

Тема 10. Общие принципы организации памяти ЭВМ и систем

ВВЕДЕНИЕ. ПАМЯТЬ. СИСТЕМЫ ПАМЯТИ СОВРЕМЕННЫХ ЭВМ	1
1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ.....	2
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ	6
2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ НАЗНАЧЕНИЮ.....	7
2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗУ ПО ПРИНЦИПУ ОРГАНИЗАЦИИ	12
1.3. СИСТЕМЫ ПАМЯТИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ К ЛЕКЦИИ 15	23
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПИСИ И ПЕРЕЗАПИСИ ДАННЫХ, УСТРОЙСТВА ПАМЯТИ ПОДРАЗДЕЛЯЕТСЯ НА СЛЕДУЮЩИЕ ТИПЫ:	23
Виды памяти, различаемые по признаку зависимости сохранения записи при снятии электропитания: 23	
Различия видов памяти по виду физического носителя и способа записи данных:	24
По назначению, организации памяти и/или доступа к ней различают следующие виды памяти:	25
Флэш-память, ЭСППЗУ [EEPROM, ELECTRICALLY ERASABLE PROM, FLASH MEMORY]	28

Введение. Память. Системы памяти современных ЭВМ

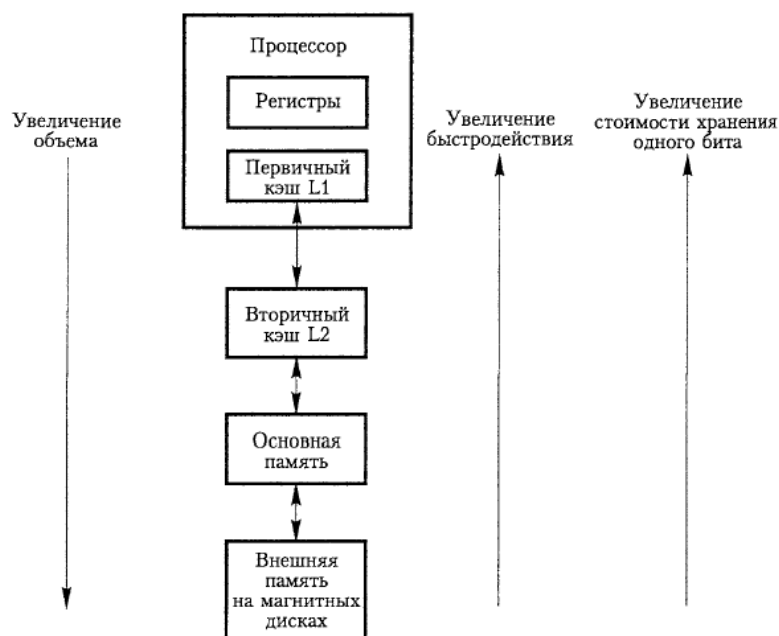
Память, запоминающие устройства (ЗУ) [англ. *memory, storage*] - среда или функциональная часть ЭВМ, предназначенная для приема, хранения и избирательной выдачи данных.

Системы памяти современных ЭВМ представляют собой **совокупность аппаратных средств**, предназначенных для хранения используемой в ЭВМ информации. К этой информации относятся обрабатываемые данные, прикладные программы, системное программное обеспечение и служебная информация различного назначения. **К системе памяти можно отнести и программные средства**, организующие управление ее работой в целом, а также драйверы различных видов запоминающих устройств.

Память представляет собой одну из важнейших подсистем ЭВМ, во многом определяющую их производительность. Тем не менее в течение всей истории развития вычислительных машин она традиционно считается их "*узким местом*".

Ключевым принципом построения памяти ЭВМ является ее иерархическая организация (принцип, сформулированный еще Джоном фон Нейманом), которая предполагает использование в системе памяти компьютера запоминающих устройств (ЗУ) с различными характеристиками. Причем с развитием технологий, появлением новых видов ЗУ и совершенствованием структурной организации ЭВМ **количество уровней в иерархии памяти ЭВМ увеличивается**. Например, сверхоперативные ЗУ больших ЭВМ 50-60-х годов заменяет двухуровневая кэш-память персональных ЭВМ 90-х годов и трехуровневый кэш ПЭВМ и рабочих станций, начиная с 2000-2001гг .

