д.). Эти блоки могли работать параллельно, увеличивая производительность системы. В состав центрального процессора входило сверхоперативное запоминающее устройство на транзисторах, оно состояло из 32 регистров для хранения команд, 24 регистров для хранения адресов, операндов и промежуточных результатов. Для решения сложных задач могло использоваться несколько машин-спутников, центральный процессор и центральное запоминающее устройство. Мультипроцессорная организация обеспечила высокое номинальное быстродействие (3млн. оп/сек.), что в 20 раз выше, чем номинальное быстродействие компьютера "Stretch".

Компьютер "CDC 6600" использовался при решении научных задач в области ядерной физики. Первый экземпляр компьютера был установлен вычислительным центром "Control Data Corporation" в августе 1964 года в г. Лос-Анжелес. К середине 1965 года было введено еще три экземпляра, один из них был установлен в Европейском центре ядерных исследований. Еще пять компьютеров были установлены в крупнейших атомных научных центрах США.

Источники информации:

1. <http://www.computerhistory.org/timeline/topics/computers.page>
Timeline of Computer History

2. http://perso.clab_internet.fr/febsm/english/bull_computers_bibliography.htm

3. <http://parallel.ru/history/besm6.html>
Архитектура ЭВМ БЭСМ-6

4. <http://www.mailcom.com/besm6/koi8.shtml>

5. <http://www.osp.ru/os/1999/02/12.htm>
Школа Б.И.Рамеева, универсальные ЭВМ

6. ТРЕТЬЕ ПОКОЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОВ

Третье поколение компьютеров разрабатывалось с 1964 по 1974 год на новой элементной базе, осуществился переход от дискретных полупроводниковых элементов к интегральным схемам. Снова уменьшились габариты и потребляемая мощность компьютеров, возросла надежность.

В компьютерах третьего поколения был расширен набор внешних устройств. В начале 60-х годов появились первые устройства внешней памяти на магнитных дисках. Емкость магнитных дисков была на порядок больше чем емкость магнитных барабанов, применявшихся ранее.

Была введена параллельная и конвейерная обработка данных в операционном блоке. В центральный процессор вводятся система прерываний.

Все управление компьютером автоматизировано. Управление осуществляет комплекс программ, объединенный в операционную систему (ОС). Пользователь общается с компьютером через ОС, которая синхронизирует работу аппаратной части, используя систему прерывания и таймер - электронные часы.

Широко используется многопрограммный режим работы и виртуальная память (особая организация управления памятью, которая позволяет рассматривать всю память компьютера, как основную). Развивается иерархия памяти. Оперативная память делится на блоки с независимыми системами управления. Эти блоки могут работать одновременно. Структура оперативной памяти делится на страницы и сегменты. Используется КЭШ память (буферная память, позволяющая согласовать скорости обмена данными быстрых и медленных устройств памяти).

Широко разрабатывается класс универсальных компьютеров (мэйнфреймов), повышается эффективность использования компьютеров, используется мультипрограммный режим работы. Мейнфреймы долгое время оставались наиболее мощными (не считая суперкомпьютеров) вычислительными системами общего назначения, обеспечивающими непрерывный круглосуточный режим эксплуатации. Они строились на одном или нескольких процессорах, каждый из которых мог оснащаться векторными сопроцессорами (ускорителями операций для получения сверхвысокой производительности).

На базе универсальных компьютеров стало возможно создание вычислительных систем, обслуживающих удаленных пользователей.

Идет унификация технических и программных средств, создаются семейства (ряды) ЭВМ единой системы.

Появился новый класс машин - малых или мини-компьютеров. Они имели сокращенный набор команд, высокую скорость их выполнения и были предназначены для управления технологическими процессами, но постепенно стали использоваться для инженерных расчетов и для обработки экспериментальных данных. Производительность некоторых мини-компьютеров

достигала нескольких миллионов операций в секунду, что превышало скорость работы многих универсальных компьютеров.

Появились терминальные устройства с клавиатурой, дисплеем, встроенным мини- компьютером, осуществлявшие связь с универсальным компьютером большой мощности и дополнительную обработку информации.

Появились устройства ввода графической информации с чертежа, оптические читающие устройства, графопостроители.

6. Третье поколение компьютеров

Третье поколение компьютеров разрабатывалось с 1964 по 1974 год на новой элементной базе, осуществился переход к интегральной технологии. Развивающаяся авиационная и космическая техника предъявляли повышенные требования к электронным устройствам, в том числе и к компьютерам, требуя высокой надежности, уменьшения габаритов и потребляемой мощности, высокого быстродействия.

Впервые идея создания интегральных схем - устройств, вмещающих в себя, как минимум, фрагменты электронных схем, начала активно обсуждаться в 1952 году в Англии. Начало этому положил эксперт по радарам Дж. Даммер (G.W.A. Dummer). В 1952 году Г.В. Даммер выдвинул идею создания монолитной полупроводниковой интегральной схемы, но только в 1962 году началось промышленное производство интегральных схем.

Благодаря интегральным схемам удалось значительно улучшить технические и эксплуатационные характеристики компьютеров. Быстрыми темпами развивалась технология производства больших интегральных схем. В 1971 году фирма Intel выпустила первый 4-х разрядный микропроцессор, выполненный на одном кристалле и способный выполнять набор из 45 команд, в то время его называли микропрограммным компьютером на одном кристалле.

Микропроцессор содержал 2300 транзисторов на кристалле, тактовая частота составляла 108 кГц, быстродействие 60000 оп/сек., адресуемая память 640 байт.

В 1974г. эта же фирма выпустила 8-разрядный микропроцессор 8080, выполняющий набор из 75 команд.

Технологической основой разработки полупроводниковых интегральных схем явилась планарная диффузионная технология изготовления кремниевых транзисторов. Серийный выпуск полупроводниковых интегральных схем был налажен в США в 1961г.

Появление ИС означало подлинную революцию в вычислительной технике. Всего одна микросхема способна заменить тысячи, миллионы транзисторов. Один крошечный кристалл обладает значительно большими вычислительными возможностями, чем 30-тонный Эниак! Быстродействие ЭВМ третьего поколения возросло в 100 раз, а габариты значительно уменьшились.

Ко всем достоинствам ЭВМ третьего поколения добавилось еще и то, что их производство оказалось дешевле, чем производство машин второго поколения. Благодаря этому, многие организации смогли приобрести и освоить такие машины. А это, в свою очередь, привело к росту спроса на универсальные ЭВМ, предназначенные для решения самых различных задач.

Первый экспериментальный компьютер на интегральных схемах был создан фирмой "Тексас Инструментс" по контракту с ВВС США. Разработка

велься 9 месяцев и была завершена в 1961г. Компьютер имел всего 15 команд, был одноадресным, тактовая частота была 100 кГц, емкость запоминающего устройства всего 30 чисел, для представления чисел использовалось 11 двоичных разрядов. Для создания компьютера использовалось 587 интегральных схем, потребляемая мощность составляла всего 16вт., вес 585 гр., занимаемый объем 100 кубических сантиметров.

Вначале для производства компьютеров использовались схемы малой интеграции. Совершенствование технологии позволило усложнить микросхемы, появились микросхемы средней интеграции (СИС)

Затем из всего многообразия микросхем были выделены функционально-полные комплекты интегральных схем, предназначенные для построения контроллеров и вычислительных машин.

Для вычислительной техники характерно использование большого количества однотипных логических элементов особенно в устройствах памяти. Технология изготовления интегральных схем памяти проще, отличается повторяемостью соединений, потому первыми большими интегральными схемами стали БИС памяти. БИС содержали от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч элементов на кристалле.

Отметим существенные признаки компьютеров третьего поколения.

Осуществился переход к новой элементной базе - переход от дискретных полупроводниковых элементов к интегральным схемам. Снова уменьшились габариты и потребляемая мощность компьютеров, возросла надежность.

В центральный процессор вводится система прерываний. Все управление компьютером автоматизировано. Управление осуществляет комплекс программ, объединенный в операционную систему(ОС). Пользователь общается с компьютером через ОС, которая синхронизирует работу аппаратной части, используя систему прерывания и таймер - электронные часы. Широко используется многопрограммный режим работы.

Развивается иерархия памяти. Оперативная память делится на блоки с независимыми системами управления. Эти блоки могут работать одновременно. Структура оперативной памяти делится на страницы и сегменты.

Создаются семейства, ряды компьютеров, программно совместимых снизу вверх.

Вводятся специальные периферийные процессоры (каналы) для управления внешними запоминающими устройствами и периферийными устройствами. В компьютерах третьего поколения появился расширенный набор внешних устройств. Были разработаны устройства внешней памяти с увеличенной емкостью и скоростью передачи данных. Первые устройства внешней памяти на магнитных дисках появились в начале 60-х годов, после того как в 1956г. фирма ИВМ разработала плавающие магнитные головки на магнитной подушке. Емкость магнитных дисков стала на порядок больше, чем емкость магнитных барабанов, применявшихся ранее.

Появились устройства ввода графической информации с чертежа, оптические читающие устройства, графопостроители.

Машины третьего поколения оперируют с произвольной буквенно-цифровой информацией, единица адресации памяти байт, а не слово (длина слова стала 4 байта, используются полуслова и двойные слова). У машин третьего поколения появилась возможность параллельной работы устройств и, как следствие, возможность работы нескольких пользователей в режиме разделения времени.

Широко разрабатывается класс больших универсальных компьютеров (мэйнфреймов), повышается эффективность использования компьютеров, используется мультипрограммный режим работы. Мейнфреймы долгое время оставались наиболее мощными (не считая суперкомпьютеров) вычислительными системами общего назначения, обеспечивающими непрерывный круглосуточный режим эксплуатации. Они строились на одном или нескольких процессорах, каждый из которых мог оснащаться векторными сопроцессорами (ускорителями операций для получения сверхвысокой производительности).

Компьютер IBM360, выпущенный в 1964 году, можно считать типичным универсальным компьютером третьего поколения, определившим общие черты компьютеров этого класса.

Производительность компьютеров достигала в 60-х годах несколько миллионов операций в секунду. Объем оперативного запоминающего устройства увеличился до сотен тысяч слов, а внешнего запоминающего устройства до миллиардов слов. Компьютеры оснащаются все более совершенными устройствами обмена информации с пользователями. Применение интегральных схем наряду с повышением качества средств вычислительной техники позволило автоматизировать их проектирование и производство.

Объявление в 1964 г. системы IBM-360 и начало поставок в 1965 г. первых машин, имеющих единую архитектуру и различную производительность, наглядно продемонстрировало, что создание полностью совместимых систем ЭВМ возможно в широком диапазоне производительности. В СССР единственной попыткой выпуска ряда машин различной производительности, имеющих близкую (но не единую) архитектуру и конструктивно-технологическую базу, была серия "Урал"-11,14,16. Но она имела существенные ограничения как по производительности старшей модели (100 тыс. операций в секунду), так и по степени совместимости моделей. Нужна была новая разработка на микроэлектронной базе.

В 1969 году Советский Союз заключил соглашение о сотрудничестве в разработке Единой системы ЭВМ (ЕС ЭВМ) и системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ). За образец была взята лучшая в то время американская система IBM360.

Ориентация в дальнейшем советской промышленности на изучение "зарубежных технологий" привела к стойкому отставанию в области вычислительной техники. В 1972 году были созданы первые аналоги (клоны) компьютеров фирмы IBM, получившие название ЕС ЭВМ. Единая с американской система электронных вычислительных машин была разработана странами

СЭВ (Совета экономической взаимопомощи - Болгарией, Венгрией, ГДР, Польшей, Чехословакией и СССР) и базировалась на архитектуре IBM 360/370.

Дальнейшее развитие компьютеров этого класса предусматривало преемственность и совместимость, в IBM370 была сохранена система команд IBM360, для повышения производительности компьютера был введен принцип конвейерного управления с опережающей обработкой команд. Была введена параллельная и конвейерная обработка данных в операционном блоке, использовалась виртуальная память (особая организация управления памятью, которая позволяет рассматривать всю память компьютера, как основную), КЭШ память (буферная память, позволяющая согласовать скорости обмена данными быстрых и медленных устройств памяти). На базе универсальных компьютеров стало возможно создание вычислительных систем, обслуживающих удаленных пользователей. Производительность возросла до нескольких миллионов операций в секунду. Идет унификация технических и программных средств, создаются семейства (ряды) ЭВМ единой системы.

К отечественным машинам третьего поколения, выполненным на интегральных микросхемах относятся все ЕС ЭВМ - ЕС-1010 (быстродействие до 10 тыс. операций в секунду, объем оперативной памяти от 8 до 64 Кб), ЕС-1020, ЕС-1021 (15 тыс. операций в секунду, от 16 до 64 Кб), ЕС-1030, ЕС-1033, ЕС-1040, ЕС-1045, ЕС-1050 (500 тыс. операций в секунду, от 256 до 1024 Кб), ЕС-1055, ЕС-1060 (1,0-1,3 млн. операций в секунду, от 2048 до 8192 Кб), ЕС-1061, ЕС-1066 (более 2 млн. операций в секунду, 8192 Кб) и др.

Кроме того был налажен широкий выпуск микро и миниЭВМ, таких как Электроника-60, Электроника-100/125, Электроника-79, СМ-3, СМ-4 и др. Эти машины, как машины третьего поколения, оперируют с произвольной буквенно-цифровой информацией, единица адресации памяти 1 байт, (длина слова 4 байта), используются полуслова и двойные слова, используется возможность параллельной работы устройств и работа нескольких пользователей в режиме разделения времени.

Первой ЭВМ, разработанной в Советском Союзе на интегральных микросхемах была, построенная в 1970г. в Ереванском научно-исследовательском институте математических машин, ЭВМ "Наири3" и ее модификации "Наири3-1" и "Наири3-2" (на интегральных гибридных микросхемах).

Электронная цифровая вычислительная машина "Наири3" была предназначена для решения широкого круга инженерных, научно-технических, планово-экономических и учетно-статистических задач.

В машине использовался упрощенный машинный язык, облегчающий программирование, а также, был введен специальный режим автоматического программирования, позволявший вводить задачи на обычном математическом языке. Часто встречающиеся задачи могли выполняться на машине без предварительной подготовки при помощи внутренней библиотеки программ.

Для непосредственного выполнения арифметических операций и вычисления ряда функций был предусмотрен режим "счетной машины".

Основной особенностью ЭВМ "Наири3" было двухступенчатое построение микропрограммного устройства управления, обеспечивающее хранение больших массивов микропрограмм.

Возрастает по численности новый класс машин, класс миникомпьютеров. Имея сокращенный набор команд, высокую скорость их выполнения они, хотя и были предназначены для управления технологическими процессами и обработки экспериментальных данных, но постепенно стали использоваться для инженерных и универсальных расчетов. Структура миникомпьютера была проста, производительность некоторых миникомпьютеров достигала нескольких миллионов операций в секунду, что превышало скорость работы многих универсальных компьютеров. Представителями этого класса машин были миникомпьютеры фирмы DEC (Digital Equipment Corporation), которая выпустила в 1963 году компьютер PDP5 (Programed Data Processor 5), а в 1965 году - PDP8. Это были 8-разрядные, просто устроенные, неприхотливые и небольшие по габаритам компьютеры. Применялись они для управления и сбора информации в физических экспериментах, для автоматизации управления технологическими процессами.

В 1972 году фирмой MITS (Micro Instrumentation and Telemetry Systems - микро аппаратура и телеметрические системы) был разработан первый цифровой компьютер MITS816, доступный для персонального использования. В 1973 году фирма Xerox выпустила первый персональный компьютер Alto, укомплектованный монитором.

Ведутся работы по созданию сверхбыстродействующих компьютеров (суперкомпьютеров), в 1964 году был создан компьютер CDC6600, а в 1969 году - CDC7600, вошедшие в семейство CYBER. Для повышения быстродействия в суперкомпьютерах использовались методы конвейерной и параллельной обработки при помощи процессора сложной структуры, состоящего из матрицы процессоров обработки данных и специального управляющего процессора, который распределяет задачи и управляет потоком данных в системе.

В начале 70-х годов были выпущены первые машины семейства PDP11, объединенные единой архитектурой, но отличающиеся высокой производительностью. Эта архитектура стала образцовой в классе миникомпьютеров.

Продолжением этой линии можно считать суперминикомпьютеры Digital Equipment Corp VAX11/730, 750, 780 и т.д. Правда, система команд VAX заметно отличается от системы команд семейства PDP11, разрядность машинного слова 32 (в два раза больше), увеличено адресное пространство, емкость оперативного запоминающего устройства возросла до 8 Мбайт.

Само название компьютера указывает на то, что используется виртуальная память, VAX - Virtual Address eXtended - память, расширенная виртуальными адресами. Адресное пространство виртуальной памяти составляло 4,3 гигабайта.

Для начальной загрузки системного программного обеспечения использовался терминал (консоль). Загрузка системных программ производилась с накопителя на гибких магнитных дисках. Связь центрального процессора VAX с оперативной памятью и внешними устройствами осуществлялась через синхронное межсоединение. Физически оно представляло собой набор разъемов, в которые вставлялись модули на печатных платах. Разрядность ячеек памяти 1 байт.

В состав центрального процессора VAX входило:

- логическое устройство, управлявшее извлечением команд из памяти и их выполнением;

- арифметико-логическое устройство;

- шестнадцать доступных программисту 32 разрядных регистра.

В эти годы появилось и новое поколение терминальных устройств с клавиатурой для ввода информации и дисплеем.

Терминальные устройства могли быть и сложными, в них встраивались мини-компьютеры для осуществления удаленной связи с универсальными компьютерами, для сбора и предварительной обработки информации.

Создаются сверхпроизводительные компьютеры с конвейерной (поточковой), матричной, ассоциативной и мультипроцессорной архитектурой. Каждый тип архитектуры предназначен для решения своего типа задач. Эти компьютеры уже не являются универсальными в широком смысле слова.

При потоковой организации вычислительного процесса, поток обрабатываемых данных проходит через конвейер из процессоров. Каждый процессор выполняет свою команду. Результаты выполнения операции одним процессором служат входными данными для следующего за ним процессора. Через моменты времени, необходимые каждому процессору для выполнения операции на выходе системы появляются данные.

В компьютерах матричной архитектуры одну и ту же команду выполняют одновременно все процессоры (с различными данными). Ассоциативная архитектура является вариацией матричной, но процессоры содержат ассоциативную память (выбор данных из ассоциативной памяти производится по ассоциативному признаку, а не по адресу).

Мультипроцессорная организация предполагала наличие нескольких процессоров, каждый процессор связан со всеми другими, все процессы используют общее поле памяти.

В 1972 году был создан сверхпроизводительный компьютер ИЛИАС4 (США) с конвейерной архитектурой, включавшей 64 процессора. Это был наиболее крупный проект среди компьютеров третьего поколения. Разрабатывали компьютер сотрудники Иллинойского университета во главе с Д.Слотником. Компьютер был предназначен для решения системы уравнений в частных производных при помощи итерационных разностных схем. Решение такой задачи может быть ускорено в 64 раза по сравнению с последовательным вычислением на однопроцессорном компьютере. Максимальное

быстродействие компьютера 200млн.операций в секунду. Оперативная память была выполнена на интегральных схемах.

При разработке компьютера ИЛАС4 планировалось использование всех достижений того времени для того, чтобы получить максимально высокую производительность, превышающую на один или два порядка производительность самых быстродействующих в то время компьютеров, таких как "Барроуз8500" (август 1967 года), IBM360/90 (ноябрь 1967 года), "Контрол Дейта 7600". В проекте было решено использовать мультипроцессорную организацию, высокую степень интеграции микросхем, применять наиболее быстродействующие элементы интегральной технологии.

В процессе реализации проект подвергся существенным изменениям. Первый вариант проекта, разработанный в 1966 году предусматривал использование 8 вычислительных комплексов. Каждый вычислительный комплекс должен был содержать 16 устройств обработки данных, параллельно подключающихся к общему оперативному устройству памяти.

Во втором варианте структуры ИЛАС4 в состав системы должно было войти 256 устройств обработки данных, состоящих из процессоров, выполненных в виде монолитных полупроводниковых интегральных схем. В качестве носителя информации в запоминающем устройстве предполагалось использовать тонкие магнитные пленки, или полупроводниковые интегральные схемы. Устройства обработки данных должны были составить 4 массива по 64 устройства в каждом. Для общего управления системой планировалось использовать компьютер "Барроуз 8500". Система должна была иметь номинальное быстродействие 1млрд.оп/сек. Но стоимость проекта оказалась слишком велика и был реализован сокращенный вариант проекта с быстродействием 200млн.оп/сек.

В 1974 году создается компьютер STAR100 с конвейерной архитектурой, максимальная производительность 100 млн.операций в секунду.

В 1975 году создается ассоциативный компьютер STARAN4. Его максимальное быстродействие составляло 300 млн.операций в секунду. Основная операция - сравнение.

Все перечисленные архитектуры получили дальнейшее развитие в компьютерах четвертого поколения.

Источники информации:

1. <http://www.computerhistory.org/timeline>
История вычислительной техники от 1945 до 1990гг.
2. http://www.computer-museum.ru/History_CCCP/es_hist.htm
Семейство ЕС ЭВМ
3. <http://www.cs.uregina.ca/~bayko/cpu.html>

Great Microprocessors of the Past and Present

4.<http://www.osp.ru/os/1999/02/12.htm>

Школа Б.И.Рамеева, универсальные ЭВМ

5.<http://www.osp.ru/os/1999/03/10.htm>

Школа И.С.Брука. Малые и управляющие ЭВМ

7. ЧЕТВЕРТОЕ ПОКОЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРОВ

Четвертое поколение компьютеров создавалось на БИС средней интеграции и СБИС. Высокая степень интеграции БИС, повышенное быстродействие, высокая степень надежности, снижение стоимости, все это позволило значительно уменьшить размеры компьютеров, достигнуть быстродействия порядка сотен миллионов операций в секунду, объем основной памяти достиг десятков Мбайт.

Появился новый класс ЭВМ - микрокомпьютеры. Процессор микрокомпьютера собирался теперь из одной или нескольких микропроцессорных БИС. Развивается производство заказных БИС, выполняющих определенные функции, разрабатываются процессоры ассоциативного типа, в которых основной операцией является операция сравнения. Используются векторно-конвейерные принципы обработки данных. Разрабатываются конвейерные устройства управления с опережающим выполнением команд. Для построения микрокомпьютера стала использоваться открытая архитектура, позволяющая наращивать вычислительную мощность компьютера простым подключением дополнительных модулей. Дополнительно вводятся микросхемы памяти в процессор и микросхемы памяти, обеспечивающие обмен информацией между процессором и внешними устройствами (кэш первого и второго уровней). Компьютеры стали доступны по цене отдельным пользователям. Это привело к широкому производству персональных компьютеров.

Тенденция к использованию масштабных приложений дает новую жизнь и суперкомпьютерам. Появляются суперминикомпьютеры, которые довольно скоро вытесняются в управлении производственными процессами промышленными компьютерами с легко наращиваемой структурой и функциями.

В это время две тенденции- распределение вычислительных ресурсов, оснащение персональных компьютерами рабочих мест и необходимость объединения вычислительных ресурсов для решения общих задач большого объема - привели к сетевому буму. Для организации компьютерных сетей используется оптоволоконная связь. Разрабатываются принципы построения оптических компьютеров.

7. Четвертое поколение компьютеров

Четвертое поколение компьютеров создавалось на БИС и СБИС. Переход к четвертому поколению осуществлялся все 70е годы. Установить более точные границы трудно, так как в различных блоках компьютеров СБИС стали использоваться в разное время.

В 70-е годы 20-го века появились три новых технологии: микропроцессорная, космическая и генная. Каждая из трех технологий значительно меняет мировоззрение и психологию людей. Появление микропроцессора означает, что миниатюрный логический автомат может быть встроено в любое, как угодно малое устройство, при этом устройство приобретает новое качество - интеллектуальность. Микропроцессорная технология имеет множество направлений - это и создание персональных электронных средств различного назначения, интеллектуализация всей техносферы, защита человеческого организма, помощь в выполнении необходимых функций при помощи медико-кибернетических устройств, в том числе вживляемых в организм.

Высокая степень интеграции БИС, повышенное быстродействие, высокая степень надежности, снижение стоимости, все это позволило значительно уменьшить размеры компьютеров, достигнуть быстродействия порядка сотен миллионов операций в секунду, объем основной памяти достиг десятков Мбайт.

Появился новый класс компьютеров — микрокомпьютеры.

Процессор микрокомпьютера собирался теперь из одной или нескольких микропроцессорных БИС. Для построения микрокомпьютера дополнительно подключались микросхемы памяти и микросхемы, обеспечивающие обмен информацией между процессором и внешними устройствами. Компьютеры стали доступны по цене отдельным пользователям. Это привело к широкому производству персональных компьютеров. В США их выпуск возрос с 1974 по 1978 год с 73 тыс. штук до 3 млн. штук. Характеристики микрокомпьютеров быстро догоняли характеристики миникомпьютеров.

В это время наблюдались такие две тенденции - распределение вычислительных ресурсов и оснащение персональными компьютерами рабочих мест с одной стороны и объединение вычислительных ресурсов для решения общих задач большого объема. Это привело к сетевому буму, бурно стали развиваться сетевые технологии, появились специальные компьютеры для организации сетей, получившие название серверы и рабочие станции. В качестве рабочих станций компьютерных сетей стали использовать персональные компьютеры, а обслуживающие группы компьютеров серверы становились все более мощными и сравнивались по своим возможностям с универсальными компьютерами большой мощности (мэйнфреймами), появляется новый вид компьютеров — суперсерверы.

Тенденция к использованию масштабных приложений дает новую жизнь и суперкомпьютерам. Появляются суперминикомпьютеры, которые довольно

скоро вытесняются в управлении производственными процессами промышленными компьютерами с легко наращиваемой структурой и функциями. Для вычислений используются другие классы компьютеров, вплоть до персональных, сравнявшихся по вычислительным возможностям с универсальными.

В 1986 году Дэниел Хиллис (Thinking Machines Corp.-Корпорация думающих машин) сделал шаг вперед в создании искусственного интеллекта, он разработал концепцию массового параллелизма, которую воплотил в машине соединений (Connection Machine). Машина использовала 16000 процессоров и могла совершать несколько миллиардов операций в секунду. Каждый процессор имел небольшую собственную память, и был связан с другими процессорами через гибкую сеть, которую пользователи могли изменять, перепрограммируя структуру компьютера.

Система связей позволяла процессорам передавать информацию и запрашивать помощь других процессоров, как в модели мозга. Используя систему связей, машина могла работать быстрее чем любой другой компьютер при решении задач, которые можно распределить для параллельного решения на многих процессорах.

Примером отечественных компьютеров четвертого поколения может служить многопроцессорный вычислительный комплекс "Эльбрус". Эльбрус1 имел быстрдействие до 5,5 млн. операций с плавающей точкой в секунду, а объем оперативной памяти до 64Мб. Пропускная способность каналов ввода-вывода достигала 120 Мб/с.

В 1978 году в Советском Союзе было начато производство универсальных многопроцессорных комплексов четвертого поколения Эльбрус-2. Эльбрус2 имел производительность до 120 млн. операций в секунду, емкость оперативной памяти до 144 Мб или 16 Мегабайт (слово 72 разряда).

В 1979 году была завершена разработка вычислительной системы ПС-2000.

Поиск путей к рекордной производительности вычислительных систем требует нестандартных решений. В 70е годы архитектура вычислительных машин строилась с использованием различных принципов параллелизма, которые позволяли сделать очередной рывок производительности. От миллиона операций в секунду к десяткам и сотне миллионов. Основными пользователями советских супер-ЭВМ были организации, которые решали секретные задачи обороны, реализовывали атомную и ядерную программы. Но в 1979 году в стенах Института проблем управления АН СССР (ИПУ) завершается разработка высокопроизводительной вычислительной системы ПС-2000, предназначенной для сугубо мирных нужд.

Аббревиатура ПС означает «перестраиваемые структуры». Так называемыми однородными решающими полями — структурами из однотипных процессорных элементов, способных параллельно обрабатывать данные, — в ИПУ начали заниматься в конце 60-х. Лидером этого направления был академик Ивери Варламович Прангшвили.

Через два года в активе молодых ученых были теоретически обоснованные принципы построения однородных решающих полей, авторское свидетельство, микроэлектронная реализация однородных структур, публикации в научных журналах и доклад на международном конгрессе.

С 1975 года началась разработка вычислительной системы ПС-2000 исключительно собственными силами. В работе приняло участие Северодонецкое научно - промышленное объединение (НПО) «Импульс».

Замечательно то, что найденные специалистами из ИПУ принципы однородных решающих полей не требовали сверхмощной элементной базы для создания высокопроизводительной параллельной машины. Для ПС-2000 и последовавшей за ней системы ПС-3000 электронная промышленность не выпустила ни одной заказной микросхемы. При этом вычислительные комплексы ПС-2000 обгоняли дорогостоящие «Эльбрусы», обеспечивая быстродействие до 200 млн. операций в секунду. Проходившие испытания восемь опытных образцов машины продемонстрировали на геофизических задачах суммарную производительность порядка 1 млрд. операций в секунду.

Геофизика была основной сферой применения ПС-2000. Эта мощная машина позволила наконец просчитать залежи данных сейсморазведки, которые в огромных объемах накапливались ежегодно. Доступные вычислительные мощности, в силу ограниченной производительности, просто не успевали их обрабатывать — для этого необходимо было быстродействие раз в сто больше того, что имелось в совокупности. Поскольку такие задачи прекрасно поддавались распараллеливанию, их удалось с большой эффективностью решить на многопроцессорных комплексах ПС-2000. Были сделаны специальные экспедиционные вычислительные комплексы ЭГВК ПС-2000, отлично приспособленные к работе в условиях геофизических экспедиций, — они не занимали большой площади, потребляли мало энергии и не требовали больших расходов на эксплуатацию.