Иерархия памяти и связь основных характеристик



Приведем классификацию ЗУ с точки зрения особенностей их организации и использования.

Далее рассмотрим типовые структуры систем памяти ЭВМ, а также основные параметры и критерии оценки запоминающих устройств и систем.

1. Основные характеристики запоминающих устройств

Запоминающие устройства (ЗУ) характеризуются рядом параметров, определяющих возможные области применения различных типов таких устройств. К основным параметрам, по которым производится наиболее общая оценка ЗУ, относятся их

- **информационная емкость (Е),**
- **время обращения (Т) и**
- **стоимость (С).**

Под **информационной емкостью ЗУ** понимают количество информации, измеряемое в байтах, килобайтах, мегабайтах или гигабайтах, которое может храниться в запоминающем устройстве.

Обычно *информационная емкость учитывает только полезный объем хранимой информации, который не включает объем памяти, расходуемый на*

служебную информацию, контрольные разряды или байты, резервные области (например, интервал между концом дорожки диска и ее началом), дорожки синхросигналов и пр.

Время обращения к ЗУ различных типов определяется по-разному.

В качестве примера можно рассмотреть оперативные ЗУ и жесткие диски.

Оперативные ЗУ обычно реализуются как ЗУ с произвольным. Это означает, что доступ к данным, физически организованным в виде двумерного массива (матрицы элементов памяти), производится с помощью схем дешифрации, выбирающих нужные строку и столбец массива по их номерам (адресам), как показано на рис.1. Поэтому время $T_{обр}$ обращения к ним **определяется**, в случае отсутствия дополнительных этапов (таких, например, как передача адреса за два такта), **временем срабатывания схем дешифрации адреса и собственно временами записи или считывания данных.**

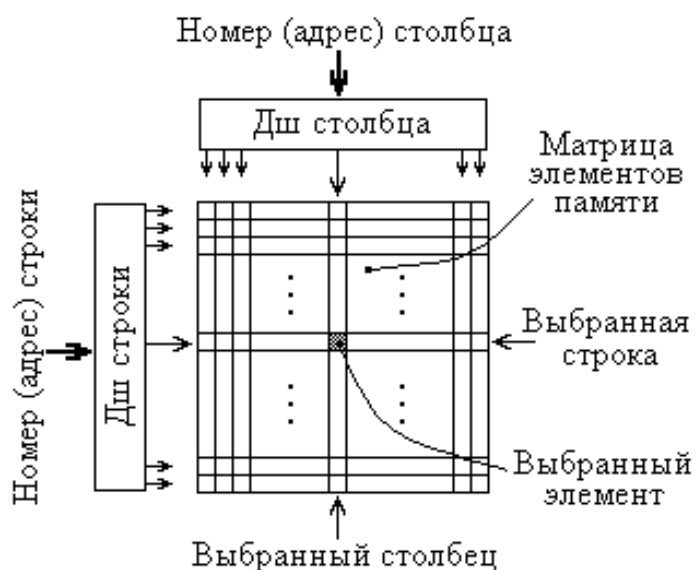


Рис.1. Произвольный доступ к массиву элементов памяти ЗУ

Емкости оперативных ЗУ - порядка 256 Мб – 8 Гб.

Процесс обращения (чтения или записи) к жесткому диску включает в себя 3 этапа:

- (а) перемещение блока головок чтения/записи на нужную дорожку (а),
- (б) ожидание подхода требуемого сектора под головки чтения/записи (б) и
- (в) собственно передача данных, считываемых/записываемых.

Каждый из этих этапов занимает определенное время, входящее в общее время обращения к диску. Все этапы так или иначе связаны с механическими перемещениями, поэтому их времена сравнительно велики и составляют величины порядка единиц миллисекунд.