В ПС-2000 реализована архитектура с одним потоком команд и многими потоками данных (SIMD). Центральным компонентом системы является мультипроцессор, включавший от 8 до 64 одинаковых процессорных элементов. Процессорные элементы обрабатывали множество потоков данных по программе из общего модуля управления (один модуль на каждые восемь элементов).

Наиболее полное развитие принципы перестраиваемости получили в следующей разработке ИПУ, системе ПС-3000, которая была закончена к 1982 году. Здесь уже применялась архитектура множества потоков команд и множества потоков данных (MIMD). В ПС-3000 аппаратно реализована динамическая перестраиваемость структуры машины в зависимости от возможностей распараллеливания конкретного вычислительного процесса. Параллельно могли выполняться как разные задачи, так и фрагменты (ветви) отдельной задачи, а также скалярные и векторные команды каждой ветви. Система включала до четырех центральных скалярных процессоров, один или два векторных процессора — так называемые однородные решающие поля из

восьми однотипных процессорных элементов, до четырех модулей общей параллельной оперативной памяти, до 16 периферийных процессоров. Все эти ресурсы могли перераспределяться динамически, то есть непосредственно в ходе выполнения вычислений, между задачами, ветвями, командами в соответствии с их заранее непредсказуемыми требованиями. В этом и заключается принцип динамической перестраиваемости структуры машины. Фактически ПС-3000 автоматически превращалась из векторной в асинхронно работающую систему, с процессорами, выполнявшими разные команды, и наоборот.

В отличие от своей предшественницы ПС-3000 решала в основном управляющие задачи — ее можно было использовать на верхних уровнях иерархических систем управления сложными технологическими процессами и производствами, для прямого управления сложными объектами (например, атомными реакторами) в реальном времени и для моделирования сложных объектов. Разрабатывалась и следующая система, ПС-3100, которая предназначалась для использования на верхних уровнях управления атомным реактором.

К началу 80-х годов производительность персональных компьютеров составляла сотни тысяч операций в секунду, производительность суперкомпьютеров достигала сотен миллионов операций в секунду. Мировой парк компьютеров превысил 100 млн. Дальнейшее развитие вычислительной техники привело к широкому использованию ее во всех областях человеческой деятельности.

Для автоматизации управления технологическими процессами в промышленности стали широко применяться специальные промышленные компьютеры. Специальные компьютеры управляют технологическими установками, работают в операционных или машинах скорой помощи, на ракетах, самолётах и вертолётах, вблизи высоковольтных линий передач или в зоне действия радаров, радиопередатчиков, в неотопляемых помещениях, под водой на глубине, в условиях пыли, грязи, вибраций, взрывоопасных газов и т.п.

Невозможно представить без вычислительной техники современную армию - авиацию, ракетные войска, военно-морской флот.

Без применения вычислительной техники невозможно освоение космического пространства.

Идет дальнейшее совершенствование технологии производства микросхем и вычислительной техники, но так ожидаемый переход к принципиально-новым технологиям компьютеров пятого поколения не произошел. Полупроводниковая технология производства схем сверхбольшой интеграции все еще не исчерпала всех своих возможностей. К 2000 году преодолен барьер в 1 ГигаГерц в производстве процессоров. Компьютер находит все больше областей применения.

Теперь при помощи компьютера можно получить точную модель любого предмета, любого человека.

В 1999 году Компания Cyber разработала систему, позволяющую снять точную копию любого объекта. На фотографии модель сделана из полиуретана. В машину была загружена 3D модель, отсканированная посредством трехмерного лазерного сканера CyberWave. На полное сканирование 3-х мерного объекта уходит всего 17 секунд. Выход в виде файла, содержащего 3D модель. Модели могут быть масштабированы.

Продолжается дальнейшее развитие архитектур компьютеров. Совершенствуются персональные компьютеры, приобретают новые мультимедийные возможности. Теперь компьютер служит для создания и воспроизведения звука, прекрасной графики, движущихся объектов.

Персональные компьютеры стали равны и даже превзошли по мощности использовавшиеся ранее универсальные компьютеры. По всему миру прокатилась волна разукрупнения вычислительных систем. Повсеместно стали использоваться персональные компьютеры. И начался на новом витке развития процесс объединения вычислительных мощностей. Сначала персональные компьютеры связали сетями для обмена информацией. Затем стали связывать между собой несколько компьютеров для объединения в единый вычислительный механизм.

Сделав еще один виток, компьютерная индустрия вернулась к централизованному управлению распределенными, но объединенными в сеть ресурсами. Если раньше свои вычислительные средства предоставлял пользователям универсальный компьютер, на уровне предприятия это были достаточно мощные универсальные компьютеры (мэйнфреймы), то теперь вычислительные средства объединяет и распределяет сервер. Сервер класса мэйнфрейма получил название суперсервер. На развитие архитектуры суперсерверов оказали большое влияние их предшественники - мэйнфреймы.

Возможность объединения вычислительных ресурсов в единую сеть стала широко использоваться для создания суперкомпьютеров из отдельных вычислительных узлов - кластеров. При этом сам кластер может представлять собой довольно сложную вычислительную систему. Строятся и многопроцессорные высокопроизводительные системы, вытесняющие суперкомпьютеры с векторным процессором.

Суперкомпьютеры строятся как многопроцессорные системы или системы, объединяющие в единую множество высокопроизводительных вычислительных систем.

При построении многопроцессорной системы (МП) используется одна из нескольких архитектур, определяющих схему соединения процессорных элементов между собой и схему связей с устройствами ввода/вывода и блоками памяти. В симметричных (SMP) системах вся память используется как общая системная память, это создает проблему "узкого горлышка" и, естественно, является тормозом к достижению предельно возможного быстродействия системы.

В системах массового параллелизма (MPP) для подключения вычислительных узлов используются принципы построения сетей, что устраняет про-

блему "узкого горлышка", в качестве узла такой сети может использоваться кластер, построенный как симметричная многопроцессорная система.

Четвертое поколение компьютеров должно быть переходным на пути к компьютерам пятого поколения. Компьютеры пятого поколения предполагалось строить на новой элементной базе, позволяющей реализовать интеллектуальные способности человека. Но новая технология пока не находит развития, идет совершенствование современной технологии производства сверхбольших интегральных схем.

Для реализации интеллектуальных возможностей человека разрабатывают электронные устройства, реализующие функции нейрона (нейрочипы). Наиболее подходит для реализаций функций нейронов оптическая технология, но несмотря на 20-ти летний опыт развития оптических вычислительных систем, не было достигнуто ожидаемых результатов. Из нейрочипов создают нейроподобные системы, объединяя нейрочипы в сети. Используя высокие вычислительные мощности современных универсальных компьютеров и суперкомпьютеров, создаются программы, эмулирующие работу нейронных цепей. Применяется и смешанный вид нейроподобных вычислительных устройств - программно-аппаратный.

И наконец, появился проект создания гиперкомпьютера на новой технологической базе, которая, возможно, станет определяющей на долгие годы дальнейшего развития вычислительной техники. Новая технология - это быстрая одноквантовая логика (БОКЛ). В основе работы логических элементов лежит изменение заряда на один квант. Заряд циркулирует как угодно долго в замкнутом сверхпроводящем кольце. Элементы БОКЛ сочетают в себе логические функции и функции хранения информации (функции элементов памяти), это меняет основные принципы построения вычислительных устройств. Как и первые электронные компьютеры, занимавшие несколько комнат, первые квантовые компьютеры будут казаться "монстрами", так как для поддержания сверхпроводимости потребуются специальные установки, поддерживающие сверхнизкие температуры. Как во всяком новом развивающемся направлении наука ищет выход. Не за горами возможности получения и использования веществ, обладающих свойствами сверхпроводников при комнатной температуре. Первый компьютер на элементах БОКЛ планируется создать к 2007 году, ожидаемая производительность - петафлоп (операций с плавающей точкой в секунду)

Источники информации:

1. <http://www.computerhistory.org/timeline>
История вычислительной техники от 1945 до 1990гг.
2. <http://parallel.ru/history/elbrus.html>

3. Наталья Дубова. От «Эльбруса-3» — к «Эльбрусу-2000».
Еженедельник «Computerworld Россия», #27-28/2000

4. http://parallel.ru/history/vector_history.html

5. <http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/>
History of Computing Information

7.1. ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Появление микропроцессоров в семидесятые годы привело к созданию персональных компьютеров. Первые персональные компьютеры не имели дисплея и жесткого диска и операционная система компьютера загружалась в оперативную память с дискета. Впервые именно в персональных компьютерах была применена концепция открытой архитектуры, которая позволила пользователям добавлять новые компоненты к их компьютерам без замены всего устройства. Современные персональные компьютеры образуют класс чрезвычайно разнообразных компьютеров. Одно из веяний настоящего времени - создание домашнего компьютера. Домашний компьютер должен быть мультимедиа компьютером. Multimedia в переводе - "многие среды", это означает, что компьютер может общаться с пользователем при помощи речи, при помощи стерео музыки, компьютер может использоваться для просмотра видео-клипов и видеофильмов, для работы с электронными энциклопедиями и связи по электронной почте с любой точкой земного шара. Для людей мобильных профессий были созданы малогабаритные компьютеры, такие компьютеры получили название laptop (лэптоп - поверх колен). По размеру laptop выглядит как обычный дипломат. Компьютер в виде записной книжки, а скорее книги среднего формата (notebook - блокнот), более удобен в поездке. Чтобы не покупать в этом случае второй компьютер на рабочем месте можно установить док-станцию (dock station), в которую, как корабль в док, вставляется ноутбук. Док-станция представляет собой корпус с разъемами для подключения ноутбука, клавиатуры, монитора, винчестера. Современному деловому человеку важно иметь при себе электронный помощник, при помощи которого он мог бы связаться со своими сотрудниками или клиентами, составить деловое письмо, договор, сделать необходимые заметки. Такие возможности предоставляет пользователям НРС (компьютеры класса Handheld PC) и PDA (Personal Digital Assistant - личный цифровой помощник). Если палмтоп дополнить набором деловых программ, записанных в постоянную память (чтобы нельзя было стереть информацию), то получится PDA - "персональный цифровой помощник". Сформировались требования к функциональным возможностям таких устройств. От них требуется выполнение функций телефонного справочника и записной книжки, для этого необходим текстовый редактор с возможностью составить электронную таблицу, в них реализуется возможность выхода в сеть типа Internet, в устройства такого типа встраиваются модемы, диктофоны, реализуется возможность подключения цифровой фотокамеры, они снабжаются инфракрасным портом для удаленной связи.

7.1. Персональные компьютеры

С 1970 года начинается эра персональных компьютеров.

Появление микропроцессоров в семидесятые годы привело к созданию множества персональных компьютеров от первых 8-ми разрядных до 64 и более в наши дни.

Персональные компьютеры от прошлого к настоящему.

Первые персональные компьютеры не имели монитора и жесткого диска и операционная система компьютера загружалась в оперативную память с дискета.

В 1972 году Hewlett-Packard объявил о выпуске микрокалькулятора HP-35 как "быстрого, чрезвычайно точного варианта электронной логарифмической линейки" с твердотельной памятью, подобной памяти компьютера. HP-35 отличался от конкурентов способностью выполнять широкий набор логарифмических и тригонометрических функций, хранить большее количество промежуточных результатов, вводить и выводить данные в экспоненциальном формате.

Небольшая компания Micro Instrumentation Telemetry Systems (MITS), занимающаяся электроникой в городе Альбукерке (шт. Нью-Мексико) в 1974 году объявила о разработке небольшого компьютера для индивидуального пользования. Эд Робертс и двое его партнеров создали небольшой сборный компьютер. Он получил название Altair.

Машина была оснащена новейшим для того времени процессором 8080 компании Intel, имела 256 байт памяти и панель с переключателями, на которой мигали многочисленные лампочки.

Значительность самого события полностью перекрывала многочисленные технические неувязки, из-за которых мучительно трудно было заставить аппаратуру работать. Загрузка данных превращалась в долгую утомительную процедуру щелкания бесконечными переключателями ради небольшого объема информации.

Altair, во всеобщем понимании, стал первым коммерческим массовым "персональным компьютером".

В марте 1974 года Scelbi (SCientific ELectronic and Biological) Computer Consulting представила машину на базе более раннего процессора Intel — 8008. Она имела 1 кбайт программируемой памяти и была предназначена в основном для научного применения.

В июле того же года журнал Radio Electronics опубликовал статью о другом сборном домашнем компьютере Mark-8 на базе процессоров 8008.

Однако и Scelbi 8H, и Mark-8 продавались плохо. Фирма Scelbi прекратила производство 8H в декабре того же года.

В 1975 году был выпущен первый текстово- графический дисплей, в этом же году выпустила первый персональный компьютер (IBM 5100) фирма IBM.

В 1976 году был выпущен первый персональный компьютер Apple, позднее эта фирма стала выпускать широко известные компьютеры - Macintosh.

С 1977 года начинается массовое производство персональных компьютеров Apple-2, TRS-80 и PET.

Персональный компьютер Apple-2 представлял собой достаточно дорогой (без монитора и кассетного магнитофона) компьютер. Он был выполнен на невиданном по тем временам техническом уровне. Компьютер был построен на минимально возможном количестве микросхем (расположенных на одной печатной плате), имел зашитое в ПЗУ программное обеспечение - операционную систему и Basic, 4 Кбайт ОЗУ, два игровых электронных пульта, интерфейс для подключения к кассетному магнитофону и систему цветной графики для работы с цветным монитором или обычным телевизором.

Персональный компьютер TRS-80, с процессором Z-80, состоял из четырех модулей - 12-дюймового монитора, системного блока с интегрированной клавиатурой, блока питания и кассетного магнитофона. Компьютер поставлялся с зашитым в ПЗУ программным обеспечением Basic Level и двумя кассетами, одна из которых содержала игровые программы.

Персональный компьютер PET (Personal Electronic Transactor) фирмы Commodore принадлежал к немногочисленным компьютерам, объединившим в одном модуле системный блок, монитор, накопители и клавиатуру. PET содержал процессор, 14 Кбайт ПЗУ с Basic и операционной системой, 4 Кбайт ОЗУ, 9-дюймовый монитор и кассетный магнитофон. Этот компьютер считался идеальным решением для преподавателей и учащихся.

Разработка первых персональных компьютеров фирмой IBM не имела большого успеха, лишь в 1981 году появился первый успешно продаваемый персональный компьютер фирмы IBM - IBM PC, успех этого компьютера привел к тому, что торговая марка PC стала нарицательным именем персональных компьютеров.

В это время большинство компьютеров были 8-разрядными. Компьютер фирмы IBM был создан на 16-разрядном процессоре Intel 8088. Впервые была применена концепция открытой архитектуры в персональных компьютерах, что позволило пользователям добавлять новые компоненты, расширяя возможности компьютера без замены всего устройства.

В 1983 году фирма IBM выпустила компьютер PC/XT, он был укомплектован жестким диском на 10 Мбайт, имел оперативную память до 640 Кбайт и операционную систему MS-DOS. Начиная с PC/XT произошел взрыв в индустрии персональных компьютеров.

Первый, успешно продаваемый персональный компьютер, выпущенный в 1977 году фирмой Apple назывался Apple-II по имени фирмы, позже появился и Apple3.

В 1983 году корпорация Apple Computers построила персональный компьютер "Lisa" — первый офисный компьютер, управляемый манипулятором "мышь".

И только в 1984 году был выпущен прославивший фирму персональный компьютер Apple Macintosh. Он имел графический интерфейс, 9- дюймовый экран, работал на частоте 8МГц и был построен на 32-битном микропроцессоре Motorola 68000. С его появлением вводятся в обиход "мышка" и иконки", облегчающие работу с компьютером.

Заметным явлением в классе персональных компьютеров стали компьютеры "Амига". Группа разработчиков решила создать персональный компьютер с мощнейшей графикой и звуком, такие компьютеры сегодня называют "мультимедиа" компьютерами. Чтобы максимально разгрузить процессор, управляющий логикой работы программ, ввод/вывод (графика и звук) осуществлялся специализированными микросхемами. Это был первый в мире персональный компьютер, который выдавал изображение более, чем в 16-ти (максимум 4096) цветах, обладал многозадачной операционной системой, четырехканальным стереозвуком и был оснащен манипулятором типа "мышь". Число продаж Амиг в 1989-1990 годах росло с такой скоростью, что превысило число продаж любых других персональных компьютеров. Было решено сделать компьютер максимально расширяемым за счёт использования нескольких системных разъемов. Более того, все подключаемые платы расширения должны были автоматически распознаваться системой, сейчас эта технология считается современной и носит название "Plug and Play".

Середина 80-х проходит в мире под знаком стремительного роста популярности персональных компьютеров. К 1986 году разработано несколько советских моделей персональных машин, появляются интересные программные разработки для автоматизации офисного труда. В 1986 году начинается выпуск одной из самых популярных машин линии СМ, микроЭВМ СМ 1810, которая тоже могла выступать в роли персонального компьютера.

СМ 1810 создавалась в стенах Института электронных управляющих машин (ИНЭУМ). Основным предназначением машин серии СМ было управление промышленными объектами. Но до появления персоналок во всем мире малые ЭВМ, благодаря небольшим габаритам, дешевизне и относительной простоте использования, стали широко применять в научных лабораториях, учебном процессе, конторской работе. То же самое происходило и с СМ, тем более что наша электронная промышленность освоила выпуск микропроцессоров и появилась возможность сделать машину, которую можно разместить на рабочем столе.

В ИНЭУМ развивали две линии архитектуры ЭВМ. Первая, по которой сделана большая часть СМ, была совместима с архитектурой мини-ЭВМ PDP-11 корпорации DEC. Вторая — это семейство СМ-18xx на базе микропроцессоров, воспроизводивших системы команд Intel 8080 и 8086. 16-разрядная СМ-1810 строилась по магистрально-модульному принципу на базе шины Multibus. Эта микро-ЭВМ была прекрасно оснащена всеми необ-

ходимыми внешними устройствами — дисками, принтерами, дисплеями, выходами на каналы связи. Как другие разработки ИНЭУМ, СМ-1810 предназначалась прежде всего для задач управления, но создавалась как универсальная машина и хорошо восполняла недостаток персональной вычислительной техники.

На основе СМ-1810 реализовывались различные, иногда самые неожиданные системы. Например, система диагностики разрывов нити для ткацких станков, которая работала на фабриках в Иваново. Система Онега-2 позволяла строить военные карты по схемам аэрофотосъемки. Существовало решение для обработки информации по техобслуживанию автомобильного транспорта и многие другие. Были даже школьные классы, оборудованные микромашинами СМ.

Стоит все же упомянуть те персональные компьютеры, которые в середине восьмидесятых годов выпускала отечественная промышленность. По уровню возможностей их делили на бытовые и профессиональные. К классу бытовых относилась выпускавшаяся в Зеленограде Электроника БК-0010 (БК — бытовой компьютер), которая в качестве дисплея использовала обычный телевизор и обеспечивала всего 64 Кбайт ОЗУ.

Другая разработка Министерства электронной промышленности, Электроника-85, была оснащена специальным дисплеем и имела 4 Мбайта оперативной памяти. К классу профессиональных относилась и машина под названием Искра-226.

Массовая компьютеризация школ вызвала к жизни персональные компьютеры, разработанные специально для оснащения школьных кабинетов информатики. Машина «Корвет» строилась на базе процессора, воспроизводящего функции процессора Intel 8086.

Эра полноценных персональных ЭВМ почти на каждом рабочем столе была совсем близка.

Диалоговые вычислительные комплексы (ДВК) "Электроника МС 0501" и "Электроника МС 0502" были предназначены для работы в системах управления технологическими процессами и автоматизированного проектирования, в качестве терминального комплекса в вычислительных системах и сетях, в справочно-информационных и информационно-поисковых системах, а также при решении различных инженерно-технических задач.

В 1988 году соучредитель Apple Стив Джобс оставил компанию Apple, чтобы сформировать собственную компанию и вскоре обнаружил следующий, созданный им компьютер, который потерпел неудачу, но были признаны важные новшества, примененные в нем. Компьютер был создан на микропроцессоре Motorola 68030, с 256 мегабайтами оптической памяти на диске для чтения - записи.

Это был первый персональный компьютер, включавший:

-дисковод для оптического диска;

-встроенный цифровой сигнальный процессор, который позволял распознавать голос;

-использовались объектно-ориентированные языки, упрощающие программирование.

Современные персональные компьютеры образуют класс чрезвычайно разнообразных компьютеров, используемых пользователем персонально для выполнения различного вида работ. Одно из веяний настоящего времени - создание домашнего компьютера. Требования к такому компьютеру чрезвычайно высоки. Он должен быть доступным по цене, простым в пользовании, чтобы и домохозяйка могла использовать его для своих нужд, например, определить какие блюда она могла бы приготовить из имеющихся продуктов, и ребенок мог бы найти необходимую справочную информацию, поиграть, поработать с обучающей программой.

Студент мог бы выполнить задачи по проектированию, черчению или другим предметам. Чтобы справиться с такими задачами, домашние компьютеры должны иметь превосходную цветную динамическую трехмерную графику, а для этого требуется высокое быстродействие. Как ни удивительно, многие требования к домашним компьютерам намного превышают технические требования к компьютерам для профессионалов-программистов. Домашний компьютер должен быть мультимедиа компьютером.

Multimedia в переводе - "многие среды", это означает, что компьютер может общаться с пользователем при помощи звуков, это может быть общение при помощи речи, при помощи стерео музыки, компьютер может использоваться для просмотров видео-клипов и видеофильмов, для работы с электронными энциклопедиями и связи по электронной почте с любой точкой земного шара. На таких мощных компьютерах появилась возможность создания систем виртуальной (кажущейся) реальности, переносящей пользователя в искусственные компьютерные миры. Современный мультимедиа персональный компьютер напоминает аудио стерео комплекс, объединенный с дисплеем-телевизором. Он укомплектован стереофоническими колонками, микрофоном, дисководом для оптических дисков.

В разряд инструментальных средств, широко используемых для обработки информации, наряду с персональными компьютерами вошли портативные компьютеры различных видов. Людям мобильных профессий информация особенно необходима. Специально для них были созданы малогабаритные компьютеры, которые можно брать с собой всюду и работать, ставя их на колени, такие компьютеры получили название laptop (лэптоп - поверх колен). По своим характеристикам лэптопы не уступают настольным персональным компьютерам.

По размеру laptop выглядит как обычный дипломат. Носить два портфеля не очень удобно, портативный компьютер в виде записной книжки, а скорее книги среднего формата (notebook - блокнот), более удобен в поездке.

Для связи с офисом из любого места, куда судьба забросит его владельца, notebook комплектуют модемом и съемным дисководом, так как в поездке, например, не всегда необходимо записывать новые данные на дискету. В последнее время ноутбуки снабжаются приводами для лазерных дисков CD-

ROM. Чтобы пользователь сам мог определить необходимый ему в работе состав оборудования ноутбука, выпускают модульные блокноты. Модульная конструкция позволяет ограничиться только необходимым для данного случая оборудованием и легко изменить состав компьютера, если это требуется для дела. В поездке с ограниченными возможностями ноутбука можно смириться, но вернувшись в свой офис, хотелось бы работать с большим экраном, удобной клавиатурой, с винчестером большой емкости. Чтобы не покупать в этом случае второй компьютер, фирма Apple предложила устанавливать на рабочем месте док-станцию (dock station), в которую, как корабль в док, вставляется ноутбук. Док-станция представляет собой корпус с разъемами для подключения ноутбука, клавиатуры, монитора, винчестера. Современному деловому человеку важно иметь при себе электронный помощник, при помощи которого он мог бы связаться со своими сотрудниками или клиентами, составить деловое письмо, договор, сделать необходимые заметки. Такие возможности предоставляет пользователям НРС (компьютеры класса Handheld PC) и PDA (Personal Digital Assistant - личный цифровой помощник). Самые маленькие современные персональные компьютеры умещаются на ладони. Это palmtop (палмтоп- наладонник, или умещающийся на ладони). В нем нет дисков. Их заменяет энергонезависимая электронная память. Обмен информацией с обычным компьютером осуществляется по специальным линиям связи. Конечно, возможности этого компьютера значительно ограничены и неудобна работа с клавишами малого размера. Если палмтоп дополнить набором деловых программ, записанных в постоянную память (чтобы нельзя было стереть информацию), то получится PDA - "персональный цифровой помощник". Самый мощный для своего времени PDA - Apple Newton.

Он не имеет клавиатуры, нужный текст Вы пишете на экране и специальная программа распознает записанный текст. Отказ от клавиатуры резко уменьшает размеры и упрощает схему PDA.

Сформировались требования к функциональным возможностям таких устройств. От них требуется выполнение функций телефонного справочника и записной книжки, для этого необходим текстовый редактор с возможностью составить электронную таблицу, в них реализуется возможность выхода в сеть типа Internet, в устройства такого типа встраиваются модемы, диктофоны со специальными программами компрессии, позволяющими сжато записать информацию на диск, реализуется возможность подключения цифровой фотокамеры, они снабжаются инфракрасным портом для удаленной связи, унифицируется операционная система, ведутся разработки операционных систем, совместимых с Windows.

Микросхемы достигли такой степени интеграции, что персональный компьютер стало возможно построить на 3х-4х интегральных схемах.

Множество внешних устройств можно подключить к современному персональному компьютеру.

Множество внешних устройств можно подключить к современному персональному компьютеру, это жесткий диск, дисковод для цифровых видео и CD- дисков, принтер, сканер, фотокамера, кинокамера, микрофон, аудио стерео-система и т.д.

Все меньше, все изящнее и... все проще» — вот девиз, под которым были сконструированы приведенные выше модели сетевых ПК. Их корпуса вдвое ниже, чем стандартные башни, они весят меньше 4-5 кг и занимают очень мало места. Фактически это стандартные настольные системы без портов и плат расширений, а также с минимумом установленного программного обеспечения. Тем не менее такие машины мощнее, чем старые Internet-приставки и сетевые компьютеры первого поколения. Они рассчитаны на использование в корпоративной сети, состоящей из большого количества рабочих мест. Поэтому все модели имеют Ethernet-порт, ОС семейства Windows 98 или 2000, а также процессор и жесткий диск, вместимости которого вполне достаточно для работы с офисными приложениями. Наиболее красивым из сетевых ПК выглядит iPAQ Legacy-Free высотой в 35 см. Серебристая центральная часть ПК выступает подобно ледяной вершине из угольно-черного корпуса типа «мини-башня». У него нет флоппи-дисковода, последовательного и параллельного портов, зато есть три USB-порта (универсальная последовательная шина) на передней стороне и два — на задней. При проведении модернизации правая панель легко сдвигается, открывая доступ к жесткому диску и памяти.

Фирма Hewlett-Packard относит E-Vectra к классу сетевых компьютеров. Его размеры еще меньше, чем у iPAQ, он выполнен в мягких сине-коричневых тонах и весит всего 3,8 кг. E-Vectra может лежать плашмя или стоять вертикально (последнее рекомендуется производителем). Эта модель напоминает ноутбук не только размерами, но и наличием внешнего блока питания, что облегчает ее техническое обслуживание.

E-Vectra не имеет флоппи-дисковода, но в отличие от iPAQ у него сохранились последовательные и параллельные порты. Они размещены на задней стороне корпуса рядом с двумя USB-портами. Конструкция этого ПК позволяет системному администратору ключом блокировать доступ внутрь корпуса (иначе жесткий диск легко снимается). Можно также использовать пластмассовые скобы, чтобы закрывать порты и не допустить манипулирования с периферийными устройствами. E-Vectra с процессором Celeron-500 имеет 64-Мбайт ОЗУ и предустановленную операционную систему Windows 98. Все модели комплектуются 8 Гбайтным жестким диском.

Пользователям САПР и других графических программ, нуждающимся в более сильной видеосистеме, или компаниям, желающим приобрести более гибкие конфигурации, больше придется по душе полноценные персональные компьютеры. Для домашнего использования потребители обычно приобретают компьютер с модемом и хорошей мультимедийной системой, а также с более широким набором программного обеспечения.

На ежегодной выставке компьютеров Comdex-1999 Intel представила несколько персональных компьютеров, основанных на процессорах Intel Pentium III с DVD (цифровой видеодиск)-дисководом и 4-мя портами универсальной последовательной шины (USB).

Область применения вычислительной техники продолжает расширяться, вот еще один пример.

Через призму изображение из встроенного микродисплея создает картинку перед глазом человека таким образом, что она кажется отстоящей на расстоянии метр-полтора. Если же осуществить передачу изображения на оба глаза, можно получить объемное изображение.

Мы уже привыкли к калькуляторам в часах, в часы встраивается даже телевизор. Теперь очередь дошла и до компьютера.

Компания Seiko-Instruments встроила PC-подобный компьютер в корпус наручных часов, это устройство получило название "Рапьютер" (Ruputer). Рапьютер поступил в продажу в июне 1998 года.

Источники информации:

1. <http://www.computerhistory.org/timeline>

История вычислительной техники от 1945 до 1990гг.

2. МикроЭВМ: В 8 кн.: Практик. пособие/Под ред.

Л.Н.Преснухина. Кн.2. Персональные ЭВМ/ В.С.Кокорин,

А.А.Попов, А.А.Шижкевич.- М. Высш.шк.,1988,-159с.

Кн.6. Универсальные машины семейства СМ 1800/

Н.Д.Кабанов, В.С.Кравченко,А.Н.Шкамарда, Д.И.Панфилов.-

М. Высш.шк.,1988,-158с.