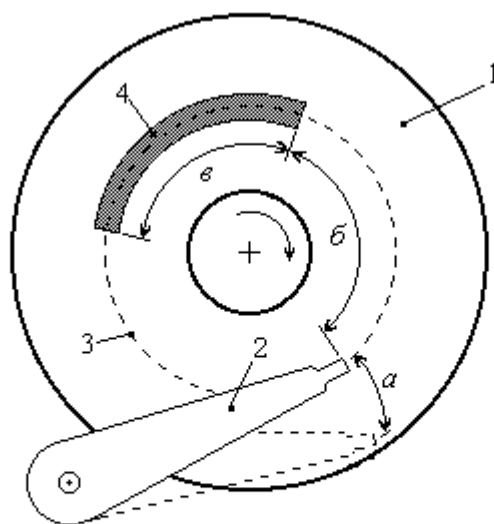


Рис. 2. Обращение к жесткому диску

(1 - пластина диска, 2 - блок головок чт/зп, 3 - дорожка (цилиндр), 4 - файл;
 α - поиск дорожки (перемещение блока головок чт/зп, β - ожидание подхода
 файла под блок головок, γ - передача данных)

Время перемещения блока головок, обычно называемое изготовителями дисков временем поиска (*seek time*), зависит от количества дорожек, на которое надо переместить блок головок. Минимальное время затрачивается на перемещение блока головок на соседнюю дорожку (цилиндр) - составляет порядка 1-2 мс. Максимальное время требуется на перемещение блока головок от крайней дорожки к центральной или наоборот - может составлять порядка 15-20 мс. Среднее время поиска (перемещения головок) составляет порядка 8-10 мс.

Время ожидания подвода файла (точнее, его первого сектора) под блок головок производители называют также временем задержки (*latency time*). Это время в среднем равно времени половины оборота диска, что, например, при скорости вращения (шпинделя) диска 7200 оборотов/мин, или 120 оборотов/с, составляет 4,2 мс.

Наконец, время передачи данных зависит от количества передаваемых данных (размера файла, если он располагается целиком на последовательных секторах одной дорожки диска) и скорости передачи. Из-за зависимости этого времени от размера файла и его размещения на диске в качестве характеристики диска используют скорость передачи данных (*transfer rate*). Эта скорость определяется как параметрами тракта связи с ЭВМ, так и скоростью считывания данных с диска или записи данных на диск. Обычно пользуются именно этими параметрами, так как каналы передачи достаточно быстрые, чтобы снижать скорость передачи, а диски имеют буферные ЗУ (кэш диска), скорость обмена данными с которым заметно превышает скорость считывания с диска или записи на диск.

В свою очередь, скорость обмена с диском определяется скоростью его вращения и плотностью записи информации на него. Обе эти величины непрерывно возрастают с развитием технологий изготовления жестких дисков.

Плотность записи информации на диск удваивалась примерно каждый год – полтора.

Стоимость запоминающих устройств также представляет собой важную характеристику. Именно она является одной из причин иерархической организации памяти ЭВМ.

Действительно, хорошо иметь быструю и емкую память. Нужно, чтобы она была и относительно дешевой. Понятно, что эти параметры противоречивы. Поэтому в ЭВМ и строят иерархию памяти.

Определения дорогие и дешевые понимаются не в абсолютном, а в относительном измерении, исходя из стоимости хранения единицы информации (удельной стоимости) в ЗУ. Стоимость хранения 1 Мбайта информации в оперативных ЗУ и на жестких дисках различаются примерно в 100 раз.

Конечно, помимо емкости, времени обращения и стоимости, существуют и другие характеристики памяти такие, как

- **надежность,**
- **энергопотребление,**
- **габариты,**
- **время хранения информации,**
- **способность сохранять ее при отключении питания** и другие.

При определенных условиях эти характеристики могут иметь важное значение. Например, для ноутбуков энергопотребление и габариты играют существенную роль, что при обеспечении требуемых значений этих показателей приводит к более высокой стоимости устройств такого класса. Напротив, для серверов на первый план выдвигается требование надежности сохранения информации.