3. <http://osp.ru/pcworld/2000/06/034.htm>

Новые модели ПК "Мир ПК"

4.<http://www.atari-computer.de/mjaap/computer/english/index.htm>

History of the Home Computers (1975-today)

5.<http://www.gondolin.org.uk/hchof/>

Home Computer Hall of Fame

7.2. СЕРВЕРЫ

Для объединения рабочих групп в вычислительные сети и связи с удаленными пользователями необходимы специализированные машины-серверы. Для обслуживания небольших рабочих групп в локальных вычислительных сетях используются серверы, созданные на базе персональных компьютеров. Персональные компьютеры и специальные рабочие станции, предназначенные для работы в различных сетях, имели приблизительно одинаковые показатели и архитектуру в одном поколении. В зависимости от вычислительной мощности сети варьируются параметры серверов. На смену мэйн-фреймам в сетях на уровне предприятий пришли компьютеры, получившие название суперсерверов. В архитектуре суперсерверов используется несколько процессоров, высокоскоростная системная шина и несколько более медленных стандартных шин, предназначенных для поддержки большого количества параллельных каналов связи, обеспечивающих работу с удаленными устройствами.

Для увеличения производительности серверов применяют методы масштабирования вглубь и вширь.

Масштабирование вглубь является эффективным способом повышения скорости работы серверов за счет увеличения количества устанавливаемых в компьютере процессоров и увеличения пропускной способности шины. В архитектуре суперсерверов используется несколько процессоров, высокоскоростная системная шина и несколько более медленных стандартных шин, предназначенных для работы с устройствами ввода/вывода.

При масштабировании вширь производительность увеличивается за счет сетевого соединения нескольких серверов.

Системы с массовым параллелизмом (MPP) и слабосвязанные системы, называемые часто архитектурами без разделяемых ресурсов, представляют собой быстрые сети, связывающие однопроцессорные или симметричные многопроцессорные системы - узлы.

Суперсерверы строятся, зачастую, как кластерные системы. Кластер можно определить как систему из нескольких компьютеров, совместно работающих над одной общей прикладной задачей. Кластеры изначально ориентированы на многозадачное использование.

7.2. Серверы

Для объединения рабочих групп в вычислительные сети необходимы специализированные машины-серверы.

Для обслуживания небольших рабочих групп в локальных вычислительных сетях используются серверы, созданные на базе персональных компьютеров. На нижнем уровне обслуживание небольших рабочих групп в локальных сетях взяли на себя серверы на базе PC (или PC - серверы), аппаратная база которых включает стандартные компоненты персонального компьютера. Персональные компьютеры и рабочие станции, предназначенные для работы в различных сетях, всегда имели приблизительно одинаковые показатели и архитектуру в одном поколении, поэтому чаще всего персональные компьютеры используются в качестве рабочих станций.

В зависимости от вычислительной мощности сети варьируются параметры серверов. На смену мэйнфреймам в сетях на уровне предприятий пришли компьютеры, получившие название суперсерверов. Мэйнфреймы с точки зрения их архитектуры представляют собой хорошую аппаратную платформу для построения мощных высоконадежных серверов. В 1988 году была разработана архитектура сервера- ESA (Enterprise System Architecture), где при помощи регистра доступа (указывающего на пространство данных) был осуществлен новый вид адресации виртуальной памяти. В 1990 году представлены новые компьютеры ES/9000, системы ESA/390, в их архитектуре наряду с параллельными каналами связи, осуществляющими связь с устройствами, удаленными на расстояние до 122 метров, впервые были использованы волоконно-оптические каналы (ESCON), позволяющие осуществлять связь на расстоянии до 20 км.

Основное преимущество мэйнфреймов в высокой производительности ввода/вывода и в поддержке гигантской конфигурации внешних устройств (256 каналов по 256 устройств у ES/9000) и они долго удерживали лидирующие позиции в области обработки данных очень большой емкости, однако по всем параметрам мэйнфреймы уступают ряду серверов RISC - архитектуры (с сокращенным набором команд) и, естественно, вытесняются ими.

Для увеличения производительности серверов применяют методы масштабирования вглубь и вширь.

Масштабирование вглубь является эффективным способом повышения скорости работы серверов за счет увеличения количества устанавливаемых в компьютере процессоров и увеличения пропускной способности шины. В архитектуре суперсерверов используется несколько процессоров, высокоскоростная системная шина и несколько более медленных стандартных шин, предназначенных для работы с устройствами ввода/вывода.

При масштабировании вширь производительность увеличивается за счет сетевого соединения нескольких серверов.

Изначально платформой для реализации очень больших баз данных (Very Large Databases - VLDB) служили симметричные многопроцессорные системы (Symmetric MultiProcessor - SMP), способные эффективно обрабатывать большие объемы информации и обладающие хорошим соотношением цена/производительность.

Сейчас многие компании и потребители обращают свои взоры к системам с массовым параллелизмом (MPP) и слабосвязанным (кластерным) системам, что объясняется двумя их основными преимуществами - высоким потенциалом отказоустойчивости и более широкими возможностями наращивания производительности. Для больших коммерческих систем совершенно недопустимо, чтобы в результате аппаратного или программного сбоя данные оказались недоступными для пользователей. Те же проблемы возникают, если необходимо установить новую версию операционной системы или сервера системы управления базами данных (СУБД).

Системы с массовым параллелизмом (MPP) и слабосвязанные системы, называемые часто архитектурами без разделяемых ресурсов, представляют собой быстрые сети, связывающие однопроцессорные или симметричные многопроцессорные системы - узлы. Если база данных сосредоточена не на единственном узле, а поделена между множеством узлов, то отказ одного из них приведет лишь к недоступности относящихся к нему данных. Остальные данные будут попрежнему доступны пользователям. Если же в конфигурации предусмотрено аварийное переключение узлов, то доступ к данным отказавшего узла будет автоматически возобновлен через дублирующие узлы.

Суперсерверы строятся, зачастую, как кластерные системы. Кластер можно определить как систему из нескольких компьютеров, совместно работающих над одной общей прикладной задачей. Кластеры строятся на тех системах, которые изначально ориентированы на многозадачное использование. Количество процессоров в корпоративных серверах увеличивается с 4 до 8. Появление 8-процессорных серверов существенно поднимает производительность кластерных систем и ускоряет переход к гигабитным сетям.

Корпорация Compaq Computer анонсировала производство суперкомпьютерных систем AlphaServer SC на базе RISC-процессоров Alpha, включающих от 64 до 512 процессоров, с возможностью масштабирования. Планируется достигнуть производительности до 100 Tflops в течении следующих 5 лет. Первая система такого класса (128 узлов) уже была поставлена в сентябре 1999 года в Ливерморскую Национальную Лабораторию в рамках проекта PathForward.

Системы были построены на стандартных SMP-серверах семейства AlphaServer. В качестве коммуникационной технологии используется высокоскоростная сеть QsNet, разработанная компанией Quadrics Supercomputers World (QSW), которая позволяет объединить в единую массивно-параллельную систему до 128 узлов AlphaServer.

При использовании коммуникационной сети от QSW совместно с 4х-процессорными серверами AlphaServer ES40 была достигнута скорость обмен

на данными в 206 Мб/с и латентность (задержка сообщений) порядка 6 микросекунд.

На системах AlphaServer SC также будет устанавливаться разработанное QSW программное обеспечение управления ресурсами (QSW) и поддержки параллельной файловой системы (PFS).

Серверы серии GS MPP архитектуры содержат до 32 процессоров. От них уже полшага и до 64-процессорных систем Wildfire, практически той же архитектуры.

В максимальной конфигурации GS320 выглядит весьма впечатляюще: пиковая производительность около 47 GFLOPS, общая емкость памяти до 156 Гбайт, подсистема ввода/вывода содержит до 224 PCI - адаптеров (PCI-современная шина).

Базовой строительной единицей серверов класса GS являются блоки QBB (Quad Building Block)

Построение системы, при которой каждый процессор имеет свой порт на коммутаторе (внутри QBB, в данном случае), обладает преимуществами перед SMP-системами.

В серверах GS огромное внимание уделено средствам повышения надежности, отказоустойчивости и обеспечения непрерывной доступности, с этими целями в серверах GS обеспечена поддержка аппаратного разбиения (partitioning) всей системы на разделы. Разделы представляют собой фактически отдельные компьютерные системы, на которых могут работать разные версии ОС или вообще разные ОС. Подобное разбиение хорошо зарекомендовало себя не только в мире мэйнфреймов, но и в Unix-системах UltraEnterprise 10000.

Анонсированная компанией Compaq Computer технология построения кластеров из N-узлов и стратегия обеспечения высокого уровня готовности позволяет надеяться, что представленная фирмой архитектура E2000 в ближайшие годы будет стимулировать разработку продуктов, ориентированных на предприятие. Эта стратегия рассчитана главным образом на самый высокий уровень корпоративных информационных систем и включает в себя целый ряд инициатив, в том числе кластерные серверы с симметричной многопроцессорной обработкой (SMP) и сетевой (ServerNet); системы хранения, высокоскоростные шины обмена данными; наборы инструментальных средств разработчика.

Над проектом E2000 работает тесно взаимодействующая группа компаний-партнеров, в том числе Microsoft, Intel, Tandem, корпорация Digital Equipment. Развитие технологии E2000 позволило к 2000 году достигнуть скорости обработки до 500 тыс. запросов в минуту. В архитектуре E2000 сервер Proliant является базовым строительным блоком; дополняют его кластеризация, коммуникационные протоколы, система хранения и кластерная операционная среда.

Но необходимо не только объединить но и балансировано загрузить все рабочие станции.

Изначально перед кластерами ставились две задачи - мощные вычисления и поддержка распределенных баз данных, особенно таких, для которых требуется повышенная надежность. Привлекательность кластера определяется прежде всего возможностью построить уникальную архитектуру, обладающую достаточной производительностью, устойчивостью к отказам аппаратуры и программного обеспечения и при этом легко наращиваемую и модернизируемую, но универсальными средствами, из стандартных компонентов и за умеренную цену (несравненно меньшую, чем цена уникального отказоустойчивого компьютера или системы с массовым параллелизмом).

Реально кластер был введен в жизнь после создания Oracle Parallel Server - первого коммерческого изделия на рынке профессиональных многопользовательских систем управления базами данных (СУБД), ориентированного одновременно на распределенную многопроцессорную архитектуру и массовые применения.

Пионером создания кластерных архитектур, вообще, и кластеров баз данных, в частности, выступила корпорация Digital Equipment, в начале восьмидесятых предложившая коммерческую реализацию кластеров мини-компьютеров под управлением операционной системы DEC VMS, а в 1991 году начавшая поставки своих кластерных VMS-систем, предназначенных для работы с Oracle Parallel Server (OPS).

Для того чтобы эффективность наращивания кластера не падала с увеличением количества узлов, необходимо такое средство внутрикластерного взаимодействия, которое обеспечивало бы адекватную скорость обмена данными между узлами кластера. Простейшее решение такой задачи - просто сеть Ethernet, TokenRing и т.д. Однако при построении сети таким образом неминуемо (и при том очень быстро) наступает момент, когда производительности среды становится недостаточно. Наиболее эффективны при построении кластеров коммуникационные технологии "канального" типа (когда устанавливается жесткий канал между двумя узлами), но останавливает перспектива квадратичного роста числа каналов при увеличении числа узлов. Потому самыми привлекательными (при условии достаточного финансирования) выглядят системы с коммутацией каналов высокой производительности.

Кроме масштабируемости, OPS обеспечивает сервис, получивший название "высокая готовность", т.е. возможность обнаружения, локализации и упразднения единичных сбоев и отказов системы. При отказе одной из вычислительных систем, входящих в кластер (одного из пресорных модулей), очередной запрос переадресуется другой вычислительной системе.

Кластерные системы на базе локальных сетей Ethernet, или NI-кластеров (Network Interconnect), реализуются традиционными способами. К достоинствам этого подхода следует отнести его максимальную простоту и дешевизну.

NI-кластер предоставляет обычный сетевой ресурс и единичный путь (через сеть) доступа к разделяемым ресурсам.

VAX-кластер - классический пример слабосвязанных систем, надежный на уровне единичных отказов оборудования и программного обеспечения. VAX-кластер может содержать до четырех компьютеров с общей шиной и разделяемыми накопителями на ней.

Изделие, несущее в своем названии слово "кластер", впервые появилось в перечне продуктов компании IBM в 1991 году. Он представлял собой лишь два узла RS/6000, один из которых находился в "горячем" резерве. Несколько позже узлы "научились" функционировать независимо, заменяя друг друга в случае сбоя или отказа. Тогда же появились упоминания о возможности наращивания кластера до восьми узлов.

Сегодня кластер IBM поддерживает как однопроцессорные, так и SMP-узлы, построенные по уникальной технологии Data Crossbar Switch. При таком построении системы общая шина, характерная для большинства SMP-архитектур, заменяется на своего рода систему переключаемых коммутационных каналов. По существу, число процессоров при этом ограничено лишь характеристиками поддержки симметричной мультипроцессорной архитектуры операционной системой.

Решение это - острое стратегической линии IBM "from palmtop to terraFLOPS" - Scalable POWERparallel System SP2IBM, которое заполняет ту же нишу, что продукты таких производственных альянсов, как Cray-Sun и Convex-HP.

"Стандартная" конфигурация может содержать от 2 до 128 узлов (в терминологии массово-параллельных архитектур), на заказ до 512. Архитектурно SP2 - типичная слабосвязанная архитектура, где у каждого процессорного модуля собственная память до 2 Гбайт и свои дисковые накопители от 1 до 8 Гбайт.

Компания Sequent заслуженно причисляется к пионерам кластерных UNIX-систем. Большую роль в развитии кластеров Sequent сыграл способ организации накопителей - это еще одна иллюстрация того, что в кластерных архитектурах, предназначенных для работы с базами данных, накопители играют ведущую роль. Кластер Sequent пополнился средствами восстановления для систем высокой готовности, стал обеспечивать поддержку до четырех узлов и поддержку систем разного поколения в рамках одного кластера. С точки зрения сети, кластер представляется единым узлом.

Среди лидирующих поставщиков UNIX-систем HP объявила о поддержке Oracle Parallel Server, пожалуй последней - в конце января 1995 года. Кластерная программа HP началась несколькими годами раньше, но первые кластерные системы на основе решений HP были ориентированы скорее на быстрые вычисления, нежели на распределенные базы данных. Отсюда и аппаратная ориентация такого кластера - рабочие станции APOLLO. Первые кластеры обеспечивали масштабируемость производительности, позднее они стали использоваться как средства поддержки высокой готовности. Кроме того, среди кластерных решений фирма HP предлагает уникальную возможность создания кластеров в рамках глобальной сети.

Компания Sun вступила на рынок кластерных систем с объявления SPARC-Cl Server. Кластер компании Sun ориентирован на применение в качестве узлов SMP-систем SPARCServer1000 и SPARCCenter2000. Компания Sun была первой компанией, ориентирующийся на использование технологии, обеспечивающей удаление накопителей и узлов друг от друга на расстояние до 2 километров.

Постоянная доступность данных — еще один барьер на пути в мир высокопроизводительных систем. Рассмотрим пример построения такой системы.

Для сред, требующих гарантированной надежности и постоянной доступности данных SQL Server 7.0 Enterprise Edition интегрируется с Microsoft Cluster Server (MSCS). MSCS объединяет два обычных сервера в один виртуальный — кластер. Каждая система — узел кластера — располагает своим процессором, памятью и дисками. Все они соединены между собой оптоволоконной сетью (кроме того, отдельные системы кластера могут иметь общий дисковый массив). Такая конфигурация отказоустойчива — если один из узлов кластера выходит из строя, остальные узлы берут его функции на себя.

Источники информации:

1. Михаил Кузьминский. MPP-серверы AlphaServer серии GS. «Computerworld Россия», #27-28/2000

2. <http://www.osp.ru/win2000/1999/03/04.htm>
Майкл Оти. Новые возможности масштабирования SQL Server 7.0

3. Энциклопедия персонального компьютера.
"Кирилл и Мефодий"

8.1. ПЕРВЫЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ

К классу суперкомпьютеров относят компьютеры, которые имеют максимальную на время их выпуска производительность.

Первые суперкомпьютеры появились уже среди компьютеров второго поколения (1955 - 1964, см. компьютеры второго поколения), они были предназначены для решения сложных задач, требовавших высокой скорости вычислений. Это LARC фирмы UNIVAC, Stretch фирмы IBM и "CDC-6600" (семейство CYBER) фирмы Control Data Corporation, в них были применены методы параллельной обработки (увеличивающие число операций, выполняемых в единицу времени), конвейеризация команд (когда во время выполнения одной команды вторая считывается из памяти и готовится к выполнению) и параллельная обработка при помощи процессора сложной структуры, состоящего из матрицы процессоров обработки данных и специального управляющего процессора, который распределяет задачи и управляет потоком данных в системе. Компьютеры, выполняющие параллельно несколько программ при помощи нескольких микропроцессоров, получили название мультипроцессорных систем.

Отличительной особенностью суперкомпьютеров являются векторные процессоры, оснащенные аппаратурой для параллельного выполнения операций с многомерными цифровыми объектами — векторами и матрицами. В них встроены векторные регистры и параллельный конвейерный механизм обработки. Если на обычном процессоре программист выполняет операции над каждым компонентом вектора по очереди, то на векторном — выдает сразу векторные команды

Компьютеры фирмы Cray Research стали классикой в области векторно-конвейерных суперкомпьютеров. Существует легенда, что первый суперкомпьютер Cray был собран в гараже, однако этот гараж был размером 20 x 20 метров, а платы для нового компьютера заказывались на лучших заводах США.

Компьютер Cray-1, работа над которым была закончена в 1976 году относится к классу первых сверхвысокопроизводительных векторных компьютеров. К этому классу относятся также машины Иллиак-IV, STAR-100, ASC. Производительность Cray-1 составляла 166 Мфлоп/сек. Компьютер был собран на интегральных схемах. Выполнял 128 инструкций.

В состав структуры компьютера Cray-1 входили:

1. Основная память, объемом до 1048576 слов, разделенная на 16 независимых блоков, емкостью 64К слов каждый;
2. Регистровая память, состоящая из пяти групп быстрых регистров, предназначенных для хранения и преобразования адресов, для хранения и обработки векторных величин;

3. Функциональные модули, в состав которых входят 12 параллельно работающих устройств, служащих для выполнения арифметических и логических операций над адресами, скалярными и векторными величинами.

Двенадцать функциональных устройств машины Cray-1, играющие роль арифметико-логических преобразователей, не имеют непосредственной связи с основной памятью. Так же как и в машинах семейства CDC-6000, они имеют доступ только к быстрым операционным регистрам, из которых выбираются операнды и в которые записываются результаты выполнения операций;

4. Устройство, выполняющее функции управления параллельной работой модулей, блоков и устройств центрального процессора;

5. 24 канала ввода-вывода, организованные в 6 групп с максимальной пропускной способностью 500000 слов в секунду (2 млн. байт в сек.);

6. Три группы операционных регистров, непосредственно связанных с арифметико-логическими устройствами, называются основными. К ним относятся восемь А-регистров, состоящих из 24 разрядов каждый. А-регистры связаны с двумя функциональными модулями, выполняющими сложение (вычитание) и умножение целых чисел. Эти операции используются главным образом для преобразования адресов, их базирования и индексирования. Они также используются для организации счетчиков циклов. В ряде случаев А-регистры используются для выполнения арифметических операций над целыми числами.

До середины 80-х годов в списке крупнейших производителей суперкомпьютеров в мире были фирмы Sperry Univac и Burroughs. Первая известна, в частности, своими мэйнфреймами UNIVAC-1108 и UNIVAC-1110, которые широко использовались в университетах и государственных организациях.

После слияния Sperry Univac и Burroughs объединенная фирма UNISYS продолжала поддерживать обе линии мэйнфреймов с сохранением совместимости снизу вверх в каждой. Это является ярким свидетельством непреложного правила, поддерживавшего развитие мэйнфреймов - сохранение работоспособности ранее разработанного программного обеспечения.

В мире суперкомпьютеров известна и компания Intel. Многопроцессорные компьютеры Paragon фирмы Intel в семействе многопроцессорных структур с распределенной памятью стали такой же классикой, как компьютеры фирмы Cray Research в области векторно-конвейерных суперкомпьютеров.

8.1. Первые суперкомпьютеры

Пожалуй, не существует точного определения для понятия суперкомпьютер. Определений суперкомпьютерам пытались давать много, иногда серьезных, иногда ироничных, Кен Батчер предложил такой шуточный вариант: Суперкомпьютер - это устройство, сводящее проблему вычислений к проблеме ввода/вывода. Производительность персональных компьютеров с процессором Pentium-II/300МГц сравнима с производительностью суперкомпьютеров начала 70-х годов, но для своего времени это обычный персональный компьютер.

К классу суперкомпьютеров относят компьютеры, которые имеют максимальную на время их выпуска производительность. Критерий мощности суперкомпьютера на настоящее время установили в США, наложив ограничения на экспорт за границу вычислительных средств, при помощи которых можно проводить численное моделирование ядерных реакций.

Первые суперкомпьютеры появились уже среди компьютеров второго поколения (1955 - 1964, см. компьютеры второго поколения), они были предназначены для решения сложных задач, требовавших высокой скорости вычислений. Это LARC фирмы UNIVAC, Stretch фирмы IBM и "CDC-6600" (семейство CYBER) фирмы Control Data Corporation, в них были применены методы параллельной обработки (увеличивающие число операций, выполняемых в единицу времени), конвейеризация команд (когда во время выполнения одной команды вторая считывается из памяти и готовится к выполнению) и параллельная обработка при помощи процессора сложной структуры, состоящего из матрицы процессоров обработки данных и специального управляющего процессора, который распределяет задачи и управляет потоком данных в системе. Компьютеры, выполняющие параллельно несколько программ при помощи нескольких микропроцессоров, получили название мультипроцессорных систем.

В годы с 1955 по 1961 в США фирмой IBM разрабатывался проект "Stretch", оказавший большое влияние на развитие структуры универсальных компьютеров. В проекте были воплощены все известные к 1960 году структурные принципы повышения производительности, такие как:

- совмещение операций, характерное для мультипрограммирования,
- разделение времени работы различных блоков и устройств, выполняющих одну команду,
- совмещение во времени подготовки и выполнения нескольких команд одновременно,
- параллельное выполнение нескольких независимых программ.

В 1964 году был создан компьютер CDC6600, а в 1969 году - CDC7600, вошедшие в семейство CYBER (см. компьютеры третьего поколения). Для повышения быстродействия в суперкомпьютерах семейства CYBER использовались методы конвейерной и параллельной обработки при помощи про-

цессора сложной структуры, состоящего из матрицы процессоров обработки данных и специального управляющего процессора, который распределяет задачи и управляет потоком данных в системе.

В 1972 году был создан сверхпроизводительный компьютер ILLIAC4 (США) с конвейерной архитектурой, включавшей 64 процессора. Это был наиболее крупный проект среди компьютеров третьего поколения. Разрабатывали компьютер сотрудники Илинойского университета во главе с Д.Слотником. Компьютер был предназначен для решения системы уравнений в частных производных при помощи итерационных разностных схем. Решение такой задачи может быть ускорено в 64 раза по сравнению с последовательным вычислением на однопроцессорном компьютере. Максимальное быстродействие компьютера составляло 200Млн.операций в секунду.

Приведем параметры суперкомпьютера CONVEX C-3440. Суперкомпьютер включал в себя 4 векторных процессора, 1 процессор ввода-вывода, объем физической памяти составлял 512 Мб, объем виртуальной памяти до 4 Гб, объем памяти на жестких дисках 4,5 Гб, 9-дорожечный накопитель на магнитной ленте, интерфейс Ethernet (10 Мбит/сек), 16-канальный мультиплексор. Пиковая производительность суперкомпьютера составляла 800 Мфлоп/сек.

До середины 80-х годов в списке крупнейших производителей суперкомпьютеров в мире были фирмы Sperry Univac и Burroughs. Первая известна, в частности, своими мэйнфреймами UNIVAC-1108 и UNIVAC-1110, которые широко использовались в университетах и государственных организациях. Мэйнфреймы Burroughs от B5000 до B78xx широко применялись в коммерческих, банковских, приложениях. Фирма выпускала и совместимые с ними миникомпьютеры, которые использовались и в нашей стране. Фирма Burroughs вообще отличалась своими разработками в области компьютерных архитектур, ею были разработаны суперкомпьютеры Illiac-IV и BSP.

После слияния Sperry Univac и Burroughs объединенная фирма UNISYS продолжала поддерживать обе линии мэйнфреймов с сохранением совместимости снизу вверх в каждой. Это является ярким свидетельством непреложного правила, поддерживавшего развитие мэйнфреймов - сохранение работоспособности ранее разработанного программного обеспечения.

В 1989 году была пущена в опытную эксплуатацию векторно-конвейерная супер-ЭВМ "Электроника ССБИС" разработки Института проблем кибернетики РАН и предприятий электронной промышленности. Производительность в однопроцессорном варианте составляла 250 MFLOPS, передача данных между массовой интегральной памятью и оперативной памятью осуществлялась под управлением специализированного процессора, реализующего произвольные методы доступа. Разработку супер-ЭВМ вели В.А. Мельников, Ю.И. Митропольский, В.З. Шнитман, В.П. Иванников.

В 1990 году в Советском Союзе была введена в эксплуатацию векторно-конвейерная супер-ЭВМ "Эльбрус 3.1" на базе модульных конвейерных процессоров (МКП), разработанная в ИТМ и ВТ имени С.А. Лебедева группой

конструкторов, в которую входили Г.Г. Рябов, А.А. Соколов, А.Ю. Бяков. Производительность суперкомпьютера в однопроцессорном варианте составляла 400 MFLOPS.

В 1996 году японская компания Fujitsu пополнила класс суперкомпьютеров новой машиной VPP700, позволяющей подключать до 256 рабочих мест, имеющую производительность 500 миллиардов операций с плавающей точкой в секунду. Этот векторный компьютер был предназначен для научных и технических расчетов. Размер дисковой памяти мог варьироваться от 4 до 512 Гбайт.

В мире суперкомпьютеров известна и компания Intel. Многопроцессорные компьютеры Paragon фирмы Intel в семействе многопроцессорных структур с распределенной памятью стали такой же классикой, как компьютеры фирмы Cray Research в области векторно-конвейерных суперкомпьютеров.

Рассмотрим подробнее компьютер CRAY1.

На фотографии Вы видите суперкомпьютер CRAY1 (слева) с производительностью не менее 100млн. арифметических операций в сек. Справа переплетение соединительных проводов одной из стоек компьютера (общее их количество составляло более 300 тысяч).

Один из модулей компьютера CRAY1. Блок питания компьютера на интегральных микросхемах (1976г.)

Об организации компьютера с интересом рассказывает один из разработчиков - Ричард М. Расселл.

Расселл относит Cray-1 к классу сверхвысокопроизводительных векторных компьютеров. К этому классу относятся также машины Иллиак-IV, STAR-100, ASC.

В состав центрального процессора Cray-1 входят:

1. Основная память, объемом до 1048576 слов, разделенная на 16 независимых блоков, емкостью 64К слов каждый;

2. Регистровая память, состоящая из пяти групп быстрых регистров, предназначенных для хранения и преобразования адресов, для хранения и обработки векторных величин;

3. Функциональные модули, в состав которых входят 12 параллельно работающих устройств, служащих для выполнения арифметических и логических операций над адресами, скалярными и векторными величинами. Двенадцать функциональных устройств машины Cray-1, играющие роль арифметико-логических преобразователей, не имеют непосредственной связи с основной памятью. Так же как и в машинах семейства CDC-6000, они имеют доступ только к быстрым операционным регистрам, из которых выбираются операнды и в которые записываются результаты выполнения операций;

4. Устройство, выполняющее функции управления параллельной работой модулей, блоков и устройств центрального процессора;

5. 24 канала ввода-вывода, организованные в 6 групп с максимальной пропускной способностью 500000 слов в секунду (2 млн. байт в сек.);

6. Три группы операционных регистров, непосредственно связанных с арифметико-логическими устройствами, называются основными. К ним относятся восемь А-регистров, состоящих из 24 разрядов каждый. А-регистры связаны с двумя функциональными модулями, выполняющими сложение (вычитание) и умножение целых чисел. Эти операции используются главным образом для преобразования адресов, их базирования и индексирования. Они также используются для организации счетчиков циклов. В ряде случаев А-регистры используются для выполнения арифметических операций над целыми числами.

В следующую группу основных операционных регистров входят восемь 64-разрядных S-регистров, непосредственно связанных с функциональными устройствами выполнения арифметических действий со скалярными величинами, представленными в формате с фиксированной и плавающей точкой. Эти S-регистры аналогичны по назначению регистрам операндов в машине CDC-6600.

Особый интерес представляют восемь 64-элементных векторных регистров, которые предназначены для хранения восьми операндов-векторов. Каждый такой операнд состоит из 64 компонент (элементов). В свою очередь каждая компонента представляет собой 64-разрядное слово, в котором хранится число с плавающей или фиксированной запятой. Компоненты вектора могут представлять собой элементы некоторой таблицы. В системе команд машины предусмотрены специальные операции, в качестве операндов которых выступают многокомпонентные векторы. Не во всех задачах требуется обрабатывать векторы размерности 64. Специальный управляющий регистр центрального процессора задает требуемую размерность (число элементов). Этот регистр программно-управляем, что позволяет в процессе вычислений изменять размерность обрабатываемых векторов. Кроме того, в центральном процессоре предусмотрен регистр маски, с помощью которого можно блокировать выполнение арифметико-логических действий над некоторыми компонентами вектора, т. е. осуществлять выборочные покомпонентные действия. Регистр маски по своему назначению аналогичен регистру маски машины Иллиак-IV.

В вычислительных методах линейной алгебры часто встречается процедура, состоящая в том, что строку матрицы (все элементы строки матрицы) умножают на некоторую скалярную величину и затем вычитают из элементов другой строки, с тем чтобы получить, например, нулевой коэффициент при некотором неизвестном. На этой процедуре основан метод исключения Гаусса при решении систем линейных алгебраических уравнений. Выполнение такой процедуры можно запараллелить двумя способами, приводящими, естественно, к одинаковому результату.