2. Классификация запоминающих устройств

Существует большое количество различных типов ЗУ, используемых в ЭВМ и системах. Эти устройства различаются рядом признаков:

- принципом действия,
- логической организацией,
- конструктивной и
- технологической реализацией,
- функциональным назначением и т.д.

Большое количество существующих типов ЗУ обуславливает различия в структурной и логической организации (систем) памяти ЭВМ. **Требуемые характеристики памяти достигаются не только за счет применения ЗУ с соответствующими характеристиками, но в значительной степени за счет особенностей ее структуры и алгоритмов функционирования.**

Память ЭВМ почти всегда является "узким местом", ограничивающим производительность компьютера. Поэтому в ее организации используется ряд приемов, улучшающих временные характеристики памяти и, следовательно, повышающих производительность ЭВМ в целом.

Классификация запоминающих устройств и систем памяти позволяет выделить общие и характерные особенности их организации, систематизировать базовые принципы и методы, положенные в основу их реализации и использования.

Один из возможных вариантов классификации ЗУ представлен на рис.3. В нем устройства памяти подразделяются по двум основным критериям: по **функциональному назначению** (роли или месту в иерархии памяти) и **принципу организации**.

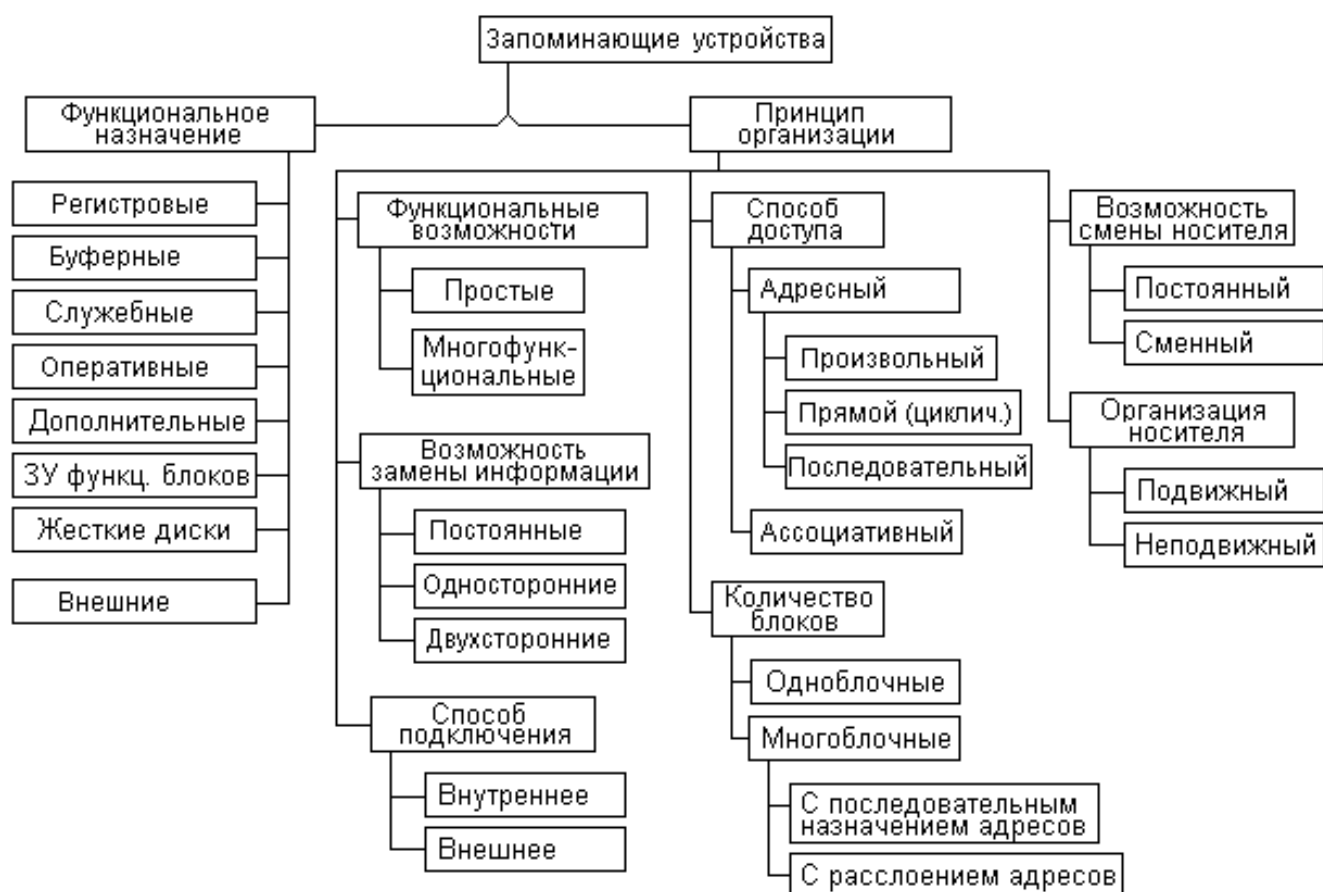


Рис.3. Классификация запоминающих устройств

2.1. Классификация ЗУ по функциональному назначению