Поскольку в машине Cray-1 устройства, выполняющие операции умножения и вычитания, могут работать одновременно, то эти процедуры можно запараллелить так. Умножить первую компоненту первого вектора на скалярную величину, после этого приступить к выполнению операции вычита-

ния результата из первой компоненты второго вектора, а пока происходит вычитание, параллельно выполнить операцию умножения скаляра на вторую компоненту первого вектора. Механизм, позволяющий совмещать различные арифметические действия, Расселлом назван цепочкой. Этот принцип организации параллелизма принято называть конвейрным. Сочетание конвейрного параллелизма с "покомпонентным", по мнению разработчиков машины Cray-1, составляет одну из важных особенностей и достоинств ее структурной организации.

В состав регистровой памяти центрального процессора входят две группы вспомогательных буферных регистров, сокращающих число обращений к главной памяти. В первую группу входят 64 В-регистры, которые служат для накопления операндов, поступающих из А-регистров или направляемых в А-регистры из основной памяти. Во вторую группу входят 64 буферных регистра операндов, связанных с S-регистрами. Они называются Т-регистрами и служат тем же целям в отношении основной памяти, что и В-регистры. Совместно В- и Т- регистры можно рассматривать как единый буфер для хранения часто используемых операндов и их адресов.

Поскольку к регистрам В и Т можно обращаться из программы, то их можно рассматривать как промежуточную, доступную для программы память, хранящую 24-разрядные операнды (В-регистры) и 64-разрядные операнды (Т- регистры). Пересылками между памятью и В- и Т-регистрами управляют программы пользователя. Это означает, что В- и Т-регистры можно рассматривать как программно управляемые буферы. В этом состоит отличие от механизма управления буферной памятью в компьютере IBM-370, который реализован аппаратным путем.

Кроме того, в состав центрального процессора машины Cray-1 входит регистровая буферная память значительного объема для промежуточного хранения команд программы, исполняемой в данный момент. Эта буферная память состоит из четырех секций, каждая по 16 слов. Последовательность команд программы предварительно поступает в буфер. Если она содержит условный переход, то в буфере накапливаются также команды, относящиеся к последовательности, на которую возможен этот условный переход. Буфер команд является средством ускорения работы устройства управления, так как заметно минимизирует время ожидания команд из главной памяти.

Система команд машины Cray-1 прямо отражает регистровую структуру центрального процессора, своеобразие связи функциональных модулей с операционными регистрами и связи их с главной памятью. Команды машины Cray-1 двух форматов: короткие команды - 16 разрядов и длинные - 32 разряда.

Семь первых разрядов определяют код операции, затем следуют трехразрядные поля i , j , k , определяющие соответственно номер регистра результата и номера регистров исходных операндов.

В одном слове машины Cray-1 может размещаться до четырех команд короткого формата. Длинные команды могут начинаться в одном слове и

продолжаться в следующем. Это позволяет плотно упаковывать команды в памяти машины, что в какой-то степени ускоряет их выборку.

К главным управляющим регистрам машины относятся следующие: счетчик команд, способный адресовать каждую четвертую часть слова, регистр базы (BA), который служит для образования абсолютного адреса при обращении к памяти и одновременно является верхней границей адресного пространства программы; регистр границы адресов (LA), содержащий нижнюю границу доступных для текущей программы адресов, регистры BA и LA служат для защиты памяти, выделенной для программы, активной в мультипрограммном режиме. Тем самым в машине Cray-1 применен метод защиты по границам, используемый во многих машинах, в частности в машине Минск-32.

В составе центрального процессора имеется девятиразрядный регистр F, фиксирующий причину прерываний, а именно: прерывания по нормальному окончанию задачи, окончанию по ошибке, по вводу- выводу, по появлению ошибок в операндах, по переполнениям, по меткам времени и сигналам с пульта оператора. Специальный регистр режимов исполнения программ позволяет блокировать некоторые группы прерываний.

Система прерываний в машине Cray-1 построена по образу и подобию системы, принятой для машин-предшественников семейства CDC, такая же, как у CDC-7600.

Схемами управления автоматически содержимое всех управляющих и основных операционных регистров прерванной программы, при появлении прерывания, заносится в область основной памяти. Адрес начала сохраняемых данных указан в специальном управляющем регистре. После этого управление автоматически передается программам операционной системы, которые анализируют причину прерывания и, при необходимости, запоминают в основной памяти содержимое всех групп промежуточных и буферных регистров (B, T и V). В основной памяти для каждой задачи, выполняемой в мультипрограммном режиме, выделены массивы, в которых сохраняется вся информация, необходимая для продолжения прерванной программы.

Защита памяти и система прерываний организованы так, что значительная доля работы по запоминанию информации для возврата, по организации процесса переключения с одной задачи на другую, возлагается на операционную систему. Отсутствие достаточно развитых аппаратных средств динамического перераспределения памяти, упрощенный аппарат преобразования программных адресов в физические (аппаратное базирование), вполне допустимы в машинах, предназначенных для решения крупных научных задач. Этот режим "научных" вычислений характерен сравнительно редким появлением ситуаций, требующих переключения с решения одной задачи на другую. Это в свою очередь позволяет по- иному реализовать защиту и прерывания, не заботясь о быстром аппаратном их выполнении.

Для представления чисел с плавающей запятой в компьютере Cray-1 на мантиссу со знаком выделено 49 разрядов, на двоичный порядок выделено 15

разрядов. Тем самым цена младшего разряда мантиссы 2-48, а диапазон представления чисел приблизительно оценивается величиной +214.

Математическое обеспечение машины Cray-1, так же как и у ее предшественников машин фирмы CDC, "Фортранно-ориентировано". Это означает, что в качестве основного входного языка выбран Фортран, интенсивно использовавшийся в научных расчетах. Для машины Cray-1 создан специальный оптимизирующий транслятор со стандартного Фортрана, учитывающий специфику этой векторной машины.

С переходом к распределенным вычислениям и к технологии клиент-сервер ведущие позиции мэйнфреймов были подорваны, но на первых порах распределенная обработка информации оказалась не дешевле, как это предполагалось, а дороже централизованной. Это связано с большими затратами на обслуживание распределенных систем. С другой стороны, переход к идеологии клиент-сервер является сложным процессом, и далеко не все фирмы-потребители смогли с ним сразу справиться. Дороговизна мэйнфреймов и большие затраты на поддержку их системы жизнеобеспечения были их основными недостатками. Переход на КМОП-технологии вызвал резкое удешевление этих компьютеров. Одновременно резко снизились их требования к площадям, системам электропитания и охлаждения. В результате многие мэйнфреймы стали работать в офисном окружении. Учитывая необходимость в поддержке большого количества работающих на мэйнфреймах приложений, можно понять, почему позиции мэйнфреймов на рынке средств вычислительной техники на какое-то время стабилизировались.

При построении суперкомпьютеров обладающих производительностью порядка 1,5 млрд. операций в секунду используются масштабируемые архитектуры с массовым параллелизмом. Суперкомпьютеры строятся как многопроцессорные системы или системы, объединяющие в единую множество высокопроизводительных вычислительных систем.

К данному классу можно отнести компьютеры Intel Paragon, IBM SP1, Parsytec, IBM SP2 и CRAY T3D/T3E. К этому же классу можно отнести и сети обычных компьютеров, которые все чаще рассматривают как дешевую альтернативу дорогим суперкомпьютерам.

Применение унифицированных узлов позволяет легко масштабировать вычислительную систему. Каждый узел компьютера CRAY-T3D включает в себя два процессорных элемента (processing element), сетевой интерфейс (network interface), средство поблочной пересылки (block transfer engine). В частности система CRAY-T3D может быть построена на 32, 64, 128, 256, 512, 1024, или 2048 процессорных элементах.

Масштабируемость включает в себя возможности наращивания конфигурации и производительности компьютера по всем основным параметрам: числу процессоров, емкости оперативной памяти и ее пропускной способности, конфигурации внешних устройств (от накопителей на жестких магнитных дисках до сетевых контроллеров), пропускной способности подсистемы ввода-вывода и т. д. Масштабируемость включает и увеличение пропускной

способности сетевого соединения при росте числа узлов в системах массового параллелизма (MPP).

При построении многопроцессорной системы может использоваться одна из нескольких архитектур, определяющих схему соединения процессорных элементов между собой, схему связей с устройствами ввода/вывода и блоками памяти.

Симметричная мультипроцессорная обработка (SMP) является архитектурой, в которой несколько процессоров разделяют доступ к единственной общей памяти и работают под управлением одной копии операционной системы. В этом случае задания могут распределяться для выполнения на разных процессорах в пределах имеющихся ресурсов, допуская одновременное выполнение нескольких процессов. Главным преимуществом архитектуры SMP, по сравнению с другими подходами к реализации мультипроцессорных систем, является возможность использования ранее разработанных программных приложений. Этот фактор существенно сокращает время выхода на рынок и готовность традиционных коммерческих приложений на системах SMP по сравнению с другими мультипроцессорными архитектурами. Основным недостатком архитектуры в том, что такие системы нуждаются в высокой пропускной способности шины памяти. Требования к пропускной способности шины возрастают пропорционально числу процессоров, объединенных в систему и ограничивают возможность наращивания вычислительной мощности системы. Поэтому целесообразно использовать кэш памяти второго уровня (внешние для процессора буферные запоминающие устройства) для уменьшения нагрузки на шину.

Построение кластерных конфигураций из SMP-компьютеров не дает хороших показателей масштабирования, обычно ограничиваются небольшим числом компьютеров в кластере. Ограничение масштабируемости связано с фиксированной пропускной способностью связывающих гиперузлы магистралей. Более масштабируемые кластероподобные системы можно строить с применением сетевых архитектур, таких как Tandem ServerNet.

Архитектура cc-NUMA является одним из путей улучшения масштабируемости по сравнению с традиционным SMP-подходом. Перспективное направление развития MPP-систем с архитектурой cc-NUMA было предложено фирмой Convex (ныне подразделение Hewlett Packard), выпустившей многопроцессорные компьютеры Exemplar SPP1000, SPP1200, SPP1600 и серверы S и X-класса (SPP2000). Особенность архитектуры cc-NUMA в использовании физически распределенной оперативной памяти как единой, но логически разделяемой.

Компанией SGI разработана новая высокомодульная масштабируемая система с высокой пропускной способностью (архитектура S2MP). Особенности архитектуры S2MP, реализованы в компьютерах SGI Origin и Onyx2. Основным строительным блоком в архитектуре S2MP является узел. В компьютерах Origin 2000 узлы реализованы в виде отдельных плат, каждая из которых содержит 1 или 2 64-разрядных RISC-микропроцессора. С развитием

этой архитектуры связаны планы создания наиболее мощного в мире суперкомпьютера для Лос-Аламосской лаборатории в США. Министерство энергетики и лаборатория Лос-Аламос заключили контракт с фирмой CRAY Research Inc. на разработку и создание самого мощного в мире компьютера с громадным быстродействием. Эта система с 3072 процессорами должна, как планируется, превзойти уровень производительности 3 TFLOPS ($3 \cdot 10^{12}$), а после объединения с еще одной подсистемой максимальное быстродействие возрастет до 4 TFLOPS (операций с плавающей точкой).

Источники информации:

1. Михаил Кузьминский. MPP-системы CrayT3E/CrayT3D.
<http://www.osp.ru/cw/1996/14/22.htm>
2. Михаил Кузьминский. Крей под микроскопом
<http://www.osp.ru/cw/1995/04/27.htm>
3. <http://parallel.ru/history/cray1.html>
Архитектура Cray-1.

8.2. СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ, ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Становится все более очевидным, что классические суперкомпьютеры достигли максимума производительности. Использование глубокосубмикронных полупроводниковых технологий позволит увеличить тактовую частоту не более чем до 1-2 ГигаГерц. Так же очевидно, что путь к петафлопному суперкомпьютеру лежит через массивованное распараллеливание вычислений.

Перечислим общие тенденции развития архитектур суперкомпьютеров:

Неизбежен закат векторно-конвейерной архитектуры суперкомпьютеров. Крупнейшие производители таких систем в США уже свернули их производство.

Системы массового параллелизма (МРР) выходят на первые позиции, в том числе по производительности.

МРР-системы создаются на базе высокопроизводительных стандартных микропроцессоров.

Широкое применение находят системы с физически распределенной, но разделяемой логически оперативной памятью (одна из таких архитектур сс-NUMA).

Развитие архитектур суперкомпьютеров показало, что путь от симметричных многопроцессорных систем (SMP) с общей шиной, разделяющих ющую память и другие ресурсы, к системам массового параллелизма (МРР системам) путем кластеризации SMP систем - оказался мало эффективным.

Поэтому в "SMP-частях" современных систем массового параллелизма (как и в самих SMP-компьютерах) отказываются от применения системной шины для ликвидации проблемы "узкого горлышка" в пользу коммутатора и сетевой организации вычислительного комплекса.

Наблюдается общая ориентация на применение стандартных шин ввода-вывода, ориентация на применение периферийных устройств современных промышленных стандартов.

Одним из наиболее успешных шагов в этом направлении стало создание в 1994 году в Калифорнийском Технологическом Институте (CalTech, США) распределённого вычислительного комплекса "Беовульф", состоящего из кластеров, соединенных высокоскоростной специализированной сетью и оснащенных операционной системой Линукс.

Проект Beowulf начался со сборки 16-процессорного кластера. На каждый узел выделялось 3 сетевых адаптера и 3 "параллельных" Ethernet-кабеля по 10Mbit. Кластер создавался как вычислительный ресурс проекта Earth and Space Sciences Project (ESS).

При всей своей привлекательности, у "Беовульфа" есть один серьезный недостаток. Оценки, основанные на анализе энерговыделения современных персональных компьютеров и рабочих станций, показывают, что суперкомпьютер с производительностью 1 петафлоп (1015) собранный на основе БИС микропроцессоров, будет потреблять мощность в 10 мегаватт. Учитывая, что для уменьшения времени распространения сигналов между процессорами и оперативной памятью суперкомпьютер должен быть плотно упакован в несколько кубометров пространства, легко предсказать, что через несколько минут работы он просто расплавится. Жидкостная система охлаждения могла бы обеспечить теплоотвод, однако ее геометрические размеры приводят к существенному увеличению задержек и увеличению количества параллельных процессов, необходимых для компенсации этих задержек. Это, в свою очередь, увеличивает мощность, потребляемую микропроцессорами и суперкомпьютером в целом. Это ставит крест на возможности создания на такой основе петафлопного суперкомпьютера.

8.2. Суперкомпьютеры, дальнейшее развитие

Общие тенденции развития архитектур суперкомпьютеров:

Неизбежен закат векторно-конвейерной архитектуры суперкомпьютеров. Крупнейшие производители таких систем в США уже свернули их производство (например корпорация Convex) или планируют это сделать (Cray Research, вошедшая в состав SGI, переходит к единой общей с SGI аппаратно-программной платформе, что, вероятно, означает построение систем массового параллелизма).

Системы массового параллелизма выходят на первые позиции, в том числе по производительности. MPP-системы создаются на базе высокопроизводительных стандартных микропроцессоров RISC-архитектуры - тех же, что используются в рабочих станциях и серверах.

Фирмой IBM был разработан суперкомпьютер Deep Blue, как система массового параллелизма. Это, был первый компьютер, победивший чемпиона мира по шахматам. Компьютер Deep Blue разрабатывался первоначально в университете Carnegie Mellon студентами Фенг-хсиунгом Хсу и Марри Кампбеллом на чипсете, использовавшемся в компьютере Sun 3/160. Проект был принят к исполнению фирмой IBM в 1989, когда Кампбелл пришел работать в фирму. В этом году впервые против чемпиона мира Гарри Каспарова играл компьютер Deep Thought. Каспаров легко обыграл компьютер в двух партиях. Следующее состязание Каспарова состоялось в феврале 1996 с компьютером Deep Blue. Компьютер был собран на 32-х восьмипроцессорных кластерах RS/6000. Каспаров выиграл снова.

К февралю 1997 года была разработана новая шахматная программа и значительно увеличена скорость вычислений компьютера, и тогда "Голубому гиганту" удалось победить Каспарова со счетом 3.5:2.5.

Широкое применение находят в настоящее время системы с физически распределенной, но логически разделяемой оперативной памятью (одна из таких архитектур cc-NUMA) - это часть общей тенденции использовать логически общую оперативную память.

Развитие архитектур суперкомпьютеров показало, что путь от симметричных многопроцессорных систем (SMP) к системам массового параллелизма (MPP системам) путем кластеризации SMP систем - оказался мало эффективным. Поэтому в "SMP-частях" современных систем массового параллелизма (как и в самих SMP-компьютерах) отказываются от применения системной шины для ликвидации проблемы "узкого горлышка" в пользу коммутатора. В качестве примера можно назвать серверы SUN Ultra Enterprise, серверы S-класса фирмы HP и т. д.

Наблюдается общая ориентация на применение стандартных шин ввода-вывода, ориентация на применение периферийных устройств современных промышленных стандартов и отказ от специальных периферийных уст-

ройств собственной разработки (что было характерно ранее для суперкомпьютеров типа Cray Research и мэйнфреймов).

Несмотря на постоянный поиск новых технологий, современная технологическая база пока не исчерпала всех своих возможностей, хотя технологически все труднее уменьшать размеры отдельных элементов. К 2000 году преодолен предел в 1мкм. Быстродействие приближается к верхнему достижимому уровню, энергопотребление к нижнему пределу. Диапазон от 0,1 до 0,01мкм. еще можно отнести к кристаллической электронике, но сочетающейся с квантовой неопределенностью поведения элементов. Элементы становятся сравнимы с размерами атомов и простейших молекул.

Включая свою персональную ЭВМ, усаживаясь за экран рабочей станции или за терминал суперкомпьютера, профессиональный пользователь рано или поздно приходит к выводу, что вычислительные возможности его электронного помощника ограничены. Физики и астрофизики, генетики и метеорологи, военные все чаще сталкиваются с задачами, для решения которых требуется больше ресурсов, чем имеется в наличии на всем земном шаре.

Как панацея от неотвратимо надвигающегося мрака вычислительной беспомощности, на пороге XXI века появилось слово "petaflop" (петафлоп или 10¹⁵) - миллион миллиардов операций с плавающей запятой в секунду.

Задачи, эффективное решение которых под силу исключительно суперкомпьютеру с производительностью порядка одного петафлопа, распадаются на два класса: задачи с преобладанием целочисленных вычислений и задачи с преобладанием вычислений с плавающей точкой. В каждом классе, в свою очередь, легко выделить подклассы военно-прикладных и научно-практических приложений.

К первому классу относятся криптография (например взламывание кодов) и создание полноценного искусственного интеллекта, ко второму - моделирование ядерных взрывов, долгосрочный прогноз погоды и вычислительные задачи гидродинамики.

Противоречивые требования, предъявляемые заказчиками к суперкомпьютеру, приводят к необходимости проектирования компьютера общего назначения, хотя специализированные архитектуры могли бы быть более эффективными для тех или иных приложений.

В настоящее время становится очевидным, что классические суперкомпьютеры достигли максимума производительности либо близки к нему. Использование глубокосубмикронных полупроводниковых технологий позволит увеличить тактовую частоту не более чем до 1-2 ГигаГерц. Так же очевидно, что путь к петафлопному суперкомпьютеру лежит через массивированное распараллеливание вычислений.

Идея создания мощного компьютера на базе стандартных компонентов, попросту говоря, объединение их под управлением единой операционной системы не нова.

Одним из наиболее успешных шагов в этом направлении стало создание в Калифорнийском Технологическом Институте (CalTech, США) распреде-

лётного вычислительного комплекса "Беовульф", состоящего из кластеров (персональных ЭВМ), соединенных высокоскоростной специализированной сетью и оснащенных операционной системой Линукс. Первые работы были проведены в 1994 году. Томас Стерлинг и Джон Беккер построили кластерную систему, состоящую из шестнадцати процессоров класса i486DX4, соединенных посредством сети Ethernet. Этот проект и получил название Beowulf.

(Проект возник в научно-космическом центре NASA - Goddard Space Flight Center (GSFC), точнее в созданном на его основе CESDIS (Center of Excellence in Space Data and Information Sciences).

Проект начинался летом 1994 года сборкой 16-ти процессорного кластера (на процессорах 486DX4/100MHz, 16MB памяти и 3 сетевых адаптера на каждом узле, 3 "параллельных" Ethernet-кабеля по 10Mбит/с.). Данный кластер, который и был назван "Beowulf", создавался как вычислительный ресурс проекта Earth and Space Sciences Project (ESS).

У компьютеров архитектуры SMP, MPP, параллельных векторных есть один большой недостаток - цена, подчас недоступная для многих образовательных и научно-исследовательских организаций.

Производительность персональных компьютеров на базе процессоров Intel в последние годы значительно выросла. Такие компьютеры стали создавать серьезную конкуренцию рабочим станциям на базе RISC, особенно по показателю цена/производительность. Идея создавать параллельные вычислительные системы (кластеры) из общедоступных компьютеров на базе Intel и недорогих Ethernet-сетей, устанавливая на эти компьютеры бесплатную операционную систему Linux и одну из бесплатно распространяемых коммуникационных библиотек оказалась плодотворной. При решении большого класса задач и при достаточном числе узлов такие системы дают производительность, сравнимую с суперкомпьютерной.

По сообщениям газет, итальянская компания Quadrics Supercomputers World SpA подписала с корпорацией Digital Equipment соглашение о создании к 2000 году одного из наиболее мощных суперкомпьютеров в мире. Quadrics представляет собой совместное предприятие, образованное государственной технологической группой Finmeccanica и компанией Meiko. Вкладом Quadrics в проект станет технология скоростного соединения, а Digital предоставит вычислительные модули и иные аппаратные компоненты.

Предполагается, что при использовании нового суперкомпьютера стоимость 1 млрд. операций в секунду составит 15 тыс. долл. (сейчас этот показатель в среднем вдвое выше). Суперкомпьютер предназначен для использования в военных, исследовательских и коммерческих целях.

Агентство по Атомной Энергии (CEA) Франции выбрало корпорацию Compaq Computer в качестве поставщика новой суперкомпьютерной системы, которая, как они полагают, должна стать самой крупной на европейском континенте. Система будет представлять собой кластер из нескольких серверов AlphaServer SC и будет объединять в общей сложности более 2500 про-

цессоров Alpha, суммарная пиковая производительность которых составит более 5 TFLOPS. Будет использоваться высокоскоростная сеть передачи данных, разработанная итальянской компанией Quadrics Supercomputers World. Агентство по Атомной Энергии планирует использовать новый суперкомпьютер для поддержки программ моделирования, в целях обеспечения безопасности ядерного боезапаса Франции. Предполагается, что система вступит в строй в конце 2001 года.

США занимают место лидера на рынке суперкомпьютеров, хотя эту позицию они уступали Японии в 1990 году. В 1997 году 16 из 20 самых быстрых суперкомпьютеров были произведены в Соединенных Штатах, 4 - в Японии. Ни один из суперкомпьютеров, которые были введены в строй в 1997 году, не был создан в европейской стране.

Российский Институт Высокопроизводительных Вычислений и Баз Данных является одним из крупнейших суперкомпьютерных центров в Восточной Европе.

1 апреля 1998 года проект компьютера класса Beowulf "Паритет" был одобрен Министерством Науки и Технологий РФ. "Паритет" включал в себя 4 узла, состоящих из 2 x процессоров Intel Pentium II (450 МГц), жесткого диска емкостью 9,1 Гбайт, быстрой памяти RAM (512 Мб).

Фирма Диадема (Новосибирск) осуществила сборку и тестирование кластера, состоящего из девяти компьютеров высокого класса, объединенных высокоскоростной сетью в один компьютер под управлением операционной системы Linux RedHat. Даже предварительные данные говорят о том, что подобная система обладает потрясающей вычислительной мощностью.

Скорость вычислений, показанная кластером, оказалась одного порядка с такими всемирно известными суперкомпьютерами, как CRAY. Система подходит для обчитывания таких глобальных объемов данных, которые необходимы, например, при геологических, метеорологических и ародинамических расчетах.

Вычислительный кластер, способный конкурировать по производительности с отдельными представителями семейства суперкомпьютеров Cray, 20 марта 2000 года введен в эксплуатацию в Научно-исследовательском вычислительном центре Московского государственного университета. В январе 2001 года кластер был значительно расширен.

Компания Inel поставила и настроила сетевое оборудование и программное обеспечение и изготовила 12 двухпроцессорных серверов, составляющих кластер.

Эти серверы на базе процессоров Pentium III с тактовой частотой 500 МГц и оперативной памятью 256 Мбайт каждый, объединены в двухмерный тор. Максимальная пропускная способность сети SCI составляет 80 Мбайт/с, а производительность всего кластера достигает 12 GFLOPS (миллиардов операций с плавающей точкой в секунду). По результатам тестов NPB производительность кластера НИВЦ МГУ сравнима с аналогичным показателем для суперкомпьютеров семейства Cray T3E с таким же числом процессоров.

Триумфальный успех, а также сравнительная дешевизна и простота изготовления вычислительного комплекса высокой производительности привели к возникновению "синдрома Беовульфа". В самом деле, комплекс с производительностью, достаточной для военных и криптографических приложений, может быть собран из общедоступных компонент в любой стране мира, включая государства с репутацией "очагов международного терроризма" (Ирак, Ливия, Иран). Ситуация усугубляется тем, что комплектующие для персональных ЭВМ, используемые для сборки "Беовульфа", не попадают под экспортные ограничения правительства США, а также могут быть легко приобретены в третьих странах.

При всей своей привлекательности, у "Беовульфа" есть как минимум один серьезный недостаток. Простые оценки, основанные на анализе энерговыделения современных персональных компьютеров и рабочих станций, показывают, что суперкомпьютер с производительностью 1 петафлоп (10¹⁵) собранный на основе БИС микропроцессоров, будет потреблять мощность в 10 мегаватт. Учитывая, что для уменьшения времени распространения сигналов между процессорами и оперативной памятью суперкомпьютер должен быть плотно упакован в несколько кубометров пространства, легко предсказать, что через несколько минут работы он просто расплавится. Жидкостная система охлаждения могла бы обеспечить теплоотвод, однако ее геометрические размеры приводят к существенному увеличению задержек и увеличению количества параллельных процессов, необходимых для компенсации этих задержек. Это, в свою очередь, увеличивает мощность, потребляемую микропроцессорами и суперкомпьютером в целом. Казалось бы, что этот фундаментальный замкнутый круг ставит крест на возможности создания петафлопного суперкомпьютера.

Противовесом "Беовульфу" мог бы стать только суперкомпьютер, основанный на радикально иных принципах.

Решение проблемы было предложено учеными Томасом Стерлингом и Полом Мессиной из Калифорнийского Технологического Института (Thomas Sterling, Paul Messina, Caltech, США), Гуаном Гао из университета Мак-Гилл (Guang Gao, McGill, Канада) и Константином Лихоревым из университета штата Нью-Йорк (Konstantin Likharev, SUNY, США). Ими была разработана принципиально новая архитектура будущего суперкомпьютера - Гибридно-технологическая Многопоточная Архитектура (ГТМПА; Hybrid Technology Multithreaded Architecture, HTMT). В основе ГТМПА лежит использование нетрадиционных технологий (гибридность) и расщепление параллельных процессов на более мелкие независимые фрагменты: потоки и нити (многопоточность). Более подробно о петафлопном компьютере см. в разделе "Квантовые компьютеры"

За новым петафлопным суперкомпьютером закрепился термин "гиперкомпьютер", выделяющий его из семейства "младших братьев" (Cray, IBM и Silicon Graphics).

Источники информации:

1. <http://spb.parallel.ru/computers/reviews/beowulf.htm>
Что такое Beowulf? (Лаборатория Параллельных
Информационных Технологий, НИВЦ МГУ)

9. КОМПЬЮТЕРЫ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Переход к компьютерам пятого поколения предполагал переход к новым архитектурам, ориентированным на создание искусственного интеллекта.

Считалось, что архитектура компьютеров пятого поколения будет содержать два основных блока. Один из них — собственно компьютер, в котором связь с пользователем осуществляет блок, называемый "интеллектуальным интерфейсом". Задача интерфейса — понять текст, написанный на естественном языке или речь, и изложить таким образом условие задачи перевести в работающую программу.

Основные требования к компьютерам 5-го поколения: Создание развитого человеко-машинного интерфейса (распознавание речи, образов);

Развитие логического программирования для создания баз знаний и систем искусственного интеллекта;

Создание новых технологий в производстве вычислительной техники;

Создание новых архитектур компьютеров и вычислительных комплексов.

Новые технические возможности вычислительной техники должны были расширить круг решаемых задач и позволить перейти к задачам создания искусственного интеллекта. В качестве одной из необходимых для создания искусственного интеллекта составляющих являются базы знаний (базы данных) по различным направлениям науки и техники. Для создания и использования баз данных требуется высокое быстродействие вычислительной системы и большой объем памяти. Универсальные компьютеры способны производить высокоскоростные вычисления, но не пригодны для выполнения с высокой скоростью операций сравнения и сортировки больших объемов записей, хранящихся обычно на магнитных дисках. Для создания программ, обеспечивающих заполнение, обновление баз данных и работу с ними, были созданы специальные объектно ориентированные и логические языки программирования, обеспечивающие наибольшие возможности по сравнению с обычными процедурными языками. Структура этих языков требует перехода от традиционной фон-неймановской архитектуры компьютера к архитектурам, учитывающим требования задач создания искусственного интеллекта.

9. Компьютеры пятого поколения

Прогресс в развитии вычислительной техники с первого по четвертое поколение был связан с развитием элементной базы, переход к компьютерам пятого поколения предполагает переход к новым технологиям и архитектурам, ориентированным на создание искусственного интеллекта. Определить требования к компьютерам пятого поколения чрезвычайно трудно, потому что их разработка все еще находится еще в младенчестве.

В 1982 году в Японии был учрежден комитет по разработке компьютеров новых поколений (ICOT), который разработал план создания компьютера пятого поколения. Комитет определил следующие основные требования к компьютерам 5-го поколения: создание развитого человеко-машинного интерфейса (распознавание речи, образов); развитие логического программирования для создания баз знаний и систем искусственного интеллекта; создание новых технологий в производстве СБИС; создание новых архитектур компьютеров и вычислительных комплексов.

Предполагалось, что к 1991 г. будут созданы принципиально новые компьютеры, ориентированные на решение задач искусственного интеллекта. С помощью языка Пролог и новшеств в конструкции компьютеров планировалось вплотную подойти к решению одной из основных задач этой ветви компьютерной науки - задачи хранения и обработки знаний. Коротко говоря, для компьютеров "пятого поколения" не пришлось бы писать программ, а достаточно было бы объяснить на "почти естественном" языке, что от них требуется.

Однако планы создания специализированных "интеллектуальных" компьютеров, а тем более - попытки произвести с их помощью очередную компьютерную революцию, судя по всему, оказались утопическими. Во всяком случае, "японский проект" сколько-нибудь ощутимых результатов так и не принес.

Наиболее известный пример компьютера пятого поколения - фантастический HAL9000, описанный Артуром Кларком в его Космической Одиссее. HAL выполнял все функции, предъявляемые в настоящее время к компьютерам пятого поколения. Обладая искусственным интеллектом, HAL мог достаточно хорошо рассуждать, поддерживая беседу с человеком - оператором, использовать ввод в компьютер визуальной информации и учиться на собственном опыте. Однако, HAL был слишком очеловечен, ему была приписана психическая деятельность и в результате психической поломки он убивает людей на борту космического корабля. Проблема психической деятельности компьютера тоже широко обсуждается философами. Хотя своенравный HAL9000 далек от возможностей реального времени, многие из его функций уже реализованы.

Компьютеры способны понять человека, произносящего инструкции и подражать рассуждениям человека. Перевод текста на иностранный язык -

также черта компьютера пятого поколения. Вначале это казалось простой задачей, но задача оказалась значительно более трудной, так как человеческое понимание воспринимает контекст, который нельзя передать при простом переводе слов.

Новые технические возможности вычислительной техники позволили расширить круг решаемых задач и перейти к задачам создания искусственного интеллекта уже в четвертом поколении компьютеров. В качестве одной из необходимых для создания искусственного интеллекта составляющих являются базы знаний (базы данных) по различным направлениям науки и техники. Для создания и использования баз данных требуется высокое быстродействие вычислительной системы и большой объем памяти. Универсальные компьютеры способны производить высокоскоростные вычисления, но не пригодны для выполнения с высокой скоростью операций сравнения и сортировки больших объемов записей, хранящихся обычно на магнитных дисках.

Для создания программ, обеспечивающих заполнение, обновление баз данных и работу с ними, были созданы специальные объектно ориентированные и логические языки программирования, обеспечивающие наибольшие возможности по сравнению с обычными процедурными языками. Структура этих языков требует перехода от традиционной фон-неймановской архитектуры компьютера к архитектурам, учитывающим требования задач создания искусственного интеллекта.

Начиная со второй половины 70-х годов активно проводились исследования и разработка специализированных машин баз данных. В начале 80-х годов западногерманская фирма Software AG разработала машину ADABAS для управления базами данных реляционного типа, т.е. базами данных, представленных совокупностью таблиц, в которых строки соответствуют записям, а столбцы - признакам и характеристикам отображаемым в них объектов. В системе ADABAS была использована IBM совместимая машина.

Американская фирма Britton-Lee выпустила машину баз данных IDM500. Эти машины не имели специального аппаратного механизма, функции, необходимые для работы с базами данных, осуществлялись на уровне микропрограмм.

Технология заказных СБИС позволила перейти к компьютерам на специализированных процессорах, процессорах ассоциативного типа, основной операций которых является операция сравнения. В 1980 году был создан компьютер RELACS, в 1981 году STARAN фирмы Good Year на ассоциативных процессорах.

В последние годы появился такой положительный феномен, как перенос всей текстовой, графической и другой информации на компьютерные носители. Если раньше база данных с информацией в 1000 записей довольно быстро справлялась с поиском, то теперь, когда в базе данных стало 10 млн записей, это стало довольно затруднительно, и новые алгоритмы поиска не намного уменьшат время поиска. Нужны компьютеры с более высокими скоро-

стными характеристиками. Поэтому специалисты во всем мире взялись за решение этой проблемы путем создания вычислительной системы будущего. На данный момент существует несколько вариантов ее решения: ведутся экспериментальные разработки квантового компьютера, нейрокомпьютера, оптического компьютера, вероятностного компьютера и др.

Источники информации

1.http://www.kbsu.ru/~book/theory/chapter3/1_3.html

Классификация компьютеров.

2.<http://schools.techno.ru/sch444/MUSEUM>

Физико-математическая общеобразовательная
школа-лаборатория №444

3.<http://pokolenia.ok.ru/Explorer/sravnen.htm>

Поколения компьютеров. Сравнение разных поколений
компьютеров.

10. ОПТИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Еще в шестидесятые годы была начата разработка основных принципов построения оптико-электронных компьютеров и нейрокомпьютеров.

В кругах специалистов существует мнение, что оптический компьютер в "чистом" виде еще не разработан. На данный момент существует лишь электронно-оптический компьютер.

Построение оптических процессоров на основе традиционных принципов вычислений встретило большие трудности.

Не слишком быстрое продвижение в построении оптических процессоров заставило разработчиков искать другие архитектуры. Разумеется - параллельные. Если уж электронные системы с массовым параллелизмом потеснили суперкомпьютеры со сверхмощным, но одним центральным процессором, то что говорить об оптических компьютерах, где распараллеливание можно осуществлять эффективно и разнообразными способами. Возникло убеждение, что не стоит заставлять оптические системы делать то, что они делают с таким трудом - то есть обрабатывать сложные алгоритмы. У оптики вообще плохо с логикой, ей лучше даются плохоформализуемые, "интуитивные" операции. Оптическая элементная база прекрасно сочетается с архитектурами искусственных нейронных сетей, которые, способны к обучению и самообучению.

Достоинства оптической элементной базы:

- передача информации со скоростью света;
- независимое распространение в свободном пространстве световых пучков, которые могут без помех пересекаться или перекрываться, что позволяет иметь до 1000 входных и выходных сигналов;
- естественная полная параллельность вычислений;
- адекватность схем обработки самому виду существования входного и выходного массива информации - двумерного изображения;
- крайне низкое энергопотребление (менее kT на одну связь) против $10^8 kT$ для электронных компьютеров, где k - постоянная Больцмана, а T - абсолютная температура;
- адекватность использованию интегральной (планарной) технологии, подобной технологии изготовления электронных микросхем (в том числе, СБИС);
- дополнительные возможности когерентной обработки (использование фазовых соотношений в голографических процессорах);
- нечувствительность к электромагнитным помехам;
- высокая мощность интегральных преобразований, выполняемых оптическими спецпроцессорами, и полная возможность оптической реализации как булевой алгебры, так и искусственных нейронов.

Наиболее универсальной основой современных оптико-электронных спецпроцессоров является триада матриц, состоящая из:

- излучателей;
- транспарантов - пространственно-временных модуляторов света (ПВМС);
- фотоприемников.

Эти оптронные триады выполняют функции, аналогичные транзисторам и триггерам, и очень удобны при выполнении операций над многомерными векторными величинами.

На оптических интегральных схемах была реализована вся булева алгебра. Считалось даже, что компьютеры 5-го и 6-го поколения будут строиться на оптической элементной базе. Но доведение до стадии коммерчески пригодных продуктов оказалось сложнее и длительней, чем ожидалось, и последнее время сообщений о каких-либо успехах в этом направлении не было.

10. Оптические компьютеры

Еще в шестидесятые годы была начата разработка основных принципов построения оптических и оптико-электронных компьютеров.

Оптический компьютер - это устройство обработки информации с использованием света. Обсуждая отличительные особенности света как электромагнитной волны, нужно отметить, что частота световой волны на порядок выше частоты электрических сигналов и волн, используемых в современной компьютерной технике. Так, если электрическая волна, используемая, например, в радиотехнике, совершает приблизительно 100 тыс. колебаний в секунду, то световая волна имеет частоту, которая в 10-100 миллионов раз превосходит это значение. Потому с ее помощью в фиксированный интервал времени можно передавать большее число сигналов, а значит и информации. Кроме того, поскольку длина световой волны ничтожно мала, то имеется возможность обработки информации с необычайно высокой скоростью.

В последнее время наблюдается большой ажиотаж вокруг оптических компьютеров: считают, что оптические компьютеры сейчас находятся на одном уровне развития с нейрокомпьютерами и квантовыми компьютерами. Однако в кругах специалистов существует мнение, что оптический компьютер в "чистом" виде еще не разработан. На данный момент существует лишь электронно-оптический компьютер. Действительно, в компьютерах фон Неймановской архитектуры широко используются оптические явления.

В блоке ввода информации используются оптические датчики. Это устройства, в которых с помощью света определяются количественные характеристики информации, например наличие/отсутствие предмета, особенности его формы, скорость, температура и т. д. Оптическим датчикам, в отличие от датчиков других типов, не требуется непосредственного контакта с наблюдаемым объектом. Кроме того, оптические датчики отличаются высокой чувствительностью и быстродействием. К устройствам такого рода относятся различные оптические считыватели (OCR-Optical Character Reader), способные непосредственно считывать вводимую в компьютер алфавитно-цифровую информацию, и сканеры изображений, непосредственно вводящие в компьютер образную информацию.

Случаев использования света в устройствах вывода информации из компьютера огромное множество - это дисплей, лазерный принтер и т. д. Пользователем их является человек, который зрительно воспринимает эту информацию - опять-таки с помощью света.

Техника записи информации с помощью света (другими словами, создание оптической памяти) в последние годы привлекала самое пристальное внимание. Большой интерес вызывает разработка голографической памяти. Самой распространенной разработкой в этой сфере являются оптические диски. Принцип считывания информации с оптического диска заключается в

облучении поверхности диска лазерным лучом и снятии информации при помощи отраженного от поверхности диска света. В будущем, по всей видимости, оптическая память вытеснит магнитную, используемую в классических компьютерах.

В блоке связи и передачи информации используется хорошо известное всем оптическое волокно. Передача информации по оптическому волокну заключается в распространении по нему света. Свет не только обладает возможностью передачи информации со скоростью, на порядок превосходящей скорость передачи электрического сигнала, но и объем информации, переданный при помощи света за единицу времени, тоже больше. Так как волоконно-оптические кабели не излучают в радиодиапазоне, то передаваемую по ним информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Применение оптических средств обмена информацией дает больше преимуществ, нежели обычная электрическая передача данных.

Построение оптических процессоров на основе традиционных принципов вычисления встретило большие трудности.

Не слишком быстрое продвижение в построении оптических процессоров заставило разработчиков искать другие архитектуры. Разумеется - параллельные. Если уж электронные системы с массовым параллелизмом потеснили суперкомпьютеры со сверхмощным, но одним центральным процессором, то что говорить об оптических компьютерах, где распараллеливание можно осуществлять эффективно и разнообразными способами. Возникло убеждение, что не стоит заставлять оптические системы делать то, что они делают с таким трудом - то есть обрабатывать сложные алгоритмы. У оптики вообще плохо с логикой, ей лучше даются плохоформализуемые, "интуитивные" операции. Оптическая элементная база прекрасно сочетается с архитектурами искусственных нейронных сетей, которые, способны к обучению и самообучению.

Даже неуклюжие, построенные на традиционной элементной базе недавних времен, когерентные и некогерентные спецпроцессоры, в том числе оптические корреляторы, хорошо зарекомендовали себя в некоторых важных областях, вплоть до авиакосмической навигации. Многие в их технической реализации покрывает завеса таинственности: такая секретность обусловлена военными применениями.

Возможно обсуждение только реально работающих коммерческих оптических вычислительных устройств, имеет смысл остановиться на их достоинствах:

- передача информации со скоростью света;
- независимое распространение в свободном пространстве световых пучков, которые могут без помех пересекаться или перекрываться, что позволяет иметь до 1000 входных и выходных сигналов.
- естественная полная параллельность вычислений;
- адекватность схем обработки самому виду существования входного и выходного массива информации - двумерного изображения;

- крайне низкое энергопотребление (менее кТ на одну связь) против 108 кТ для электронных компьютеров, где k - постоянная Больцмана, а T - абсолютная температура;

- адекватность использованию интегральной (планарной) технологии, подобной технологии изготовления электронных микросхем (в том числе, СБИС);

- дополнительные возможности когерентной обработки (использование фазовых соотношений в голографических процессорах);

- нечувствительность к электромагнитным помехам;

- высокая мощность интегральных преобразований, выполняемых оптическими спецпроцессорами, и полная возможность оптической реализации как булевой алгебры, так и искусственных нейронов (порогового базового элемента).

Оптические нейрокомпьютеры начинают теснить традиционные компьютеры. Зачастую в состав суперкомпьютеров вводят ускорительные нейроплаты, оптические межсоединения и коммутаторы. Их преимущества особенно заметны при решении самых сложных неформализуемых задач типа распознавания изображений большой размерности, технической диагностики, прогнозов в коммерческой деятельности и многих других. Перспективны и гибридные процессоры, сочетающие достоинства оптики и электроники. Переход к оптоэлектронике позволил получить некоторые более значительные результаты.

Наиболее универсальной основой современных оптико-электронных спецпроцессоров является триада матриц:

- излучателей;

- транспарантов - пространственно-временных модуляторов света (ПВМС);

- фотоприемников.

Эти оптронные триады выполняют функции, аналогичные транзисторам и триггерам, и очень удобны при выполнении операций над многомерными векторными величинами.

Ситуация с оптическими устройствами, с одной стороны благоприятная, а с другой - удручающая. Благоприятная, поскольку простые оптические компоненты (мультиплексоры, демультиплексоры и т.п.) могут работать на тактовых частотах 40 гигагерц и более. Удручающая - потому что по части энерговыделения даже самые прожорливые полупроводники на базе арсенида галлия не идут ни в какое сравнение с многоцветными лазерами, что препятствует переходу к лазерным излучателям. Нелишне подчеркнуть, что примитивная схемотехника оптических систем все еще оставляет желать лучшего, делая их малопригодными для реализации вычислительных машин общего назначения.

Одна из старейших архитектур, разработанных для оптических компьютеров, архитектура OPLA (Optical Programmable Logic Array) - оптическая программируемая логическая матрица. Многолетние работы по реализации

этой архитектуры проводились в Японии. На оптических интегральных схемах была реализована вся булева алгебра. Считалось даже, что компьютеры 5-го и 6-го поколения будут реализованы на оптической элементной базе. Но доведение до стадии коммерчески пригодных продуктов оказалось сложнее и длительнее, чем ожидалось, и последнее время сообщений о каких-либо успехах в этом направлении не было. Сейчас считают, что перенос традиционной архитектуры, использующей принцип машины фон Неймана, на оптическую элементную базу, вряд ли перспективен. С другой стороны, один из японских ученых как-то сказал, что если бы в оптические компьютеры вкладывалась хотя бы пятая часть капитала, вложенного в разработки традиционных компьютеров, все компьютеры давно были бы оптическими. Во всяком случае, у OPLA сохраняются шансы в применениях, использующих операции декомпозиции, анализа и сжатия изображений, а также в САПР и виртуальной реальности.

В 1984 году Б. Дженкинс из Университета Южной Калифорнии продемонстрировал первый оптический компьютер, аппаратно выполнявший достаточно сложную последовательность команд. Взаимодействие двух лучей осуществлялось элементом, состоящим из жидкого кристалла и фотопроводника. Проходя, свет влияет на электрическое поле, приложенное к жидкому кристаллу, отчего меняется прозрачность элемента. Быстродействие элементов компьютера, реализованных на жидких кристаллах определялось временем переключения жидкокристаллической ячейки. Жидкие кристаллы значительно более инерционны, чем электронные схемы, поэтому высокое быстродействие на них недостижимо, однако, оптическая элементная база прекрасно сочетается с архитектурами нейронных сетей и хорошо подходит для решения интеллектуальных задач.

В 1990 году в AT&T Bell Laboratories Аланом Хуангом и его сотрудниками был разработан оптический компьютер по технологии SEED (Self-electro-optic Effect Device - устройство на авто-электрооптическом эффекте). В основе этой архитектуры - плоская фиксированная система простых и компактных оптических затворов на чередующихся слоях GaAs и AlGaAs, включенных параллельно. Они способны действовать как фотодиоды и подсоединяться к цепочке электронных логических ячеек, сформированных в подложке из GaAs. Они принимают и передают световую информацию перпендикулярно плоскости кристалла. Из них komponуются узлы на полевых транзисторах - решетка интеллектуальных ячеек (smart cells). Команды в компьютер вводились с внешнего электронного компьютера.

В январе 1993 года большое впечатление на ученых и журналистов произвел оптический компьютер, разработанный в Университете Колорадо. Джордан, руководитель отдела цифровых оптических вычислений в Университете Колорадо и его коллега профессор Винсент Хейринг собирали свое детище (размером с небольшой автомобиль и с мощностью недорогого ПК) пять лет. Хейринг сказал, что это самая сложная из когда-либо собранных оптических систем. Принципиальное отличие оптического компьютера от

предшественников в том, что программа не "зашита", а хранится в оперативной памяти, которая представляет собой четырехкилометровые петли оптического волокна. По ним циркулируют импульсы инфракрасного излучения. Четырехметровый импульс кодирует 1, его отсутствие - 0. Это - 1 бит информации. Такой способ хранения информации авторы называют пространственно-временным способом хранения. Кодированные таким образом команды и данные курсируют в линиях задержки, пока управляющий элемент не направит их в процессор. Архитектура получила название bit-serial architecture (битовая последовательная архитектура). "На параллельную не хватило денег", - пошутил, а, может быть, и серьезно заметил Хейринг. (К тому же последовательная архитектура прекрасно сочетается с технологиями волоконно-оптических коммуникаций.) Потоки информации (лучи) коммутируются в процессоре 66 электро-оптическими переключателями на LiNbO₃.

Разработчики утверждают, что у них и в мыслях не было делать прототип компьютера будущего. Они просто хотели доказать принципиальную возможность его создания.

Использование для связи оптического волокна необязательно, можно реализовать все связи в свободном пространстве, что поможет реализовать нетривиальные архитектуры. С другой стороны, уже есть некоторый опыт создания интегральных оптических микросхем, плоских волноводов со всеми встроенными элементами управления и преобразования. Ясно, что применение интегральной оптики и повышение быстродействия электронной части устройств позволит - рано или поздно - создать более компактные и мощные машины подобной архитектуры.

В прессе упоминались работы по созданию компьютера с архитектурой OPLA - Optical Programmable Logic Array (оптическая программируемая логическая матрица). Эта архитектура была предложена Стивеном Купиком из Dove Electronics, Валентином Морозовым (Университет Колорадо), и Питером Гилфойлем, президентом компании OptiComp в Неваде. Компьютер сможет выполнять неограниченное число цифровых операций. Известно, что проект поддерживается, кроме Dove Electronics, Университетом Алабамы, алабамской компанией A&M и лабораторией военно-воздушной базы Гриффисс.

Источники информации:

1. Виктор Левшин. Оптико-электронные сопроцессоры и нейрокмпытеры пошли своим путем. COMPUTERWORLD РОССИЯ #04/96 с.
2. Виктор Левшин. Оптические процессоры подражают старшим братьям. COMPUTERWORLD РОССИЯ #04/96 с.

3. Георгий Живикин. Светит ли нам оптический компьютер?
Компьютерра №3 (332) от 25.01.2000.
4. С.Короткий. Нейронные сети: основные положения
5. Сергей Шумский. Нейросетевые агенты в интернете.
Компьютерра N4(333),2000г.
6. www.neiroproject.ru Аналитические технологии для
прогнозирования и анализа данных. (учебник)

11. Нейрокомпьютеры

Нейронные сети возникли из исследований в области искусственного интеллекта, а именно, из попыток воспроизвести способность биологических нервных систем обучаться и исправлять ошибки.

Такие системы основывались на высокоуровневом моделировании процесса мышления на обычных компьютерах. Скоро стало ясно, чтобы создать искусственный интеллект, необходимо построить систему с похожей на естественную архитектурой, т. е. перейти от программной реализации процесса мышления к аппаратной.

Естественным продолжением аппаратного и программного подхода к реализации нейрокомпьютера является программно-аппаратный подход.

Аппаратный подход связан с созданием нейрокомпьютеров в виде нейроподобных структур (нейросетей) электронно-аналогового, оптоэлектронного и оптического типов. Для таких компьютеров разрабатываются специальные СБИС (нейрочипы).

Основу нейросетей составляют относительно простые, в большинстве случаев - однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга - искусственные нейроны. Нейрон обладает группой синапсов - однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон - выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом, который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости в электрических связях.

Для решения отдельных типов задач существуют оптимальные конфигурации нейронных сетей. Если же задача не может быть сведена ни к одному из известных типов, разработчику приходится решать сложную проблему синтеза новой конфигурации. При этом он руководствуется несколькими основополагающими принципами: возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом слоев нейронов.

Одной из важных особенностью нейронной сети является возможность к обучению.

Обучение нейросети может вестись с учителем или без него. В первом случае сети предъявляются значения как входных, так и желательных выходных сигналов, и она по некоторому внутреннему алгоритму подстраивает веса своих синаптических связей. Во втором случае выходы нейросети формируются самостоятельно, а веса изменяются по алгоритму, учитывающему только входные и производные от них сигналы.

После обучения на достаточно большом количестве примеров можно использовать обученную сеть для прогнозирования, предъявляя ей новые входные значения. Это важнейшее достоинство нейрокомпьютера, позволяющие ему решать интеллектуальные задачи, накапливая опыт.

11. Нейрокомпьютеры

В теоретической работе Тьюринга 1936 года была предложена гипотетическая машина для формализации действий человека. Затем, в так и не законченном отчете фон Неймана в 1945 году, были обобщены уроки создания первой ЭВМ ENIAC и предложены методы конструирования вычислительных машин. Фон Нейман, использовал не только идеи Тьюринга. Так, в качестве базовых элементов ЭВМ фон Нейман предложил модифицированные формальные нейроны (!) Мак-Каллока и Питтса - основателей нейросетевой архитектуры. В статье, опубликованной в 1943 г., они доказали, что сети из таких пороговых элементов способны решать тот же класс задач, что и машина Тьюринга.

Интерес к реализации нейроподобных систем, способных решать интеллектуальные задачи, возрос в конце пятидесятих годов. В это время появился ряд научных работ, раскрывающих фундаментальные принципы переработки информации в живых системах.

В конце 50-х - начале 60-х с этим направлением связывали большие надежды, в основном благодаря Фрэнку Розенблатту, разработавшему первое обучаемое нейросетевое устройство для распознавания образов, перцептрон (от английского perception - восприятие).

Перцептрон был впервые смоделирован в 1958 году, причем его обучение требовало около получаса машинного времени на одной из самых мощных в то время ЭВМ IBM-704. Аппаратный вариант - Mark I Perceptron - был построен в 1960 г. и предназначался для распознавания зрительных образов. Его рецепторное поле состояло из матрицы фотоприемников 20x20, и он успешно справлялся с решением ряда задач - мог, например, различать транслиты некоторых букв.

Тогда же возникли первые коммерческие нейрокомпьютерные компании. Энтузиазм этого героического периода "бури и натиска" был так велик, что многие, увлекшись, предсказывали появление думающих машин в самом ближайшем будущем. В 1969 году бывший однокашник Розенблатта по Высшей научной школе в Бронксе Марвин Минский, сам в свое время отдавший дань конструированию нейрокомпьютеров, решил положить этому конец, выпустив вместе с южноафриканским математиком Пейпертом книгу "Перцептроны". В этой роковой для нейрокомпьютеринга книге была строго доказана принципиальная, как тогда казалось, ограниченность перцептронов. Утверждалось, что им доступен лишь очень узкий круг задач. В действительности критика относилась лишь к перцептрону с одним слоем обучающихся нейронов. Но для многослойных нейронных сетей алгоритм обучения, предложенный Розенблаттом, не годился. Холодный душ критики, умерив пыл энтузиастов, затормозил развитие нейрокомпьютеринга на многие годы. Исследования в этом направлении были свернуты вплоть до 1983 года, когда они, наконец, получили финансирование от Агентства перспективных военных

исследований США (DARPA). Этот факт стал сигналом к началу нового нейросетевого бума.

Интерес широкой научной общественности к нейросетям пробудился вновь после теоретической работы физика Джона Хопфилда (1982 г.), предложившего модель ассоциативной памяти в нейронных ансамблях. Хопфилд и его многочисленные последователи обогатили теорию нейросетей многими идеями из арсенала физики, такими как коллективные взаимодействия нейронов, энергия сети, температура обучения и т. д. Однако настоящий бум практического применения нейросетей начался после публикации в 1986 году Дэвидом Румельхартом с соавторами метода обучения многослойного персептрона, названного ими методом обратного распространения ошибки (error back-propagation). Ограничения персептронов, о которых писали Минский и Пайперт, оказались преодолимыми, а возможности вычислительной техники - достаточными для решения широкого круга прикладных задач. В 90-х годах производительность компьютеров возросла настолько, что это позволило моделировать с их помощью работу параллельных нейронных сетей с числом нейронов от нескольких сотен до десятков тысяч. Такие эмуляторы нейросетей способны решать многие интересные с практической точки зрения задачи. В свою очередь, нейросетевые программные комплексы станут тем носителем, который выведет на технологическую орбиту настоящие параллельные нейросетевые компьютеры.

Нейронные сети возникли из исследований в области искусственного интеллекта, а именно, из попыток воспроизвести способность биологических нервных систем обучаться и исправлять ошибки, моделируя низкоуровневую структуру мозга (Patterson, 1996). Основной областью исследований по искусственному интеллекту в 60-е - 80-е годы были экспертные системы. Такие системы основывались на высокоуровневом моделировании процесса мышления (в частности, на представлении, что процесс нашего мышления построен на манипуляциях с символами). Скоро стало ясно, что подобные системы, хотя и могут принести пользу в некоторых областях, но не отражают ключевые аспекты человеческого интеллекта. Согласно одной из точек зрения, причина состоит в том, что современные вычислительные системы не в состоянии воспроизвести структуру мозга и чтобы создать искусственный интеллект, необходимо построить систему с похожей на естественную архитектурой, т. е. перейти от программной реализации процесса мышления к аппаратной.

Ситуация резко изменилась с начала восьмидесятых годов. Имитация работы мозга программными методами испытывала все большие трудности, связанные с принципиальными различиями между конструкциями мозга и компьютера. В связи с этим, был предложен ряд электронных, оптических, электронно-оптических приборов, позволяющих создавать архитектурные модели нейронных структур.

Естественным продолжением аппаратного и программного подхода к реализации нейрокомпьютера является программно-аппаратный подход. Этот

подход получил наибольшее развитие и применение. Существующие компьютеры дополнялись специальными нейро-платами. Так, например, фирмой TRW (США) в 1985 году был разработан компьютер Mark3, который был реализован в виде дополнительной многопроцессорной платы к мини-компьютерам серии VAX, дальнейшим развитием системы Mark3 была система Mark4.

Наиболее интересное применение нашли нейрокомпьютеры в странах европейского сообщества. Еще в 1955 году было принято Шенгенское соглашение, по которому при досмотре в аэропортах европейских стран будут сравниваться отпечатки пальцев, это задача для нейрокомпьютера. В дальнейшем планируется ввести сравнение по радужной оболочке глаз, по полному описанию лица человека. В настоящее время появились новые возможности для реализации этой задачи.

Наиболее яркими примерами нейрокомпьютеров являются: Нейрокомпьютер Synaps 1 (Siemens, Германия), нейрокомпьютер "Силиконовый мозг" (созданный в США по программе "Электронный мозг", предназначен для обработки аэрокосмических изображений, производительность 80 петафлоп (80x10¹⁵ операций в секунду, потребляемая мощность 20 Вт.), нейрокомпьютер Эмбрион (Россия).

Нейрокомпьютер Эмбрион разработан под руководством член-корреспондента МАИ, к.т.н. Владимира Дмитриевича Цыганкова. На сегодня известно несколько модификаций данного нейрокомпьютера, для различных приложений: датчик случайных многомерных управляемых импульсных потоков "ЭМБРИОН-1", интерсенсорный перенос "глаз"- "рука", техническая диагностика неисправностей энергогенератора самолетной электростанции ("Эмбрион-2"), управление нестационарным объектом в реальном масштабе времени ("Эмбрион-3" и "Эмбрион-4"), орган технического зрения ("Эмбрион-5"), управление тактильно осязаемым адаптивным промышленным роботом "Универсал-5А" при обслуживании карусельной плавильной печи на стекольном заводе ("Поиск-1"), управление тактильно осязаемым адаптивным промышленным роботом "Р-2" с искусственными мышцами при сборке и покраске ("Поиск-2"), управление тактильно осязаемым мобильным автономным роботом "Краб-1" при взаимодействии с неориентированными предметами и др.

Фирма NEC (Япония) в 1988 предложила нейрокомпьютер "Neuro Engine" в виде одноплатного сопроцессора к персональному компьютеру IBM PC. Фирмой Adaptive Solutions была разработана параллельная система SNAPS на 256 процессорах, позволяющая выполнять до 10 млрд. операций в сек. для решения задач обработки изображений и реконструкции объектов.