При разделении ЗУ по функциональному назначению иногда рассматривают два класса: **внутренние и внешние ЗУ ЭВМ**. Такое деление первоначально основывалось на различном конструктивном расположении их в ЭВМ. В настоящее время, например, накопители на жестких магнитных дисках, традиционно относимые к внешним ЗУ, конструктивно располагаются непосредственно в основном блоке компьютера. Поэтому разделение на внешние и внутренние ЗУ имеет в ряде случаев *относительный, условный характер*. Обычно к **внутренним ЗУ** относят устройства, непосредственно доступные процессору, а к **внешним** – такие, обмен информацией которых с процессором происходит через внутренние ЗУ.

Общий вид иерархии памяти ЭВМ представлен на рис.4. На нем показаны различные типы ЗУ, причем поскольку рисунок обобщенный, то не все из представленных на нем ЗУ обязательно входят в состав ЭВМ, а характер связей между устройствами может отличаться от показанного на рисунке.

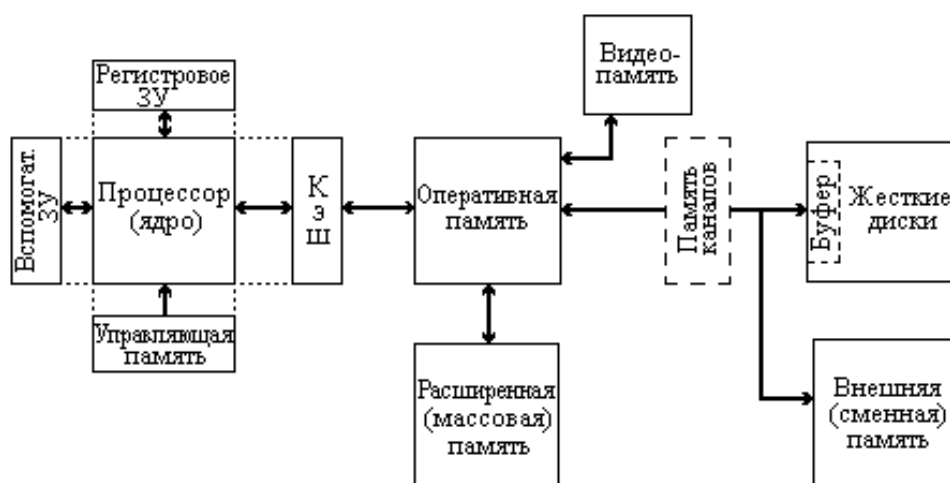


Рис. 4. Возможный состав системы памяти ЭВМ

1. Верхнее место в иерархии памяти занимают **регистровые ЗУ**, которые входят в состав процессора и часто рассматриваются не как самостоятельный блок ЗУ, а просто как набор регистров процессора. Такие **ЗУ в большинстве случаев реализованы на том же кристалле, что и процессор**, и предназначены для хранения небольшого количества информации (до нескольких десятков слов, а в RISC-архитектурах – до сотни), которая обрабатывается в текущий момент времени или часто используется процессором. Это позволяет сократить время выполнения программы за счет использования команд типа регистр-регистр и уменьшить частоту обменов информацией с более медленными ЗУ ЭВМ. Обращение к этим ЗУ производится непосредственно по командам процессора.