Аппаратный подход связан с созданием нейрокомпьютеров в виде нейрородных структур (нейросетей) электронно-аналогового, оптоэлектронного и оптического типов. Для таких компьютеров разрабатываются специальные СБИС (нейрочипы).

В 1988 г. фирма Navard изготовила СБИС на 256 аналоговых элементах, включающую 25 тысяч транзисторов, 100 тысяч резисторов.

Основу нейросетей составляют относительно простые, в большинстве случаев - однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга - искусственные нейроны. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием, по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены.

Он обладает группой синапсов - однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон - выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом w_i , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$s = \sum X_i \cdot W_i$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f(s)$$

В качестве примера простейшей нейросети рассмотрим трехнейронный перцептрон, то есть такую сеть, нейроны которой имеют активационную функцию в виде единичного скачка. На n входов поступают сигналы, проходящие по синапсам на 3 нейрона, образующие единственный слой этой нейросети и выдающие три выходных сигнала.

Очевидно, что все весовые коэффициенты синапсов одного слоя нейронов можно свести в матрицу W , в которой каждый элемент w_{ij} задает величину i -ой синаптической связи j -ого нейрона. Таким образом, процесс, происходящий в нейросети, может быть записан в матричной форме:

$$Y = F(XW) = F(V),$$

где X и Y - соответственно входной и выходной сигнальные векторы, $F(V)$ - активационная функция, применяемая поэлементно к компонентам вектора V .

Практически всегда множество искусственных нейронов в искусственной нейронной сети поделено на подмножества, которые называют слоями или плоскостями. Теоретически число слоев и число нейронов в каждом слое может быть произвольным, однако фактически оно ограничено ресурсами компьютера, в случае программной реализации, или возможностями специализированных микросхем, на которых обычно реализуются нейронные сети. Чем сложнее нейронная сеть, тем масштабнее задачи, подвластные ей.

Структура трехслойной сети прямого распространения.

Для решения отдельных типов задач уже существуют оптимальные, на сегодняшний день конфигурации. Если же задача не может быть сведена ни к одному из известных типов, разработчику приходится решать сложную проблему синтеза новой конфигурации. При этом он руководствуется несколькими основополагающими принципами: возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев.

Введение обратных связей, наряду с увеличением возможностей сети, поднимает вопрос о динамической устойчивости; сложность алгоритмов функционирования сети (в том числе, например, введение нескольких типов синапсов - возбуждающих, тормозящих и др.) также способствует усилению мощи нейросети. Вопрос о необходимых и достаточных свойствах сети для решения того или иного рода задач представляет собой целое направление нейрокомпьютерной науки. Одной из важных особенностей нейронной сети является возможность к обучению.

Обучение нейросети может вестись с учителем или без него. В первом случае сети предъявляются значения как входных, так и желательных выходных сигналов, и она по некоторому внутреннему алгоритму подстраивает веса своих синаптических связей. Во втором случае выходы нейросети формируются самостоятельно, а веса изменяются по алгоритму, учитывающему только входные и производные от них сигналы.

Существует великое множество различных алгоритмов обучения, которые делятся на два больших класса: детерминированные и стохастические. В первом из них подстройка весов представляет собой жесткую последовательность действий, во втором - она производится на основе действий, подчиняющихся некоторому случайному процессу.

Рассмотрим более подробно вопрос обучения нейросети на примере трехнейронного перцептрона при обучении с учителем. Для обучения необходимо:

1. Задать элементы весовой матрицы W (обычно небольшие случайные значения).

2. Подать на входы один из входных векторов, которые сеть должна научиться различать, и вычислить выходы сети.

3. Если выход правильный, перейти на шаг 4.

Иначе вычислить разницу между идеальным и полученным значениями выхода и модифицировать веса так, чтобы уменьшить ошибку.

4. Цикл с шага 2, пока сеть не перестанет ошибаться.

На втором шаге поочередно в случайном порядке предъявляются все возможные входные вектора.

После обучения на достаточно большом количестве примеров можно использовать обученную сеть для прогнозирования, предъявляя ей новые входные значения. Это важнейшее достоинство нейрокомпьютера, позволяющие ему решать интеллектуальные задачи, накапливая опыт.

В оптических компьютерах матрица весов может реализовываться на управляемом прозрачном материале на жидких или фоторефрактерных кристаллах. При этом оптические веса могут настраиваться цепью обратного распространения ошибки, которая подправляет степень влияния синаптических связей в соответствии с величиной (или хотя бы, знаком) конечной ошибки, указанной человеком-оператором ("учителем"). То же самое может происходить и при самообучении, когда нейросеть автономно оптимизируется по мере набора опыта.

История развития техники показывает, что далеко не всегда имитация природы - самый лучший или самый быстрый способ достичь желаемого. Прогресс в понимании работы мозга пока не настолько велик, чтобы указать с определенностью, какие именно черты реальных нейронов существенны для гибкого поведения мозга, а какие - нет. Одно очевидно: естественные нейронные сети имеют весьма сложную структуру. А подход, принятый в построении искусственных нейронных сетей, предполагает, что начальная структура сети достаточно проста.

Пока нет весомых оснований полагать, что именно искусственные нейронные сети станут основой будущих мыслящих систем, способных к гибкому поведению. Исследования нейронных сетей - лишь первый этап на пути к таким системам. В ближайшей перспективе следует ожидать появления более необычных моделей, о которых пока можно лишь фантазировать. Эти модели должны сочетать простую и универсальную схему функционирования, характерную для моделей нейронных сетей, с возможностями систем искусственного интеллекта: логический вывод, планирование действий, построение и использование моделей окружающей среды.

Ну а сегодня нейросетевые программы помогают считывать рукописные чеки и налоговые декларации, предсказывают рыночные курсы и улавливают изменения конъюнктуры, ставят диагнозы больным, используются военными.

Очередная революция ожидается в информационных технологиях, сравнимая по масштабам с внедрением в массы персональных компьютеров, а может, и превосходящая это событие - и не в последнюю очередь благодаря искусственным нейронным сетям.

Нейросетевые технологии уже используются службами ассоциативного поиска и персональной рассылки документов. Следующим шагом станет создание семантического агента, способного составлять по заказу "тематические обзоры" по любым предметам. Объединившись, такие самообучающиеся агенты смогут, по нашему мнению, радикально изменить способы поиска и организации информации в Сети. Потому что они способны не просто индексировать информацию в базах данных, а умеют понимать смысл данных и связывать данные между собой в ассоциативные распределенные базы знаний. Автоформализация знаний - ключевой элемент превращения Сети из гиперкниги в гипермозг, самостоятельно осознающий свое собственное содержание.

Вначале повсеместное распространение персональных компьютеров создало предпосылки для их объединения в Сеть. Возникновение и бурное развитие глобальной Сети привело эволюцию компьютеров к следующему неизбежному этапу - появлению сетевого разума. Вслед за компьютерами-калькуляторами и послушными исполнителями готовых алгоритмов в ближайшем будущем появятся обучающиеся программные агенты. Их объединение в сетевое сообщество взаимодействующих друг с другом (и, конечно, со своими хозяевами) агентов создаст самообучающуюся среду, вполне аналогичную по своей способности к самоорганизации человеческому мозгу. Человеко-машинный симбиоз, каким уже давно и является современное общество, перейдет на новый качественный уровень.

И свидетелями зарождения того развивающегося коллективного разума Сети будем уже мы с вами, наше поколение. Потому что все компоненты этого гипермозга уже существуют: инфраструктура Сети, выходящая на массового пользователя, нейросетевые агенты, электронные деньги. Им осталось лишь собраться воедино, чтобы включились обратные связи и начался отсчет новой эры - зарождения коллективного искусственного интеллекта.

Компьютеры наконец обретут способность видеть, слышать и ощущать иными, неведомыми человеку, органами чувств. Робототехника наконец-то освободит людей от утомительной роли "подай-принеси" на современном производстве. Умные домашние приборы обеспечат новый уровень бытового комфорта.

Источники информации:

1. Виктор Левшин. Оптико-электронные сопроцессоры и нейрокомпьютеры пошли своим путем. COMPUTERWORLD РОССИЯ #04/96 с.
2. Виктор Левшин. Оптические процессоры подражают старшим братьям. COMPUTERWORLD РОССИЯ #04/96 с.
3. С.Короткий. Нейронные сети: основные положения
4. Сергей Шумский. Нейросетевые агенты в интернете. Компьютерра N4(333),2000г.
5. www.neiroproject.ru Аналитические технологии для прогнозирования и анализа данных. (учебник)
6. Введение в искусственные нейронные сети. Анил К. Джейн, Мичиганский Государственный университет, США, [jain@cps.msu.edu.](mailto:jain@cps.msu.edu), Жианчанг Мао, К М. Моиуддин. Исследовательский Центр ИВМ в Альмадене, США Anil K.

Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin, Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31-44. Translated from the original English version.

7. Нейроускорители на базе нейрочипов.
http://www.citforum.ru/hardware/neurocomp/neurocomp_07.shtml

12. КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Идея квантовых вычислений была впервые высказана советским математиком Ю.И.Маниным в 1980 году. Суть состоит в следующем:

За единицу измерения информации в квантовых компьютерах принят кубит или квантовый бит (qubit, Quantum Bit). Состояние квантовой системы описывает волновая функция, которая может принимать большое количество значений, т. е. может быть представлена виде вектора допустимых значений. Каждому допустимому значению соответствует собственная функция. Таким образом, волновую функцию можно представить в виде линейной комбинации собственных функций. Отдельные составляющие вектора могут принимать состояния 0 или 1, это означает, что кубит в определенный момент времени с некоторой вероятностью равен и 0, и 1.

Для квантовых компьютеров можно ввести, подобно классическим компьютерам, элементарные логические операции: дизъюнкцию, конъюнкцию, квантовое отрицание. Эти функции - логическая основа работы квантового компьютера.

Элементарным шагом при квантовых вычислениях является унитарная операция над суперпозицией состояний системы из L двухуровневых квантовых элементов (которые тоже принято называть кубитами, как и единицу измерения информации), при этом в квантовых компьютерах выполняется параллельная обработка сразу всех 2^L булевых состояний, тогда как для классического компьютера подобная операция потребовала бы 2^L отдельных элементарных шагов. Такое свойство называется квантовым параллелизмом в работе квантовых устройств, оно приводит к экспоненциальному ускорению вычислительного процесса. В этом заключается одно из главных преимуществ квантового компьютера.

Для реализации квантового компьютера следует обеспечить выполнение следующих пяти основных требований:

1. Квантовый компьютер должен содержать достаточно большое число квантовых элементов для выполнения квантовых операций.

2. Необходимо обеспечить возможность ввода данных в компьютер.

3. Необходимо обеспечить максимальное подавление эффектов декогерентизации квантовых состояний, обусловленное взаимодействием системы квантовых элементов с окружающей средой. Для этого система квантовых элементов должна быть слабо связана с окружающей средой.

4. Необходимо обеспечить за время такта выполнение требуемой совокупности квантовых логических операций, определяющей унитарное преобразование.

5. Необходимо обеспечить с достаточно высокой надежностью измерение состояния квантовой системы на выходе. Проблема измерения квантового состояния без его разрушения является одной из основных проблем квантовых вычислений.

В настоящее время наиболее широко обсуждаются следующие основные направления в развитии элементной базы будущих квантовых компьютеров:

1) Использование для модельной реализации квантовых компьютеров в качестве значений кубитов уровней энергии ионов, захваченных ионными ловушками, создаваемыми в вакууме определенной конфигурацией электрического поля в условиях лазерного охлаждения их до микрокельвиновых температур.

2) Использование в качестве значений кубитов состояний атомов с ядерными спинами с $I = 1/2$, принадлежащих молекулам органических жидкостей с косвенным скалярным взаимодействием между ними и методов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для управления кубитами.

3) Использование в качестве значений кубитов зарядовых состояний куперовских пар в квантовых точках, связанных переходами Джозефсона.

4) Важные перспективы открываются перед направлением твердотельных ЯМР квантовых компьютеров, было предложено использовать в качестве значений кубитов ядерные спины донорных атомов с изотопами ^{31}P , которые имплантируются в кремниевую структуру.

5) Еще одним интересным направлением является использование в качестве состояний кубитов двухспиновых или двухзарядовых электронных состояний в полупроводниковых наноструктурах.

Наиболее перспективным направлением в создании квантового компьютера считается использование быстрой одноквантовой логики. Быстрая одноквантовая логика основана на явлении квантизации магнитного потока в сверхпроводниках.

Любое сверхпроводниковое кольцо может не содержать магнитного поля вообще, содержать один квант, два, три... И даже "минус один" квант! (Поле противоположной полярности.) Устройство, ответственное за проникновение квантов в кольцо и обратно называется Джозефсоновским переходом.

Классическая БОКЛ придерживается следующего соглашения:

1. Существует генератор тактовых импульсов (глобальный или локальный), более или менее регулярно испускающий кванты магнитного потока, тактирующие все элементы схемы.

2. Наличие кванта магнитного потока на входе данных некой ячейки между двумя последовательными тактовыми сигналами рассматривается как логическая единица.

3. Отсутствие кванта магнитного потока рассматривается как логический ноль.

Проектируемый квантовый компьютер на быстрой одноквантовой логике получил название гиперкомпьютера. В гиперкомпьютере предусматривается два типа полупроводниковой оперативной памяти: статическая (возможно, охлажденную до температуры жидкого азота, 77 градусов Кельвина) и динамическая.

Разрабатывается новая Гибридно-технологическая Многопоточная Архитектура (ГТМПА, Hybrid Technology Multithreaded Architecture, НТМТ). В основе ГТМПА лежит использование нетрадиционных технологий ("гибридность") и расщепление параллельных процессов на более мелкие независимые фрагменты: потоки и нити ("многопоточность").

Каждый из 4096 микропроцессоров гиперкомпьютера аппаратно поддерживает 16 параллельных процессов ("потоков"). Каждому потоку предоставляется набор из шестидесяти четырех 64-битных регистров общего назначения, необходимые контрольные регистры и целочисленное АЛУ, образующие аппаратный контекст потока (АКП). Функциональные устройства с плавающей точкой и закрепленный за процессором буфер памяти (СвОЗУ) одинаково доступны для всех 16 потоков.

Необходимо отметить, что проект гиперкомпьютера (США) предусматривает два типа полупроводниковой оперативной памяти: статическую (возможно, охлажденную до температуры жидкого азота, 77 градусов Кельвина) и динамическую. С точки зрения процессоров, вся память образует единое адресное пространство.

Важнейшей коммуникационной артерией гиперкомпьютера является "Вихрь Данных" ("Data Vortex"), широкополосная оптическая многоступенчатая пакетная сеть. Эта сеть соединяет друг с другом все банки динамической и статической полупроводниковой памяти.

Еще одна оптическая компонента гиперкомпьютера - голографическая память. Один кристалл голографической памяти будет вмещать 1 гигабайт информации.

В настоящее время в мире насчитывается более двух десятков групп, ведущих исследования в области БОКЛ.

12. Квантовые компьютеры

Если диапазон 1,0-0,5 микрометра достигим в пределах совершенствования существующей технологии, то в диапазоне ниже 0,1мкм (100нм) мир становится квантовым, вероятностным и неопределенным. Следующий предел 10-1,0 нм соответствует размеру простых биомолекул, 1,0-0,1 нм - размер отдельных атомов и простейших молекул. Квантовая электроника - следующий этап развития технологии.

Идея квантовых вычислений была впервые высказана советским математиком Ю.И.Маниным в 1980 году. Активное обсуждение этой идеи началось после опубликования в 1982 году статьи американского физика-теоретика, нобелевского лауреата Р.Фейнмана. Суть состоит в следующем:

Единица измерения объема информации в классической вычислительной технике - бит. Каждый бит информации в двоичной системе счисления может принимать одно из двух определенных значений - 1 или 0. За единицу измерения информации в квантовых компьютерах принят кубит или квантовый бит (qubit, Quantum Bit). Кубитом принято также называть элементарную ячейку квантового компьютера. Состояние квантовой системы описывает волновая функция, которая может принимать большое количество значений, т. е. может быть представлена виде вектора допустимых значений. Каждому допустимому значению соответствует собственная функция. Таким образом, волновую функцию можно представить в виде линейной комбинации собственных функций. Отдельные составляющие вектора могут принимать состояния 0 или 1, это означает, что кубит в определенный момент времени с некоторой вероятностью равен и 0, и 1. Для квантовых компьютеров можно ввести подобно классическим компьютерам элементарные логические операции: дизъюнкцию, конъюнкцию, квантовое отрицание. Эти функции - логическая основа работы квантового компьютера. Квантовые вентили аналогичны соответствующим классическим вентилям, но в отличие от классических, они способны совершать унитарные операции над суперпозициями состояний. Выполнение унитарных логических операций над элементами в квантовых компьютерах предполагается осуществлять с помощью соответствующих внешних воздействий, которыми управляют классические компьютеры. Р.Фейнман предложил и первую схему квантового компьютера.

Элементарным шагом при квантовых вычислениях является унитарная операция над суперпозицией состояний системы из L двухуровневых квантовых элементов, при этом в квантовых компьютерах выполняется параллельная обработка сразу всех $2L$ булевых состояний, тогда как для классического компьютера подобная операция потребовала бы $2L$ отдельных элементарных шагов. Такое свойство называется квантовым параллелизмом в работе квантовых устройств, оно приводит к экспоненциальному ускорению вычислительного процесса. В этом заключается одно из главных преимуществ квантового компьютера.

При выборе конкретной схемы любого квантового компьютера необходимо решить три вопроса: во-первых, выбрать физическую систему, представляющую требуемую систему квантовых элементов, во вторых, определить физический механизм, определяющий взаимодействие квантовых элементов, необходимое для выполнения двухкубитовых операций, в третьих, определить способы селективного управления квантовыми элементами и измерения их состояния на выходе. Все это вместе взятое аналогично "аппаратному обеспечению" (hardware) классического компьютера.

Считается, что для реализации полномасштабного квантового компьютера, превосходящего по производительности любой классический компьютер, на каких бы физических принципах он не работал, следует обеспечить выполнение следующих пяти основных требований:

1. Физическая система, представляющая полномасштабный квантовый компьютер, должна содержать достаточно большое число хорошо различаемых квантовых элементов для выполнения соответствующих квантовых операций.

2. Необходимо обеспечить условия для установки входного регистра в исходное основное базисное состояние, то есть возможность процесса инициализации.

3. Необходимо обеспечить максимальное подавление эффектов декогерентизации квантовых состояний, обусловленное взаимодействием системы кубитов с окружающей средой, что приводит к разрушению суперпозиций квантовых состояний и может сделать невозможной выполнение квантовых алгоритмов. Время декогерентизации должно по крайней мере в 10 раз превышать время выполнения основных квантовых операций (времени такта). Для этого система квантовых элементов должна быть достаточно слабо связана с окружающей средой.

4. Необходимо обеспечить за время такта выполнение требуемой совокупности квантовых логических операций, определяющей унитарное преобразование. Эта совокупность должна содержать определенный набор только двухкубитовых операций, типа контролируемый инвертор или контролируемое НЕ (Controlled NOT = CNOT) (аналог исключающего ИЛИ в классических компьютерах), осуществляющих операции поворота вектора состояния двух взаимодействующих квантовых элементов в четырехмерном гильбертовом пространстве, и однокубитовых операций, осуществляющих поворот вектора состояния квантового элемента в двухмерном гильбертовом пространстве, таких как операции НЕ и некоторые другие.

5. Необходимо обеспечить с достаточно высокой надежностью измерение состояния квантовой системы на выходе. Проблема измерения конечного квантового состояния является одной из основных проблем квантовых вычислений.

В настоящее время наиболее широко обсуждаются следующие основные направления в развитии элементной базы будущих квантовых компьютеров:

1) Использование для модельной реализации квантовых компьютеров в качестве кубитов уровней энергии ионов, захваченных ионными ловушками, создаваемыми в вакууме определенной конфигурацией электрического поля в условиях лазерного охлаждения их до микрокельвиновых температур.

Взаимодействие между заряженными ионами в одномерной цепочке этих ловушек осуществляется посредством возбуждения их коллективного движения, а индивидуальное управление ими с помощью лазеров инфракрасного диапазона. Первый прототип квантового компьютера на этих принципах был предложен австрийскими физиками И.Цираком и П.Цоллером в 1995 году. В настоящее время интенсивные экспериментальные работы ведутся в Los Alamos Natl.Lab. (LANL) и Natl.Inst.Stand.Tech. (NIST) в США. Преимущество такого подхода состоит в сравнительно простом индивидуальном управлении отдельными кубитами. Основными недостатками этого типа квантовых компьютеров являются необходимость создания сверхнизких температур, обеспечение устойчивости состояний ионов в цепочке и ограниченность возможного числа кубитов значением $L < 40$.

2) Использование в качестве значения кубитов состояний атомов с ядерными спинами с $I = 1/2$, принадлежащих молекулам органических жидкостей с косвенным скалярным взаимодействием между ними и методов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для управления кубитами.

Первые предложения были сформулированы в 1997 году в Massach.Inst.Tech. (MIT), LANL в США и в Clarendon Lab. в Оксфорде в Великобритании. В этом же году были выполнены первые эксперименты на ядерных спинах двух атомов водорода в молекулах дибромотиофена $\text{SCH}:(\text{CBr})_2:\text{CH}$ и на трех ядерных спинах - одном в атоме водорода и двух в изотопах углерода в молекулах трихлорэтилена $\text{CCl}_2:\text{CHCl}$. Важным здесь является то, что для селективного воздействия на ядерные спины молекулы необходимо чтобы они достаточно различались по резонансным частотам. Позднее были осуществлены квантовые операции также в цитозине, хлороформе, аланине и других жидкостях с числом спинов-кубитов $L = 3,5,6,7$.

Главным преимуществом такого компьютера является то, что огромное число практически независимых молекул-компьютеров жидкости действует, обеспечивая тем самым возможность управления ими с помощью хорошо известных в технике ядерного магнитного резонанса (ЯМР) операций над макроскопическим объемом жидкости. Последовательности радиочастотных импульсов, выполняющие в этом случае роль определенных квантовых логических вентилей, осуществляют глобальные унитарные преобразования состояний соответствующих ядерных спинов для всех молекул-компьютеров. Индивидуальное обращение к отдельным кубитам заменяется одновременным обращением к соответствующим кубитам во всех молекулах большого ансамбля. Компьютер такого рода получил название ансамблевого (bulk-ensemble quantum computer) ЯМР квантового компьютера. Замечательно, что он может в принципе работать при комнатной температуре. Время декоге-

рентгизации квантовых состояний ядерных спинов в жидкости достаточно велико. Оно может составлять несколько секунд.

В области ЯМР квантовых компьютеров на органических жидкостях к настоящему времени достигнуты наибольшие успехи. Они связаны в основном с хорошо развитой импульсной техникой ЯМР-спектроскопии, обеспечивающей выполнение различных операций над когерентными суперпозициями состояний ядерных спинов и с возможностью использования для этого стандартных ЯМР-спектрометров, работающих при комнатных температурах.

Экспериментально на ЯМР квантовых компьютерах были осуществлены алгоритм Гровера поиска данных, квантовое фурье-преобразование, квантовая коррекция ошибок, квантовая телепортация, квантовое моделирование и другие операции.

Однако, ЯМР квантовые компьютеры на молекулах органической жидкости не смогут иметь число кубитов, значительно больше десяти. Их следует рассматривать лишь как прототипы будущих квантовых компьютеров, полезные для отработки принципов квантовых вычислений и проверки квантовых алгоритмов.

3) Использование в качестве значений кубитов зарядовых состояний куперовских пар в квантовых точках, связанных переходами Джозефсона, предложенное Д.В.Авериным в 1998 году.

Первый твердотельный квантовый элемент на этих принципах был создан в NEC Fund.Res.Lab. в Японии в 1999 году [19]. Полагают, что перспективность этого направления состоит в возможности создания электронных квантовых устройств высокой степени интеграции на одном кристалле, при этом для управления квантовыми элементами не потребуются громоздкие лазерные или ЯМР установки. Однако на пути создания квантовых компьютеров еще остается нерешенными ряд важных проблем и, в частности, проблема устойчивости состояний квантовых элементов и декогерентизация. Работы по разработке квантовых компьютеров на высокотемпературных сверхпроводниках в России ведутся в Институте теоретической физики им. Л.Д.Ландау РАН.

Перечисленные выше три в разной степени реализованных направления в развитии элементной базы квантовых компьютеров дополним здесь еще двумя широко обсуждаемыми пока на уровне предложений направлениями:

4) Важные перспективы открываются перед направлением твердотельных ЯМР квантовых компьютеров.

В 1998 г. австралийским физиком Б.Кейном было предложено использовать в качестве значений кубитов состояния обладающих ядерным спином $1/2$ донорных атомов с изотопами ^{31}P , которые имплантируются в кремниевую структуру. Это предложение, которое пока остается нереализованным, открывает потенциальную возможность создания квантовых вычислительных устройств с практически неограниченным числом кубитов.

В рассматриваемом варианте предполагается использовать температуры достаточно низкие для того, чтобы электроны донорных атомов занимали только нижнее спиновое состояние в магнитном поле.

Каждый донорный атом с ядерным спином - кубит в полупроводниковой структуре предполагается расположить регулярным образом с достаточной точностью под "своим" управляющим металлическим затвором (затвор А), отделенным от поверхности кремния тонким диэлектриком (например, окисью кремния толщиной порядка нескольких нанометров). Эти затворы образуют линейную решетку произвольной длины.

С помощью электрического поля, создаваемого потенциалом затворов А, можно изменять распределение электронной плотности вблизи ядра в основном состоянии изменяя, соответственно, резонансную частоту каждого ядерного спина, которая определяется сверхто

им взаимодействием его с электронным спином. Это позволяет осуществлять индивидуальное управление квантовыми операциями путем селективного воздействия резонансных радиочастотных импульсов на ядерные спины определенных доноров.

Величиной косвенного взаимодействия между ядерными спинами соседних доноров, которое обеспечивает выполнение двухкубитовых операций, предлагается управлять с помощью затворов J, расположенных между затворами А. Это возможно, если характерные размеры полупроводниковой структуры лежат в нанометровой области. Для формирования таких структур предполагается воспользоваться приемами современной нанотехнологии.

Были предложены и несколько вариантов измерения состояний кубитов, но ни один из них пока не реализован, а также ансамблевые варианты твердотельных ЯМР квантовых компьютеров. В России работы в этом направлении ведутся в Физико-технологическом институте РАН.

5) Еще одним из интересных направлений является использование в качестве состояний кубитов двух спиновых или двух зарядовых электронных состояний в полупроводниковых наноструктурах, в частности в квантовых точках, формируемых в гетероструктурах типа AlGaAs/GaAs, либо со спин-спиновым обменным, либо с электрическим взаимодействием между кубитами. Индивидуальное управление кубитами в случае спиновых электронных состояний предполагается осуществлять используя, так называемые спиновые клапаны, а для измерения состояния отдельного спина - спиновые фильтры из ферромагнитных туннельных барьеров. В случае зарядовых состояний предполагается управлять кубитами либо лазерами инфракрасного диапазона, либо с помощью электрического воздействия на высоту барьера, разделяющего кубиты. Активные поисковые исследования в этом направлении проводятся в исследовательских центрах IBM. Работа по моделированию полупроводниковых кубитовых наноструктур из квантовых точек в России ведется в Физико-технологическом институте РАН.

Из рассмотренных выше пяти основных направлений наиболее привлекательными с точки зрения создания квантовых компьютеров в настоящее время представляются три пока нереализованных конкурирующих направления: полупроводниковые ЯМР квантовые компьютеры, квантовые компьютеры на переходах Джозефсона и квантовые компьютеры на квантовых точках. Все они допускают произвольно большое число кубитов и для них существуют уже многие наработанные приемы микро- и нанотехнологии создания полупроводниковых и сверхпроводниковых интегральных схем. Все три направления предполагают наличие генераторов управляющих импульсов, использование низких температур и, следовательно, использование совсем не миниатюрных обслуживающих систему кубитов устройств, а в случае твердотельного ЯМР квантового компьютера еще и использование магнита.

Среди нерешенных проблем отметим следующие:

- в настоящее время отсутствует практическая разработка методов квантовых измерений состояний отдельного ядерного спина или их малых групп;
- не изучено влияние неидеальности управляющих кубитами импульсных последовательностей и многоуровневой сверхточной структуры энергетического спектра на декогерентизацию квантовых состояний;
- не разработаны способы подавления декогерентизации, определяемой шумами в электронной измерительной системе;
- не опробованы квантовые методы коррекции ошибок для многокубитовых систем.

Познакомимся с некоторыми проектами квантовых компьютеров на переходах Джозефсона.

В Америке начала 80-х годов компьютерный гигант IBM объявил о планах по созданию сверхпроводникового суперкомпьютера с тактовой частотой в несколько ГигаГерц. Ученые из IBM использовали так называемую вольтовую логику (voltage-stage logic, MVTL). Сигналы в MVTL представлялись так же, как и в КМОП, уровнями напряжения, но передавались по сверхпроводниковым линиям, а хранились в сверхпроводниковых интерферометрах в виде квантов магнитного потока. Существенным недостатком MVTL являлось требование глобального высокочастотного тактирования, что сводило на нет все преимущества перед полупроводниками (по скорости и по энерговыделению). Отсутствие ясных перспектив и конкурентоспособности привело к тому, что работы были прекращены, породив на свет прототипный примитивный четырехбитный микропроцессор. Коллектив ученых и инженеров, работавших над процессором, отпочковался от IBM и возродился, спустя десять лет - в образе компании "Хайпрес" (HYPRES, Inc.).

А тем временем центр мировой джозефсонике переместился в середине 80-х годов в Японию в компании Hitachi и NEC. Японцы были неоригинальны и в качестве темы нового проекта выбрали четырехбитный микропроцессор, основанный на логике MVTL. Неудивительно, что финал японского проекта в точности совпал с финалом предыдущего, американского проекта: по-

сле демонстрации работающего чипа с микропроцессором на очередной международной конференции по сверхпроводниковой электронике работы были свернуты.

В журнале Nature в 1999 году были описаны эксперименты японских ученых по управлению состоянием электронов путем воздействия на них коротких электрических импульсов. Правительство Японии и фирма NEC решили финансировать научные исследования в этом направлении в течении последующих пяти лет.

Наиболее перспективным направлением в создании квантового компьютера считается использование быстрой одноквантовой логики.

Незаслуженно забытая ныне на просторах бывшего СССР, БОКЛ - быстрая одноквантовая логика (английское название - Rapid Single Flux Quantum logic, RSFQ) была открыта и детально разработана в начале 80-х годов тогда еще советскими физиками Константином Лихаревым, Василием Семеновым и Олегом Мухановым, бывшими соответственно профессором и аспирантами физического факультета Московского Государственного Университета им. Ломоносова (МГУ), а также сотрудниками и студентами их лаборатории. Технологической базой БОКЛ в СССР служил московский Институт Радиоэлектроники и Автоматики (ИРЭ) Академии Наук (группа под научным руководством Валерия Кошельца).

Единицей представления информации в БОКЛ являются одиночные кванты магнитного потока ($2,06 \cdot 10^{-15}$ Вб). Кванты перемещаются от вентиля к вентилю микроскопическими токами, наводимыми такими же квантами в управляющих контурах. Характерная тактовая частота БОКЛ устройств, изготовленных с применением архаичной 3,5-микронной технологии, составляет 20 Гигагерц. Переход на более прогрессивную полумикронную технологию позволит поднять эту цифру до 100 ГГц. Мощность, потребляемая сверхпроводниковыми БОКЛ схемами, мизерна. Несмотря на то, что для работы БОКЛ устройств их необходимо охлаждать до температуры жидкого гелия (4-9 градусов Кельвина, или от -269 до -264 градусов Цельсия), полная мощность, потребляемая сверхпроводниковой подсистемой квантового компьютера с учетом криогенного оборудования, оценивается всего в 500 киловатт.

Устройства, основанные на БОКЛ логике, являются также базовыми элементами сверхпроводниковых буферов памяти и межпроцессорной пакетной сети. Сеть выполняет функции системной шины и позволяет передавать 1 петабайт информации в секунду, что превышает суммарный объем информации всех экземпляров книг на земном шаре.

Быстрая одноквантовая логика основана на явлении квантизации магнитного потока в сверхпроводниках. Некоторые металлы (в частности, свинец и ниобий), будучи охлажденными до температуры жидкого гелия (4 Кельвина, или -269 градусов Цельсия), становятся сверхпроводниками, то есть обретают способность пропускать электрический ток без падения напряжения. В частности, это означает, что ток в сверхпроводниковом кольце

будет циркулировать вечно, и это не метафора, а физический факт! Существует лишь один способ "выпустить" ток из кольца (равно как и "впустить" его в кольцо): разрушить сверхпроводимость, подавить ее на время, прорвать "сверхпроводниковую" блокаду.

Второе удивительное свойство сверхпроводникового кольца с током состоит в том, что этот ток не может быть произвольным: поток магнитного поля, создаваемого током в кольце, то есть произведение величины магнитного поля на площадь контура, обязан быть равен целому числу квантов магнитного потока. Другими словами, квант "вошел" в кольцо - и ток увеличился на некую величину, зависящую от геометрических размеров кольца. Квант "вышел" из кольца - и ток уменьшился на ту же самую величину. Любое сверхпроводниковое кольцо может не содержать магнитного поля вообще, содержать один квант, два, три... И даже "минус один" квант! (Поле противоположной полярности.) А вот пол-кванта или полтора - не может!

Устройство, ответственное за проникновение квантов в кольцо и обратно, называется Джозефсоновским переходом (назван так в честь первооткрывателя соответствующего эффекта, аспиранта Джозефсона, более, увы, ничем не прославившегося) и фактически является аналогом р-п перехода из мира полупроводников. Из двух последовательно включенных джозефсоновских переходов строится компаратор - сверхпроводниковый аналог транзистора, из включенных параллельно джозефсоновских переходов - интерферометр, элемент, функционально близкий к D-триггеру.

Джозефсоновский переход технологически представляет из себя тонкую (толщиной в несколько нанометров) пленку изолятора, оксида алюминия Al_2O_3 , "закатанную" между двумя слоями сверхпроводящего ниобия. В силу так называемого "эффекта близости" два сверхпроводника "чувствуют" друг друга на небольшом расстоянии, и от одного к другому может течь небольшой электрический сверхток, даже если на пути находится нормальный, не сверхпроводящий, металл или изолятор. Если же величина тока превышает некий предел (называемый критическим током), то все становится на свои места: сверхпроводимость разрушается, ниобий из сверхпроводника становится нормальным металлом и обретает сопротивление.

Используя описанные выше приемы, легко построить более изощренные схемотехнические элементы: T- и RS-триггеры, однобитные регистры, логические элементы, реализующие функции И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, инверторы и т. п. (полный перечень БОКЛ содержит несколько десятков разнообразных элементарных ячеек, многие из которых выполняют одну и ту же функцию, но отличаются по способу реализации).

Классическая БОКЛ придерживается следующего соглашения:

1. Существует генератор тактовых импульсов (глобальный или локальный), более или менее регулярно испускающий кванты магнитного потока, тактирующие все элементы схемы.

2. Наличие кванта магнитного потока на входе данных некой ячейки между двумя последовательными тактовыми сигналами рассматривается как логическая единица.

3. Отсутствие кванта магнитного потока рассматривается как логический ноль.

Альтернативное направление использует, так называемый, двухрельсовый подход, когда данные передаются по двум параллельным линиям, так что сигнал на одной из линий интерпретируется как логический ноль, а сигнал на второй линии - как логическая единица. Такой (асинхронный) подход удобен тем, что не требует понятия тактирования как такового и потому является нечувствительным к нестабильности частоты тактового генератора.

К сожалению, двухрельсовые БОКЛ устройства используют в два-три раза больше джозефсоновских переходов и занимают в три-четыре раза больше полезной площади на чипе.

Для уменьшения энергопотребления и повышения тактовой частоты вычислительного ядра гиперкомпьютера кремниевые полупроводниковые микропроцессоры должны уступить место ниобиевым сверхпроводниковым, основанным на быстрой одноквантовой логике (БОКЛ).

Взлет сверхпроводниковой микроэлектроники совпал с крушением "железного занавеса", и новорожденная, но еще не окрепшая БОКЛ вырвалась на просторы Европы. Кроме уже существовавшей к тому времени лаборатории криоэлектроники Физического факультета МГУ им. Ломоносова и технологического центра в Институте Радиолетроники (ИРЭ) АН СССР, лаборатории по изучению БОКЛ открылись в нескольких немецких и шведских университетах.

Интерес к БОКЛ "подогревался" открытием высокотемпературной сверхпроводимости керамических сплавов, переходящих в сверхпроводящее состояние при температуре 77 градусов Кельвина - то есть в жидком азоте (а не гелии!). В качестве перспективных областей применения БОКЛ впервые стали фигурировать высокоточные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП). К сожалению, поразивший советскую науку кризис привел к тому, что лаборатория криоэлектроники, а за ней и сотрудники ИРЭ в полном составе переехали в США и в Европу.

Круг замкнулся, и следующий взлет джозефсоновской схемотехники и технологии снова пришелся на США: на Университет штата Нью-Йорк в Стони-Бруке (SUNY at Stony Brook) и фирму HYPRES. Позднее к исследованию БОКЛ подключились Университет Рочестера (University of Rochester), Университет Беркли (UCB) и коммерческие фирмы Westinghouse (ныне Northrop Grumman), Conductus и TRW. Одновременно разработки устройств на базе БОКЛ начались в Японии, в Электротехнической лаборатории (ETL) и компании NEC.

Решение проблемы было предложено учеными Томасом Стерлингом и Полом Мессиной из Калифорнийского Технологического Института (Tomas Sterling, Paul Messina, Caltech, США), Гуаном Гао из университета Мак-Гилл

(Guang Gao, McGill, Канада) и Константином Лихоревым из университета штата Нью-Йорк (Konstantin Likharev, SUNY, США). Ими была разработана принципиально новая архитектура будущего суперкомпьютера - Гибридно-технологическая Многопоточная Архитектура (ГТМПА, Hybrid Technology Multithreaded Architecture, НТМТ). В основе ГТМПА лежит использование нетрадиционных технологий ("гибридность") и расщепление параллельных процессов на более мелкие независимые фрагменты: потоки и нити ("многопоточность"). За новым петафлопным суперкомпьютером закрепился термин "гиперкомпьютер".

Каждый из 4096 микропроцессоров гиперкомпьютера аппаратно поддерживает 16 параллельных процессов ("потоков"). Каждому потоку предоставляется набор из шестидесяти четырех 64-битных регистров общего назначения, необходимые контрольные регистры и целочисленное АЛУ, образующие аппаратный контекст потока (АКП). Функциональные устройства с плавающей запятой и закрепленный за процессором буфер памяти (СвОЗУ) одинаково доступны для всех 16 потоков.

Необходимо отметить, что проект гиперкомпьютера предусматривает два типа полупроводниковой оперативной памяти: статическую (возможно, охлажденную до температуры жидкого азота, 77 градусов Кельвина) и динамическую. С точки зрения процессоров, вся память образует единое адресное пространство.

Важнейшей коммуникационной артерией гиперкомпьютера является "Вихрь Данных" ("Data Vortex"), широкополосная оптическая многоступенчатая пакетная сеть. Эта сеть, создаваемая группой Коука Рида и Керен Бергман в Принстонском университете (Coke Reed, Keren Bergman, Princeton, США), соединяет друг с другом все банки динамической и статической полупроводниковой памяти.

Еще одна оптическая компонента гиперкомпьютера - голографическая память (Деметри Псалтис, Калифорнийский Технологический институт; Demetri Psaltis, Caltech, США). Один кристалл голографической памяти будет вмещать 1 гигабайт информации, которая может быть считана или записана в виде одномогабайтных страниц. Отличительной особенностью голографической памяти является ее нечувствительность к перебоям электропитания. Вероятно, голографические кристаллы будут выполнять те же функции, что и жесткие диски в современных компьютерах.

В настоящее время в мире насчитывается более двух десятков групп, ведущих исследования в области БОКЛ. Основными применениями цифровой сверхпроводниковой микроэлектроники считаются АЦП и их близкие родственники, высокоточные квантовые магнитометры (SQUID-ы); ЦАП и их родственники, программируемые генераторы сигналов; телекоммуникационные коммутаторы, и, конечно же, самый главный и самый масштабный по финансированию проект американского суперкомпьютера XXI века с производительностью в 1015 операций с плавающей точкой в секунду.

Сверхпроводниковые микросхемы, помимо HYPRES, который является признанными мировым лидером, изготавливаются в Стони-Бруке, TRW, Conductus, ETL и NEC. Из коммерческих приложений следует отметить сверхпроводниковые БОКЛ-магнитометры производства Conductus, которые с успехом используются в многочисленных американских клиниках для наблюдения за сигналами головного мозга человека, самый быстрый в мире АЦП сделанн в HYPRES.

Если наблюдающаяся в настоящее время благоприятная тенденция сохранится, то в 2007 году человечество, быть может, преодолеет очередной рубеж рубеж петафлопных вычислений.

Появление квантовых компьютеров будет означать революцию не только в вычислительной технике, но и в технике передачи информации, в организации принципиально новых систем связи типа квантового Интернета и может быть началом развития новых, пока неизвестных областей Науки и Техники.

Источники информации:

1. К.А.Валиев, А.А.Кокин. Из итогов XX века: От кванта к квантовым компьютерам. Материал с сайта:
www.user.cityline.ru

2. Дмитрий Зиновьев. В погоне за ПетаФлопом., на сайте iXBT.COM, опубликовано 8 декабря 1998г., вторая публикация от 25 марта 1999 года.

3. A Hybrid Technology Multithreaded (HTMT) Computer Architecture for Petaflops Computing by Thomas Sterling January 31, 1997 MS 159-79 Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.

4. Георгий Жувикин. Физики шутят?
КомпьюТерра №35 (364),2000г.

13. INTERNET

Идея открытой сетевой архитектуры была впервые высказана Каном в 1972 году. Открытая сетевая архитектура подразумевает, что отдельные сети могут проектироваться и разрабатываться независимо, со своими уникальными интерфейсами, предоставляемыми пользователям или другим поставщикам сетевых услуг, включая услуги Интернета. При проектировании каждой сети могут быть приняты во внимание специфика окружения и особые требования пользователей.

В основу своих первоначальных рассуждений Кан положил четыре принципа:

- Каждая сеть должна сохранять свою индивидуальность. При подключении к Интернету сети не должны подвергаться внутренним переделкам.
- Коммуникации должны идти по принципу "максимум возможного". Если пакет не прибыл в пункт назначения, источник должен вскоре повторно передать его.
- Для связывания сетей должны использоваться черные ящики; позднее их назовут шлюзами и маршрутизаторами. Шлюзы не должны хранить информацию об отдельных протекающих через них потоках данных. Они должны оставаться простыми, без сложных средств адаптации и восстановления после разного рода ошибочных ситуаций.
- На эксплуатационном уровне не должно существовать глобальной системы управления.

Ключевая концепция создания Интернета состояла в том, что объединение сетей проектировалось не для какого-то одного приложения, но как универсальная инфраструктура, над которой могут быть надстроены новые приложения. Последующее распространение Всемирной паутины стало превосходной иллюстрацией универсальной природы представляемых сервисов.

Рост Интернета вызвал важные изменения и в подходе к вопросам управления.

13. Internet

В серии заметок написанных Дж. Ликлайдером (J.C.R. Licklider) из Массачусетского технологического института (MIT) в августе 1962 года впервые обсуждалась концепция "Галактической сети" (Galactic Network). Автор предвидел создание глобальной сети взаимосвязанных компьютеров, с помощью которой каждый сможет быстро получать доступ к данным и программам, расположенным на любом компьютере. По духу эта концепция очень близка к современному состоянию Интернета. В октябре 1962 года Ликлайдер стал первым руководителем исследовательского компьютерного проекта в Управлении перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (Defence Advanced Research Projects Agency, DARPA). Ликлайдер сумел убедить своих преемников по работе в DARPA - Ивана Сазерленда (Ivan Sutherland) и Боба Тейлора (Bob Taylor), а также исследователя из MIT Лоуренса Робертса в важности этой сетевой концепции.

Леонард Клейнрок из MIT опубликовал первую статью по теории пакетной коммутации в июле 1961 года, а первую книгу - в 1964 году. Клейнрок убедил Робертса в теоретической обоснованности пакетных коммутаций (в противоположность коммутации соединений), что явилось важным шагом по пути создания компьютерных сетей. Другим ключевым шагом должна была стать организация реального межкомпьютерного взаимодействия. Для исследования этого вопроса Робертс совместно с Томасом Меррилом (Thomas Merrill) в 1965 году связал компьютер TX-2, расположенный в Массачусетсе, с ЭВМ Q-32, находившейся в Калифорнии. Связь осуществлялась по низкоскоростной коммутируемой телефонной линии. Таким образом была создана первая в истории (хотя и маленькая) нелокальная компьютерная сеть. Результатом эксперимента стало понимание того, что компьютеры с разделением времени могут успешно работать вместе, выполняя программы и осуществляя выборку данных на удаленной машине. Стало ясно и то, что телефонная система с коммутацией соединений абсолютно непригодна для построения компьютерной сети. Убеденность Клейнрока в необходимости пакетной коммутации получила еще одно подтверждение.

В конце 1966 года Робертс начал работать в DARPA над концепцией компьютерной сети. Довольно быстро появился план ARPANET, опубликованный в 1967 году. На конференции, где Робертс представлял свою статью, был сделан еще один доклад о концепции пакетной сети. Его авторами были английские ученые Дональд Дэвис (Donald Davies) и Роджер Скентльбьюри (Roger Scantlebury) из Национальной физической лаборатории (NPL). Скентльбьюри рассказал Робертсу о работах, выполнявшихся в NPL, а также о работах Пола Бэрена (Paul Baran) и его коллег из RAND (американская некоммерческая организация, занимающаяся стратегическими исследованиями и разработками). В 1964 году группа сотрудников RAND написала статью по сетям с пакетной коммутацией для надежных голосовых коммуникаций в

военных системах. Оказалось, что работы в MIT (1961 - 1967), RAND (1962 - 1965) и NPL (1964 - 1967) велись параллельно при полном отсутствии информации о деятельности друг друга. Разговор Робертса с сотрудниками NPL привел к заимствованию слова "пакет" и решению увеличить предлагаемую скорость передачи по каналам проектируемой сети ARPANET с 2,4 Кб/с до 50 Кб/с.

В августе 1968 года, после того как Робертс и организации, финансируемые из бюджета DARPA, доработали общую структуру и спецификации ARPANET, DARPA выпустило запрос на расценки (Request For Quotation, RFQ), организовав открытый конкурс на разработку одного из ключевых компонентов - коммутатора пакетов, получившего название Интерфейсный процессор сообщений (Interface Message Processor, IMP). В декабре 1968 года конкурс выиграла группа во главе с Фрэнком Хартом (Frank Hart) из компании Bolt-Beranek-Newman (BBN).

После этого роли распределились следующим образом. Команда из BBN работала над Интерфейсными процессорами сообщений, Боб Кан принимал активное участие в проработке архитектуры ARPANET, Робертс совместно с Ховардом Фрэнком (Howard Frank) и его группой из Network Analysis Corporation проектировали и оптимизировали топологию и экономические аспекты сети, группа Клейнрока из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (UCLA) готовила систему измерения характеристик сети.

Благодаря тому, что Клейнрок уже в течение нескольких лет был известен как автор теории пакетной коммутации и как специалист по анализу, проектированию и измерениям, его Сетевой измерительный центр в UCLA был выбран в качестве первого узла ARPANET. Тогда же, в сентябре 1969 года, компания BBN установила в Калифорнийском университете первый Интерфейсный процессор сообщений и подключила к нему первый компьютер. Второй узел был образован на базе проекта Дуга Энгельбарта (Doug Engelbart) "Наращивание человеческого интеллекта" в Стэнфордском исследовательском институте (SRI). (Следует отметить, что частью проекта Энгельбарта была ранняя гипертекстовая система NLS.)

В SRI организовали Сетевой информационный центр, который возглавила Элизабет Фейнлер (Elizabeth [Jake] Feinler). В функции центра входило поддержание таблиц соответствия между именами и адресами компьютеров, а также обслуживание каталога запросов на комментарии и предложения (Request For Comments, RFC). Через месяц, когда SRI подключили к ARPANET, из лаборатории Клейнрока было послано первое межкомпьютерное сообщение. Двумя следующими узлами ARPANET стали Калифорнийский университет в городе Санга-Барбара (UCSB) и Университет штата Юта. В этих университетах развивались проекты по прикладной визуализации. Глен Галлер (Glen Guller) и Бартон Фрайд (Burton Fried) из UCSB исследовали методы отображения математических функций с использованием дисплеев с памятью, позволяющих справиться с проблемой перерисовки изображе-

ния по сети. Роберт Тейлор и Иван Сазерленд в Юте исследовали методы рисования по сети трехмерных сцен.

Таким образом, к концу 1969 года четыре компьютера были объединены в первоначальную конфигурацию ARPANET - взошел первый росток Интернета. Следует отметить, что уже на этой ранней стадии велись исследования как по сетевой инфраструктуре, так и по сетевым приложениям. Эта традиция не нарушена и в наши дни.

В последующие годы число компьютеров, подключенных к ARPANET, быстро росло. Одновременно велись работы по созданию функционально полного протокола межкомпьютерного взаимодействия и другого сетевого программного обеспечения. В декабре 1970 года Сетевая рабочая группа (Network Working Group, NWG) под руководством С. Крокера завершила работу над первой версией протокола, получившего название Протокол управления сетью (Network Control Protocol, NCP). После того, как в 1971 - 1972 годах были выполнены работы по реализации NCP на узлах ARPANET, пользователи сети наконец смогли приступить к разработке приложений.

В октябре 1972 года Роберт Кан организовал большую, весьма успешную демонстрацию ARPANET на Международной конференции по компьютерным коммуникациям (International Computer Communication Conference, ICCS). Это был первый показ на публике новой сетевой технологии. Также в 1972 году появилось первое "горячее" приложение - электронная почта. В марте Рэй Томлинсон (Ray Tomlinson) из BBN, движимый необходимостью создания для разработчиков ARPANET простых средств координации, написал базовые программы пересылки и чтения электронных сообщений.

Позже Робертс добавил к этим программам возможности выдачи списка сообщений, выборочного чтения, сохранения в файле, пересылки и подготовки ответа. С тех пор более чем на десять лет электронная почта стала крупнейшим сетевым приложением. Для своего времени электронная почта была тем же, чем в наши дни является Всемирная паутина, - исключительно мощным катализатором роста всех видов межперсональных потоков данных.

Первоначальная концепция объединения сетей ARPANET постепенно должна была перерасти в Интернет.

Интернет основывается на идее существования множества независимых сетей почти произвольной архитектуры, начиная от ARPANET - пионерской сети с пакетной коммутацией, к которой вскоре должны были присоединиться пакетные спутниковые сети, наземные пакетные радиосети и т.д.

Интернет, в современном понимании, воплощает ключевой технический принцип открытости сетевой архитектуры. При подобном подходе архитектура и техническая реализация отдельных сетей не навязываются извне; они могут свободно выбираться поставщиком сетевых услуг при сохранении возможности объединения с другими сетями посредством метауровня "Межсетевой архитектуры".

Однако, в описываемое нами время существовал только один общий метод объединения сетей - традиционная коммутация соединений, когда сети

объединяются на канальном уровне, а отдельные биты передаются в синхронном режиме по сквозному соединению между двумя оконечными системами. Напомним, что в 1961 году Клейнрок в своих работах указал на преимущества пакетной коммутации. Эти идеи в сочетании со специализированными устройствами межсетевой связи могли стать основой иного подхода.

Были и другие частные методы объединения различных сетей, однако они требовали, чтобы одна сеть выступала как часть другой, а не как равноправный партнер по предоставлению сквозных (от одной оконечной системы до другой) сервисов.

Открытая сетевая архитектура подразумевает, что отдельные сети могут проектироваться и разрабатываться независимо, со своими уникальными интерфейсами, предоставляемыми пользователям или другим поставщикам сетевых услуг, включая услуги Интернета.

При проектировании каждой сети могут быть приняты во внимание специфика окружения и особые требования пользователей.

Вообще говоря, не накладывается никаких ограничений на типы объединяемых сетей или их территориальный масштаб, хотя, конечно, прагматические соображения должны сузить спектр возможных решений.

Идея открытой сетевой архитектуры была впервые высказана Каном в 1972 году, вскоре после того, как он начал работать в DARPA.

Деятельность, которой занимался Кан, первоначально была частью программы разработки пакетных радиосетей, но впоследствии она переросла в полноправный проект под названием "Internetting".

Ключевым для работоспособности пакетных радиосистем был надежный сквозной протокол, способный поддерживать эффективные коммуникации, несмотря на радиопомехи или временное затенение, вызванное особенностями местности или пребыванием в туннеле.

Сначала Кан предполагал разработать протокол, специфичный для пакетных радиосетей, поскольку это избавило бы от необходимости иметь дело с множеством различных операционных систем и позволило бы продолжать использовать протокол NCP.

Однако NCP не содержал средств для адресации сетей (и машин), расположенных в месте назначения, так что некоторые модификации NCP все же были необходимы. (Первоначально предполагалось, что динамические изменения ARPANET невозможны.)

В обеспечении сквозной надежности протокол NCP полагался на ARPANET. Если какие-то пакеты терялись, протокол (и, естественно, поддерживаемые им приложения) должны были остановиться. В модели NCP отсутствовало сквозное управление ошибками, поскольку ARPANET должна была являться единственной существующей сетью, причем настолько надежной, что от компьютеров не требовалось умения реагировать на ошибки.

В итоге Кан решил разработать новую версию протокола, удовлетворяющую требованиям окружения с открытой сетевой архитектурой. Этот

протокол позднее будет назван Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP - Протокол управления передачей/Межсетевой протокол).

В то время как NCP действовал в духе драйвера устройства, новинка должна была в большей мере напоминать коммуникационный протокол.

В основу своих первоначальных рассуждений Кан положил четыре принципа:

- Каждая сеть должна сохранять свою индивидуальность. При подключении к Интернету сети не должны подвергаться внутренним переделкам.

- Коммуникации должны идти по принципу "максимум возможного". Если пакет не прибыл в пункт назначения, источник должен вскоре повторно передать его.

- Для связывания сетей должны использоваться черные ящики, позднее их назовут шлюзами и маршрутизаторами. Шлюзы не должны хранить информацию об отдельных протекающих через них потоках данных. Они должны оставаться простыми, без сложных средств адаптации и восстановления после разного рода ошибочных ситуаций.

- На эксплуатационном уровне не должно существовать глобальной системы управления.

Другими ключевыми проблемами, нуждавшимися в решении, были:

- Алгоритмы, препятствующие разрыву связи из-за потери пакетов и позволяющие источнику повторно передать их.

- Средства "конвейеризации" потоков данных между компьютерами, позволяющие маршрутизировать множество пакетов на всем пути от отправителя до получателя с точностью до компьютеров, участвующих в процессе передачи, если промежуточные сети дают такую возможность.

- Функции шлюзов, позволяющие им правильно перенаправлять пакеты. Имеется в виду интерпретация IP-заголовков для маршрутизации, обслуживание интерфейсов, разделение пакетов на более мелкие, если это необходимо, и т.п.

- Необходимость сквозного контрольного суммирования, пересборки пакетов из фрагментов, выявления повторяющихся пакетов при появлении таковых.

- Необходимость глобальной адресации.

- Методы сквозного управления потоками данных.

- Взаимодействие с различными операционными системами.

Были и другие проблемы, например, эффективность реализации и производительность объединенной сети, но первоначально их отодвинули на второй план.

Кан начал работать над коммуникационно-ориентированными принципами операционных систем, еще будучи сотрудником BBN. Он зафиксировал некоторые из своих ранних соображений в виде внутреннего меморандума BBN, озаглавленного "Коммуникационные принципы операционных систем" ("Communications Principles for Operating Systems"). Кан понял, что для эф-

фективного встраивания любого нового протокола необходимо изучить детали реализации каждой операционной системы. В результате весной 1973 года, после образования проекта "Internetting", Кан пригласил Винта Серфа (работавшего в то время в Стэнфорде) для совместной работы над детальной спецификацией протокола. Серф активно участвовал в проектировании и реализации NCP, поэтому он уже обладал информацией об интерфейсах с существующими операционными системами. Вооружившись архитектурным подходом Кана к коммуникациям и опытом Серфа, полученным во время работы над NCP, коллеги объединились для уточнения деталей того, что впоследствии станет семейством протоколов TCP/IP.

Взаимообогащение дало превосходные результаты, и первая документированная версия выработанных спецификаций была распространена на специальной встрече Международной сетевой рабочей группы (INWG), состоявшейся во время конференции в Университете Суссекса в сентябре 1973 года. В свое время Серфу предложили возглавить эту группу, и он не упустил случая организовать встречу членов INWG, поскольку большинство из них присутствовали на конференции в Суссексе.

В процессе сотрудничества между Каном и Серфом были сформулированы следующие основополагающие принципы:

- Общение между двумя процессами логически должно представляться как обмен непрерывными последовательностями байтов (октетов, в терминологии Кана и Серфа). Для идентификации октета используется его позиция в последовательности.

- Управление потоком данных осуществляется на основе механизмов скользящих окон и подтверждений. Получатель может выбирать, когда посылать подтверждение, распространяющееся на все полученные к этому моменту пакеты.

- Вопрос о том, как именно отправитель и получатель договариваются о параметрах окон, оставлен открытым. Первоначально используются подразумеваемые значения.

Хотя в то время в Исследовательском центре компании Ксерокс в Пало Альто (Xerox PARC) уже велись работы над сетями Ethernet, массового распространения локальных сетей пока не предвиделось. О персональных компьютерах и рабочих станциях вообще не было речи. Первоначальную модель составляли сети национального уровня, такие как ARPANET; предполагалось, что подобных сетей будет относительно немного. В результате под IP-адрес было отведено 32 бита, из которых первые 8 битов обозначали сеть, а оставшиеся 24 бита - компьютер в сети.

Предположение о том, что в обозримом будущем окажется достаточно 256 сетей, очевидно, пришлось пересматривать с появлением локальных сетей в конце 1970-х годов.

В первоначальном документе Серфа и Кана по объединению сетей описывался один протокол, названный TCP. Он предоставлял все услуги по

транспортировке и перенаправлению данных в Интернете. Кан планировал, что протокол TCP будет поддерживать целый диапазон транспортных сервисов, от абсолютно надежной упорядоченной доставки данных (модель виртуального соединения) до дэйтаграммного сервиса, когда приложение напрямую взаимодействует с нижележащим сетевым уровнем, что может привести к случайным потерям, повреждению или дублированию пакетов.

Однако первые попытки реализовать TCP породили версию, поддерживающую только виртуальные соединения. Такая модель отлично работала для приложений типа пересылки файлов или удаленного входа в систему, но ряд ранних исследований продвинутых сетевых приложений, в частности, пакетной передачи голоса (1970-е годы), показал, что в некоторых случаях потерю пакетов не следует исправлять на уровне TCP, - пусть приложение само разбирается с ними.