Регистровая – 64-256 слов, 1 такт
 Кэш 1-го уровня – 8 Кслов, 1-2 такта
 Кэш 2-го уровня – 256 Кслов, 3-5 тактов
 Кэш 3-го уровня – 1 Мслов, 6-11 тактов
 Основная память – 4 Гслов, 12-55 тактов
 Внешняя память – кТслов, от 10^6 слов

2. Следующую позицию в иерархии занимают **буферные ЗУ**. Их назначение состоит в сокращении времени передачи информации между процессором и более медленными уровнями памяти компьютера. Буферная память может устанавливаться на различных уровнях, но здесь речь идет именно об указанном ее местоположении. Ранее такие буферные ЗУ в отечественной литературе называли **сверхоперативными (СОЗУ)**, сейчас это название практически полностью вытеснил термин "кэш-память" или просто **кэш**.

Принцип использования буферной памяти во всех случаях сводится к одному и тому же. Буфер представляет собой более быстрое (а значит, и более дорогое), но менее емкое ЗУ, чем то, для ускорения работы которого он предназначен. При этом в буфере размещается только та часть информации из более медленного ЗУ, которая используется в настоящий момент. Если доля ***h*** обращений к памяти со стороны процессора, удовлетворяемых непосредственно буфером (кэшем) высока (0,9 и более), то среднее время для всех обращений оказывается близким ко времени обращения к кэшу, а не к более медленному ЗУ.

Пусть двухуровневая память состоит из кэш и оперативной памяти, как показано на рис.5. И пусть, например, время обращения к кэшу $t_c = 1$ нс (10^{-9} с), время t_m обращения к более медленной памяти в десять раз больше – $t_m = 10$ нс, а доля обращений, удовлетворяемых кэшем, $h = 0,95$.

Тогда среднее время обращения к такой двухуровневой памяти T_{cp} составит

$$T_{cp} = 1 * 0.95 + 10 * (1 - 0.95) = 1.45 \text{ нс},$$

т.е. всего на 45% больше времени обращения к кэшу. Значение h зависит от размера кэша и характера выполняемых программ и иногда называется отношением успехов или попаданий (*hit ratio*).

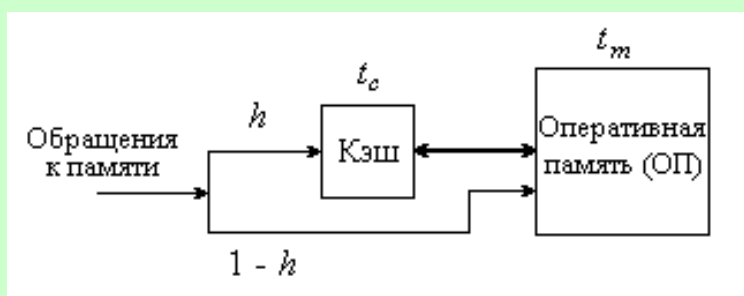


Рис.5. К расчету среднего времени обращения (t_c – время обращения к кэш-памяти, t_m – время обращения к ОП, h – доля обращения, обслуживаемых кэш-памятью, $1 - h$ – доля обращений, обслуживаемых ОП)

Размеры кэш-памяти существенно изменяются с развитием технологий. Так, если в первых ЭВМ, где была установлена кэш-память, во второй половине 1960-х годов (большие ЭВМ семейства IBM-360) ее емкость составляла всего от 8 до 16 КБайт, то уже во второй половине 1990-х годов емкость кэша рядовых персональных ЭВМ составляла 512 КБайт. Причем сама кэш-память может состоять из двух (а в серверных системах – даже трех- Itanium) уровней: первого (L1) и второго (L2), также отличающихся своей емкостью и временем обращения.

[КЭШ подробно](#)

Конструктивно кэш уровня L1 входит в состав процессора (поэтому его иногда называют внутренним). Кэш уровня L2 либо также входит в микросхему процессора, либо может быть реализован в виде отдельной памяти. Как правило, на параметры быстродействия процессора большее влияние оказывают характеристики кэш-памяти первого уровня.

Время обращения к кэш-памяти, которая обычно работает на частоте процессора, составляет от десятых долей до единиц наносекунд, т.е. не превышает длительности одного цикла процессора.

Обмен информацией между кэш-памятью и более медленными ЗУ для улучшения временных характеристик выполняется блоками, а не байтами или словами. Управляют этим обменом аппаратные средства процессора и операционная система, и вмешательство прикладной программы не требуется. Причем непосредственно командам процессора кэш-память недоступна, т.е. программа не может явно указать чтение или запись в кэш-памяти, которая является для нее, как иногда говорят, “прозрачной” (прямой перевод используемого в англоязычной литературе слова *transparent*).

3. Еще одним (внутренним) уровнем памяти являются **служебные ЗУ**. Они могут иметь различное назначение.

Одним из примеров таких устройств являются ЗУ микропрограмм, которые иногда называют управляющей памятью. Другим – вспомогательные ЗУ, используемые для управления многоуровневой памятью.

В управляющей памяти, использующейся в ЭВМ с микропрограммным управлением, хранятся микропрограммы выполнения команд процессора, а также различных служебных операций.

Вспомогательные ЗУ для управления памятью (например, теговая память, используемая для управления кэш-памятью, буфер переадресации *TLB – translation location buffer*) представляют собой различные таблицы, используемые для быстрого поиска информации в разных ступенях памяти, отображения ее свойств, очередности перемещения между ступенями и пр.

Емкости и времена обращения к таким ЗУ зависят от их назначения. Обычно – это небольшие (до нескольких Кбайт), но быстродействующие ЗУ. **Специфика назначения предполагает недоступность их командам процессора.**

4. Следующим уровнем иерархии памяти является **оперативная память**. Оперативное ЗУ (ОЗУ) является основным запоминающим устройством ЭВМ, в котором хранятся выполняемые в настоящий момент процессором программы и обрабатываемые данные, резидентные программы, модули операционной системы и т.п. Название оперативной памяти также несколько изменялось во времени. В некоторых семействах ЭВМ ее называли основной памятью, основной оперативной памятью и пр. В англоязычной литературе также используется термин *RAM (random access memory)*, означающий память с произвольным доступом.

Эта память используется в качестве основного запоминающего устройства ЭВМ для хранения программ, выполняемых или готовых к выполнению в текущий момент времени, и относящихся к ним данных. В оперативной памяти располагаются и компоненты операционной системы, необходимые для ее нормальной работы. **Информация, находящаяся в ОЗУ, непосредственно доступна командам процессора, при условии соблюдения требований защиты.**

Оперативная память реализуется на полупроводниках (интегральных схемах), стандартные объемы ее составляют (в начале 2000-х годов) сотни мегабайт – единицы гигабайт, а времена обращения – единицы-десятки наносекунд.

5. Еще одним уровнем иерархии ЗУ может являться **дополнительная память**, которую иногда называли расширенной или массовой. Первоначально (1970-е годы) эта ступень использовалась для наращивания емкости оперативной памяти до величины, соответствующей адресному пространству (например, 24-битного адреса) команд, с помощью подключения более дешевого и емкого, чем ОЗУ, запоминающего устройства.

Это могла быть ферритовая память или даже память на магнитных дисках. Конечно, она была более медленной, а хранимая в ней информация сперва передавалась в оперативную память и только оттуда попадала в процессор. При записи путь был обратный.