Это привело к реорганизации первоначального варианта TCP и разделению его на два протокола:

- простой IP, обслуживающий только адресацию и перенаправление отдельных пакетов,

- и отдельный TCP, имеющий дело с такими операциями, как управление потоком данных и нейтрализация потери пакетов.

Для приложений, не нуждавшихся в услугах TCP, была добавлена альтернатива - Пользовательский дэйтаграммный протокол (User Datagram Protocol, UDP), открывающий прямой доступ к базовым сервисам уровня IP.

Первоначально основным стимулом к созданию как ARPANET, так и Интернета было совместное использование ресурсов, позволяющее, например, пользователям пакетных радиосетей осуществлять доступ к системам с разделением времени, подключенным к ARPANET. Объединять сети было гораздо практичнее, чем увеличивать число очень дорогих компьютеров. Тем не менее, хотя пересылка файлов и удаленный вход (Telnet) были очень важными приложениями, наибольшее влияние из инноваций того времени оказала, безусловно, электронная почта. Она породила новую модель межперсонального взаимодействия и изменила природу сотрудничества, сначала в рамках собственно построения Интернета (об этом речь впереди), а позднее, - в пределах большей части общества.

На заре Интернета предлагались и другие приложения, включая основанные на пакетах голосовые коммуникации (предшественники Интернет-телефонии), различные модели разделения файлов и дисков, а также ранние программы-черви, иллюстрирующие концепцию агентов (и, конечно, вирусов). Ключевая концепция создания Интернета состояла в том, что объединение сетей проектировалось не для какого-то одного приложения, но как универсальная инфраструктура, над которой могут быть настроены новые приложения. Последующее распространение Всемирной паутины стало превосходной иллюстрацией универсальной природы сервисов, предоставляемых TCP и IP.

DARPA заключило три контракта на реализацию TCP/IP - со Стэнфордом (Серф), с BBN (Рэй Томлинсон) и с Университетским колледжем Лондона (UCL, Петер Кирстен - Peter Kirstein). (В статье Серфа и Кана использовалось название TCP, за которым скрывались оба протокола.) Стэнфордская команда, возглавляемая Серфом, подготовила детальные спецификации, после чего примерно за год были выполнены три реализации TCP, способные взаимодействовать друг с другом.

Начался долгий период экспериментов и разработок, направленных на развитие и шлифовку концепций и технологий Интернета. Отправляясь от первых трех сетей (ARPANET, Packet Radio, Packet Satellite) и образовавшихся вокруг них коллективов исследователей, экспериментальное окружение росло, вбирая в себя, по существу, все виды сетей и очень широкое сообщество исследователей и разработчиков. Каждое расширение ставило новые задачи.

Ранние реализации TCP были выполнены для больших систем с разделением времени, таких как Tenex и TOPS 20. Когда начали появляться настольные системы, многие посчитали, что для персональных компьютеров TCP - слишком большой и сложный протокол. Дэвид Кларк и его исследовательская группа из MIT решили доказать возможность компактной и простой реализации TCP, выполнив ее сначала для Xerox Alto (ранняя персональная рабочая станция, созданная в Xerox PARC), а затем для IBM PC. Эта реализация обладала полной интероперабельностью с другими воплощениями TCP, но была специально настроена на набор приложений и параметры производительности персональных компьютеров. Таким образом, удалось продемонстрировать, что рабочие станции могут войти в Интернет наряду с большими системами с разделением времени.

В 1976 году Клейнрок опубликовал первую книгу по ARPANET. В ней он обращал особое внимание на сложность протоколов и связанные с этим опасности. Книга способствовала распространению идей пакетной коммутации среди очень широкого сообщества.

Большое распространение в 1980-е годы локальных сетей, персональных компьютеров и рабочих станций дало толчок бурному росту Интернета.

Технология Ethernet, разработанная в 1973 году Бобом Меткалфом (Bob Metcalfe) из Xerox PARC, в наши дни является, вероятно, доминирующей сетевой технологией в Интернете, а ПК и рабочие станции стали доминирующими компьютерами.

Переход от небольшого количества сетей с умеренным числом систем с разделением времени (первоначальная модель ARPANET) ко множеству сетей привел к выработке ряда новых концепций и внесению изменений в базовые технологии.

Прежде всего были определены три класса сетей (А, В и С), чтобы учесть разные масштабы конфигураций. В класс А входят большие сети общенационального масштаба (малое количество сетей с большим числом компьютеров). Класс В предназначен для сетей регионального масштаба, класс С

- для локальных сетей (большое количество сетей с относительно малым числом компьютеров).

Рост Интернета вызвал важные изменения и в подходе к вопросам управления.

Чтобы сделать сеть более дружественной, компьютерам были присвоены имена, делающие ненужным запоминание числовых адресов.

Первоначально, при небольшом количестве компьютеров, было разумно иметь единую таблицу с их именами и адресами.

Переход к большому числу независимо администрируемых сетей (таких, как ЛВС) сделал идею единой таблицы непригодной. Пол Мокапетрис (Paul Mockapetris) из Института информатики Университета Южной Калифорнии (USC/ISI) придумал доменную систему имен (Domain Name System, DNS).

DNS позволила создать масштабируемый распределенный механизм для отображения иерархических имен компьютеров (например www.acm.org) в Интернет-адресах.

С ростом Интернета пришлось пересмотреть и характер функционирования маршрутизаторов. Первоначально существовал единый распределенный алгоритм маршрутизации, единообразно реализуемый всеми маршрутизаторами в Интернете. В условиях быстрого увеличения числа сетей стало невозможно расширять этот ранний подход в нужном темпе. Его пришлось заменить иерархической моделью маршрутизации с Внутренним шлюзовым протоколом (Interior Gateway Protocol, IGP), используемым внутри каждой области Интернета, и Внешним шлюзовым протоколом (Exterior Gateway Protocol, EGP), применяемым для связывания областей между собой.

Подобная архитектура позволила иметь в разных областях разные варианты IGP, учитывающие специфику требований к стоимости, скорости реконфигурации, устойчивости и масштабируемости. Кроме алгоритма, тяжелым испытанием стал рост таблиц маршрутизации. Недавно были предложены новые подходы к агрегированию адресов (в частности, бесклассовая междоменная маршрутизация, CIDR), позволяющие уменьшить размер этих таблиц.

Еще одной проблемой, вызванной ростом Интернета, стало внесение изменений в программное обеспечение, особенно в программном обеспечении хостов. DARPA поддержало исследования Университета Беркли (Калифорния) по модификации операционной системы Unix, включая встраивание реализации TCP/IP, выполненной в компании BBN. Хотя позднее в Беркли перенимали программы, полученные от BBN, чтобы более эффективно объединить их с Unix-системой в целом и ядром ОС в особенности, встраивание TCP/IP в Unix BSD оказалось критически важным для распространения протоколов среди исследовательского сообщества. Дело в том, что большая часть специалистов в области информатики в то время начала использовать Unix BSD в своей повседневной практике. Оглядываясь назад, можно прийти к заключению, что стратегия встраивания протоколов Интернета в операционную систему, поддерживаемую исследовательским сообществом, явилась

одним из ключевых элементов успешного и повсеместного распространения Интернета.

Одной из самых интересных задач был перевод ARPANET с протокола NCP на TCP/IP, состоявшийся 1 января 1983 года. Это был переход в стиле "дня X", требующий одновременных изменений на всех компьютерах. (На долю опоздавших оставались коммуникации, действовавшие с помощью специализированных средств.) Переход тщательно планировался всеми заинтересованными сторонами в течение нескольких предшествующих лет и прошел на удивление гладко (но привел к распространению значка "Я пережил переход на TCP/IP").

Протокол TCP/IP был принят в качестве военного стандарта тремя годами раньше, в 1980 году. Это позволило военным начать использование технологической базы Интернета и в конце концов привело к разделению на военное и гражданское Интернет-сообщества. К 1983 году ARPANET использовало значительное число военных исследовательских, разрабатывающих и эксплуатирующих организаций. Перевод ARPANET с NCP на TCP/IP позволил разделить эту сеть на MILNET, обслуживавшую оперативные нужды, и ARPANET, использовавшуюся в исследовательских целях.

Таким образом, к 1985 году технологии Интернета поддерживались широкими кругами исследователей и разработчиков. Интернет начинали использовать для повседневных компьютерных коммуникаций люди самых разных категорий. Особую популярность завоевала электронная почта, работавшая на разных платформах. Совместимость различных почтовых систем продемонстрировала выгоды массовых электронных коммуникаций между людьми.

Источники информации:

1. <http://www.cspi.org.ru/oleg/2/story.html>

2. П.Храмцов. Internet в России, Открытые Системы, 1(15)/96, стр. 58-61

3. Мирослав Макстеник. Сравнение сетевых архитектур. Сети #02/97

4. Michael V. Novikoff v. Корпоративные сети. (1.01 в рамках спецкурса) Special №9.

5. <http://www.chainick.newmail.ru/win/history.htm>
ЛИКБЕЗ - ИСТОРИЯ ИНТЕРНЕТ

14. 0 КИБЕРНЕТИКЕ

Во всех процессах происходит передача, запоминание и преобразование информации. Таким образом, к любому набору сигналов любой природы можно подходить с единой точки зрения (рассматривая вещество и энергию), и ввести количественную меру информации как величину, противоположную по знаку энтропии (мере связанной энергии). Винер сформулировал две фундаментальные идеи: о едином подходе к различным процессам управления и об информации, как об одной из важнейших характеристик материи. Термин "кибернетика" происходит от греческого слова "рулевой". Идеи, легшие в основу кибернетического подхода к самым различным явлениям, накапливались задолго до публикации книги. Математическая логика, теория систем автоматического управления, конструирование математических инструментов и счетных машин - все это послужило фундаментом будущей науки. Все это появилось даже не за сто лет до Винера, а еще раньше. Дж.Фон Нейман разработал основы теории самовоспроизводящихся автоматов, имея ввиду проблемы и прообразы из генетики и молекулярной биологии. К.Шеннон, Л.Бриллюэн и др. прояснили понятие количества информации. А.Ляпунов и С.Яблонский описали центральный объект кибернетики - системы управления, а И.Полетаев уточнил понимание "информации по смыслу", физических особенностей актов управления, принципа лимитирования в сложных системах.

"Кибернетика" Ноберта Винера оказала громадное влияние на исследования в области искусственного интеллекта. Велико значение его экспериментов, проведенных во время Второй Мировой Войны с системами, которые предсказывали курс вражеских самолетов на основе обработки радарных изображений.

Кибернетика инициировала работы по анализу мозговых волн и исследование подобия между человеческим мозгом и современной вычислительной машиной, способной работать с ассоциативной памятью, производить выбор и принимать решения.

Проблема обратной связи в системах управления была еще одним корнем кибернетики.

За короткое время в теоретической кибернетике были получены крупные результаты, открывшие возможность обосновать и решить проблемы молекулярно-генетической организации.

Кибернетика была активной и бурно развивавшейся наукой, приложение которой пытались найти в самых разных областях знания. Благодатным полем приложения кибернетических идей оказались и "молодые" науки генетического профиля.

14. О кибернетике

Общеизвестно, что кибернетика берет начало от известной книги Норберта Винера, вышедшей в 1948 году "Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине". Одна из основных идей книги - аналогия в процессах управления и связи в машинах, живых организмах и сообществах. Во всех процессах происходит передача, запоминание и преобразование информации. Таким образом, к любому набору сигналов любой природы можно подходить с единой точки зрения (рассматривая вещество и энергию), и ввести количественную меру информации как величину, противоположную по знаку энтропии (мере связанной энергии). Винер сформулировал две фундаментальные идеи: о едином подходе к различным процессам управления и об информации, как об одной из важнейших характеристик материи. Термин "кибернетика" происходит от греческого слова "рулевой". Идеи, легшие в основу кибернетического подхода к самым различным явлениям, накапливались задолго до публикации книги. Математическая логика, теория систем автоматического управления, конструирование математических инструментов и счетных машин - все это послужило фундаментом будущей науки и появилось даже не за сто лет до Винера, а еще раньше. Достаточно упомянуть об общепhilософском подходе к проблемам социального управления, он был изложен в прошлом веке в работах малоизвестного польского мыслителя Ф.Б.Трентовского и знаменитейшего французского физика А.М.Ампера, которые и применили впервые сам термин "кибернетика". Теория общности процессов в живом организме и машинах восходит к идеям Р. Декарта, сформулированным в "Трактате о человеке" (1649), к механистическим концепциям Ж. Ламетри, изложенным в его работе "Человек - машина" (1747). Идеи о возможности технической реализации мыслительных возможностей человека были высказаны Б. Паскалем при создании суммирующей машины (1641). Идея создания механического устройства для получения разумной и новой по содержанию информации была реализована испанским философом и богословом Р. Луллием. Устройство известно, как "вертушка Луллия", это простое устройство при вращении составляло случайное сочетание слов, смысл которого можно было интерпретировать. Длительную историю имеет развитие математических идей и методов. "Если бы мне пришлось выбирать в анналах истории науки святого - покровителя кибернетики, то я бы выбрал бы Лейбница" - писал Н. Виннер. Решающий шаг в математизации логики был сделан в XIX веке. В 1847 году Дж. Буль разработал алгебру логики, которая стала основой теории алгоритмов, теории конечных автоматов. Дж.Фон Нейман разработал основы теории самовоспроизводящихся автоматов, имея ввиду проблемы и прообразы из генетики и молекулярной биологии. К.Шеннон, Л.Бриллюэн и др. прояснили понятие количества информации. А.Ляпунов и С.Яблонский описали центральный объект кибернетики - системы управления, а И.Полетаев уточнил понимание "информации по смыс-

лу", понимание физических особенностей актов управления, принципа лимитирования в сложных системах.

"Кибернетика" Ноберта Винера оказала громадное влияние на исследования в области искусственного интеллекта. Велико значение его экспериментов, проведенных во время Второй Мировой Войны с системами, которые предсказывали курс вражеских самолетов, на основе обработки радарных изображений.

Кибернетика инициировала работы по анализу мозговых волн и исследование подобия между человеческим мозгом и современной вычислительной машиной, способной работать с ассоциативной памятью, производить выбор и принимать решения.

Проблема обратной связи в системах управления была еще одним из корней кибернетики, корнем, уходящим опять-таки довольно далеко, как минимум до работ И.М.Сеченова в биологии. Но и не углубляясь в столь давние времена, можно обнаружить в России работы кибернетического плана еще до книги Винера, в межвоенный период были проведены исследования по биомеханике Н.А.Бернштейна, известны труды М.М.Завадовского, П.П.Лазарева... Примечательно, что известный эколог и общественный деятель Н.Н.Воронцов прямо называет монографию Завадовского "Противоречивые взаимодействия между органами в теле развивающегося животного" (1939) первым в мировой литературе исследованием по биокибернетике.

В конце пятидесятых годов серьезно обсуждалась возможность создания Института кибернетики АН СССР, составлялись проекты тематики института, обсуждалось, какие подразделения должны входить в него, множилась служебная переписка, завершившаяся постановлением Президиума АН, где детально расписывались даже сроки строительства здания института.

Был проект, составленный А.А.Ляпуновым, и отзыв на него И.А.Полетаева (автора первой советской книги по кибернетике и зачинателя шумевшей дискуссии "о физиках и лириках"). Неизвестно, как сложилась бы судьба молодой науки и в послекультурский период - ведь генетика, признанная властями столь же реакционной, еле-еле была реабилитирована к середине шестидесятых годов. Но генетика, в то время, могла иметь отношение лишь к сельскому хозяйству, кибернетика же касалась кое-чего более важного для властей... Это начинали понимать.

Большую роль сыграло отношение к кибернетике Алексея Андреевича Ляпунова, страстного пропагандиста кибернетического подхода, основоположника отечественного программирования. Ученый с энциклопедическим стилем мышления, фронтоник, видный педагог, он преподавал после войны в Артиллерийской академии и сумел убедить своих коллег в погонах и без, что "лженаука" не только не противоречит "самой передовой в мире идеологии", но и сулит значительный прогресс, в том числе и в развитии прикладных работ по оборонной тематике. Полковники и генералы, которые умели не только принимать парады, но и разрабатывать достаточно сложную аппаратуру, например, приборы управления артиллерийским огнем, оценили перспектив-

ность новых вычислительных методов и новой научной парадигмы. Был найден путь на Старую площадь, в идеологический отдел ЦК, и вопрос о реабилитации кибернетики продвинулся к разрешению. Так, на артиллерийском лафете, кибернетика въехала на самые верхние этажи идеологической кухни. Официальная реабилитация должна была состояться там же, откуда прозвучали самые мощные залпы в адрес зловредной империалистической теории - на страницах "Вопросов философии". Но для начала решено было подготовить научную общественность к перемене мнения. В кратком философском словаре ругательную статью о кибернетике изъяли, и с 1954 года был проведен ряд семинаров в московских научных учреждениях. Стенограмма одного из таких семинаров - доклад А.А.Ляпунова в Энергетическом институте АН СССР и его последующее обсуждение - это замечательный документ, ярко демонстрирующий процесс освобождения научной мысли: при его чтении физически ощущаешь, как со скрипом, медленно, но необратимо поворачиваются мозги диспутантов, как уходит скованность (но еще остается осторожность!), как выносятся прочь заскорузлые догмы и всякий пропагандистский мусор. Примечательно, что в обсуждении наряду с учеными и инженерами (в Энергетическом институте уже давно занимались аналоговыми машинами, а к тому времени разрабатывали под руководством члена корреспондента И.С.Брука цифровую вычислительную машину) участвовали философы и даже военные.

После "артподготовки" состоялся штурм главного бастиона - осенью 1955 "Вопросы философии" опубликовали статью С.Л.Соболева, А.И.Китова и А.А.Ляпунова "Основные черты кибернетики" - первую положительную статью о кибернетике в СССР. Собственно, о штурме говорить не приходится: судя по публикуемой стенограмме обсуждения статьи в редакции, это была полная капитуляция, где защитники идеологической твердыни проявили чуть ли не большую лояльность к новым веяниям, чем осаждавшие.

Большую роль в развитии научного направления сыграл Новосибирский научный центр. Переезд сюда в самом начале шестидесятых годов А.А.Ляпунова, Л.В.Канторовича, И.А.Полетаева, А.П.Ершова сделал Академгородок значительным кибернетическим центром.

Источники информации:

1. <http://www.computerhistory.org/timeline>
Timeline Computer History (Computer Museum)

15. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СТУПЕНИ ПРОГРЕССА

Укрупняя деление машин на поколения, можно выделить 3 основные фазы развития Электронных средств обработки информации: домикроэлектронную, когда каждый компьютер был уникальным; промежуточную, когда наметилось множество путей развития вычислительной техники, от многопроцессорных суперкомпьютеров до широко доступных компьютеров; современную, когда созданы персональные компьютеры, способные удовлетворить запросы человека как на бытовом, так и на профессиональном уровне, созданы встраиваемые микропроцессорные устройства, управляющие работой простейших инструментов и сложнейших роботов. Новые качества приобретает человеческое общество в связи с широким внедрением компьютерных сетей. Широкое распространение получил Internet. Современный период характеризуется поиском новых технологий и новых архитектур. Развитие технологии приводит к новым достижениям в быстродействии компьютеров.

Информационные технологии создают информационный фундамент развития всех других технологий.

Развитие вычислительной техники во многом стало определять развитие человеческой цивилизации.

Все более широкое электронное моделирование реального мира на компьютере становится реальностью нашего времени. Чем больше объем памяти вычислительных систем, тем выше их производительность, тем точнее и глубже математические модели реального мира, тем точнее наши знания, тем точнее предсказание необходимых действий и их последствий. Электронное моделирование становится неотъемлемой частью интеллектуальной деятельности человека.

Полупроводниковая электроника подходит к своему последнему пределу, к последней черте, как по допустимой плотности дизайна, так и по тактовой частоте. За этой чертой - будущее, и оно принадлежит новым, пока еще экзотическим технологиям.

15. Развитие технологии и ступени прогресса

"Еще недавно технология рассматривалась как простой набор рецептов и считалась, чем-то вторичным по отношению к культуре и науке. Но сейчас все яснее осознается, что совершенствование технологии лежит в основе развития цивилизации, а радикально новые формы человеческой культуры всегда сопряжены с рождением принципиально новых технологий." (В этом разделе используются материалы статьи В.Ф.Дорфмана "Микроэлектроника: Технологический прогресс", Вычислительная техника и ее применение, 2/1989).

Развитие технологий - важнейший элемент общего развития человечества.

Двадцатый век отличается рождением большого числа новых технологий: биотехнологии молекулярно-генетического уровня, технологии органического синтеза искусственных веществ с заданными свойствами, технологии создания искусственных материалов (пластмассы, синтетика и т.д.), технологии получения искусственных кристаллов и сверхчистых веществ, лазерная, ядерная, космическая, экологического равновесия и создания новых экологических систем, информационные технологии и т.д. Технологическим лидером современности можно считать микроэлектронику, формирующую элементную базу всех современных средств приема, передачи и обработки информации.

Новые качества приобретает человеческое общество в связи с широким внедрением компьютерных сетей. Широкое распространение получил Internet. Современный период характеризуется поиском новых технологий и новых архитектур.

Информационные технологии создают информационный фундамент развития всех других технологий. Развитие вычислительной техники во многом стало определять развитие человеческой цивилизации. Принято делить этапы развития вычислительной техники, связанные с развитием технологической базы на поколения. Процесс развития вычислительной техники можно представить в виде дерева, где технологии - корни, питающие крону все более высоких уровней.

Корни дерева - технологии, чем глубже в структуру материи проникают корни, тем обширнее и выше крона. Проникновение корней в глубь новых технологий начиналось со сбора естественных продуктов питания, далее развивалась примитивная механическая технология, точная механика, технология получения чистых веществ, технология кристаллов, генная технология, нанотехнология и так далее.

Укрупняя деление машин на поколения, можно выделить 3 основные фазы развития Электронных средств обработки информации:

- домикромикроэлектронную, когда каждый компьютер был уникальным;

- промежуточную, когда наметилось множество путей развития вычислительной техники, от многопроцессорных суперкомпьютеров до широко доступных компьютеров;

- современную, когда созданы персональные компьютеры, способные удовлетворить запросы человека как на бытовом, так и на профессиональном уровне, созданы встраиваемые микропроцессорные устройства, управляющие работой простейших инструментов и сложнейших роботов. Развитие технологии приводит к новым достижениям в быстродействии компьютеров.

С годами менялись размеры элементов компьютера и минимальная ширина линий рисунка интегральных схем. Чем меньше размеры элементов, тем выше производительность компьютеров.

Пока технология развивается, в ней нет окончательно решенных проблем, более того, количество проблем растет перед преодолением очередного рубежа. Непрерывно усложняется структура приборов, возрастает количество внутренних связей. В сверхминиатюрных транзисторах плотности тока таковы, что ионы металла выносятся из узлов кристаллической решетки электронным ветром или полем. Плотность выделяемой мощности в отдельных точках кристалла выше, чем на поверхности Солнца. Электронны туннелируют через сверхтонкие слои диэлектрика и захватываются в ловушках, создавая встроенный заряд и совершенно изменяя свойства прибора.

Миниатюризация транзистора уже до уровня $1\text{ мкм} \times 1\text{ мкм} \times 1\text{ мкм}$ позволяет разместить на пластине диаметром 200мм до 30 000 000 000 транзисторов только на одном уровне, если же создать твердотельную интегральную структуру в виде куба емкостью 1литр, то в нем можно разместить тысячу триллионов транзисторов. Такого количества транзисторов хватило бы для создания запоминающего устройства, достаточного по емкости для хранения всей информации, накопленной человечеством. Если же соорудить на такой основе вычислительную систему, содержащую миллиард процессоров, можно получить валовую производительность 10^{18} операций в секунду. Нужно ли стремиться к созданию таких систем? Несомненно!

Каковы же возможности "искусственного интеллекта" по сравнению с природным интеллектом человека.

Мозг человека содержит предположительно около 10^{11} нейронов. Функции каждого нейрона совершеннее функций микропроцессора. Но дело не столько в выполняемых функциях, сколько в сложности организации связей. Каждый нейрон связан непосредственно с 1000 или 10 000 соседних нейронов. Связи обеспечивают универсальность нейронного аппарата, его гибкость, способность к неожиданным решениям и чрезвычайно высокое быстродействие при решении сложных задач.

Возможна ли для кристаллических структур сложность организации мозга?

К ответу на этот вопрос стремится человек, создавая системы искусственного интеллекта, совершенствуя технологию.

Две ветви эволюции ЭВМ развиваются параллельно, традиционная, связанная с обработкой символьной информации и нерасчетная, моделирующая работу мозга.

Одним из первостепеннейших факторов, ограничивающих быстродействие БИС, является энерговыделение. Базовым элементом телекоммуникационных коммутаторов для сетей асинхронного режима передачи является коммутатор цифровых последовательных каналов с двумя входами и двумя выходами. Изготовленный с использованием технологии GaAs (арсенид галлия), такой коммутатор потребляет 10 ватт на частоте 10 гигагерц. Нетрудно подсчитать, что для коммутации, скажем, 1024 каналов с достаточно скромной суммарной пропускной способностью в 1 терабайт в секунду потребуются мощность 500 киловатт. Кроме того, тактовая частота в 10 гигагерц, вероятно, является предельной для современных полупроводниковых технологий.

Ситуация с оптическими устройствами, с одной стороны, более благоприятная, а с другой - еще более удручающая. Благоприятная, поскольку простые оптические компоненты (мультиплексоры, демультиплексоры и т.п.) могут работать на тактовых частотах 40 гигагерц и более. Удручающая - потому что по части энерговыделения даже самые прожорливые полупроводники на базе арсенида галлия не идут ни в какое сравнение с многоцветными лазерами. Нелишне подчеркнуть, что примитивная схемотехника оптических систем все еще оставляет желать лучшего, делая их малопригодными для реализации вычислительных машин общего назначения.

Элегантной и экономичной альтернативой энергонасыщенным оптическим компонентам и полупроводникам является сверхпроводниковая быстрая одноквантовая логика (БОКЛ) - элементная база петафлопного суперкомпьютера XXI века. О привлекательности БОКЛ говорит, например, такой факт: рекордная экспериментально измеренная тактовая частота сверхпроводникового Т-триггера, разработанного в Университете штата Нью-Йорк в США, составляет 750 гигагерц при потребляемой мощности всего в 0,1 микроватта!

Несомненно одно - полупроводниковая электроника подходит к своему последнему пределу, к последней черте, как по допустимой плотности дизайна, так и по тактовой частоте. За этой чертой - будущее, и оно принадлежит новым, пока еще экзотическим технологиям.

Вычислительная техника развивалась от вычислительных машин к средствам автоматизации труда белых воротничков. Повсеместное распространение персональных компьютеров создало предпосылки для их объединения в Сеть. Возникновение и бурное развитие глобальной Сети подвело эволюцию компьютеров к следующему неизбежному этапу - появлению сетевого разума. Вслед за компьютерами-калькуляторами и послушными исполнителями готовых алгоритмов в ближайшем будущем появятся обучающиеся программные агенты. Их объединение в сетевое сообщество взаимодействующих друг с другом (и, конечно, со своими хозяевами) агентов создаст самообучающуюся среду, вполне аналогичную по своей способности к самоорганизации человеческому мозгу. И человеко-машинный симбиоз, каким уже

давно является современное общество, перейдет на новый качественный уровень.

Источники информации

1. В.Ф. Дорфман. "Микроэлектроника: Технологический прогресс", Вычислительная техника и ее применение, 2/1989.

2. Сергей Шумский. Нейросетевые агенты в интернете, Компьютерра N4 от 08.02.2000

16. Вопросы

1. Расскажите о первой механической вычислительной машине, способной автоматически выполнять четыре арифметических действия, кто создал эту машину?

2. Перечислите основные принципы построения программируемой аналитической вычислительной машины и назовите автора этой идеи.

3. Кто создал первый релейный компьютер, воплотивший идеи Бэббиджа, какая система счисления использовалась в компьютере, какие блоки включал в себя компьютер?

4. Кто автор компьютера ABC, какой вариант концепции современного компьютера реализовали авторы, как реализовали авторы запоминающее и арифметическое устройство?

5. На какой элементной базе был выполнен компьютер ENIAC, какие в нем использовались устройства, как задавался порядок вычислений?

6. Перечислите основные черты компьютеров первого поколения.

7. Перечислите основные черты компьютеров второго поколения.

8. Перечислите основные черты компьютеров третьего поколения.

9. Перечислите основные черты компьютеров четвертого поколения.

10. Какие существуют виды персональных компьютеров, как они оснащены, какие требования предъявляются к персональным компьютерам?

11. Поясните понятия «сервер» и «суперсервер».

12. Что представляет собой суперкомпьютер, назовите векторно-конвейерные суперкомпьютеры, расскажите, какие блоки входили в состав суперкомпьютера Cray1, какую производительность имел процессор компьютера Cray1?

13. Расскажите об общих тенденциях развития архитектуры суперкомпьютеров.

14. Определите основные требования к компьютерам пятого поколения.

15. Расскажите о проекте Beowulf.

16. Как обстоят дела с разработкой оптических компьютеров, каковы их достоинства и недостатки, в чем их отличие от оптоэлектронных компьютеров?

17. Что такое нейрокompьютер и на какой основе он может быть реализован?

18. На чем основаны квантовые вычисления и как их можно реализовать? Дайте определение кубиту.

19. Расскажите об особенностях быстрой одноквантовой логики (БОКЛ).

20. Расскажите о гиперкомпьютере, элементной базе и идеях реализации.

21. Назовите 4 принципа Кана создания глобальной сети и основную концепцию Интернета.

22.Что такое кибернетика? Перечислите основные идеи Винера. Что можно считать центральным объектом исследования и что послужило фундаментом науки кибернетики?

23.Как развивалась технологическая база вычислительной техники и как технология влияет на развитие человеческого общества?