Затем, в ранних моделях ПЭВМ, дополнительная память также использовалась для наращивания емкости ОЗУ и представляла собой отдельную плату с микросхемами памяти. А еще позже термин дополнительная память (*extended* или *expanded memory*) стал обозначать область оперативного ЗУ с адресами выше одного мегабайта. Конечно, этот термин применим только к IBM PC совместимым ПЭВМ.

6. В состав памяти ЭВМ входят также ЗУ, **принадлежащие отдельным функциональным блокам** компьютера. Формально эти устройства непосредственно не обслуживают основные потоки данных и команд, проходящие через процессор. Их назначение обычно сводится к буферизации данных, извлекаемых из каких-либо устройств и поступающих в них.

Типичным примером такой памяти является **видеопамять** графического адаптера, которая используется в качестве буферной памяти для снижения нагрузки на основную память и системную шину процессора.

Другими примерами таких устройств могут служить **буферная память** контроллеров жестких дисков, а также память, использовавшаяся в каналах (процессорах) ввода-вывода для организации одновременной работы нескольких внешних устройств.

Емкости и быстродействие этих видов памяти зависят от конкретного функционального назначения обслуживаемых ими устройств. Для видеопамяти, например, объем может достигать величин, сравнимых с оперативными ЗУ, а быстродействие – даже превосходить быстродействие последних.

7. Следующей ступенью памяти, ставшей фактически стандартом для любых ЭВМ, являются **жесткие диски**. В этих ЗУ хранится практически вся информация, которая используется более или менее активно, начиная от операционной системы и основных прикладных программ и кончая редко используемыми пакетами и справочными данными.

Емкость этой ступени памяти, которая может включать в свой состав до десятков дисков, обеспечивая хранение очень большого количества данных, зависит от области применения ЭВМ. Типовая емкость жесткого диска, составляющая на начало 2000-х годов десятки гигабайт, **удваивается примерно каждые полтора года**.

Со временем обращения дело обстоит несколько иначе: компоненты этого времени, обусловленные перемещением блока головок чтения-записи уменьшаются сравнительно медленно (примерно **вдвое за 10 лет**). Компонента, обусловленная временем подвода сектора и зависящая от скорости вращения шпинделя диска, также уменьшается с ростом этой скорости примерно такими же темпами. А скорость передачи данных растет значительно быстрее, что связано с увеличением плотности записи информации на диски.

8. Все остальные запоминающие устройства можно объединить с точки зрения функционального назначения в одну общую группу, охарактеризовав ее как группу **внешних ЗУ**. Под словом “внешние” следует подразумевать то, что информация, хранимая в этих ЗУ, в общем случае расположена на носителях не являющихся частью собственно ЭВМ. Под это определение подпадают гибкие диски, компакт диски, накопители на сменных магнитных дисках и магнитооптические диски, твердотельные (флэш) диски и флэш-карты, стримеры, внешние винчестеры и др. Естественно, что

параметры этих устройств достаточно различны. Функциональное назначение их обычно сводится либо к архивному хранению информации, либо к переносу ее от одного компьютера к другому.

Некоторые сомнения в принадлежности к данной категории могут вызвать сменные диски, устанавливаемые в салазки (*rack*). Такие диски, действительно, лучше отнести к предыдущей (седьмой) группе.

2.2. Классификация ЗУ по принципу организации

Особенности организации ЗУ определяются, в первую очередь, используемыми технологиями, логикой их функционирования, а также некоторыми другими факторами. Эти особенности и соответствующие разновидности ЗУ перечисляются ниже.

1. По **функциональным возможностям** ЗУ можно разделять:

- *на простые, допускающие только хранение информации;*
- *многофункциональные, которые позволяют не только хранить, но и перерабатывать хранимую информацию без участия процессора непосредственно в самих ЗУ*

Подход, используемый во второй группе ЗУ, в принципе, позволяет создать производительные системы с параллельной обработкой данных. В частности, похожие подходы используются в различных частях видеотракта компьютера.

2. По **возможности изменения информации** различают ЗУ:

- *постоянные (или с однократной записью);*
- *односторонние (с перезаписью или перепрограммируемые);*
- *двусторонние.*

В *постоянных* ЗУ (ПЗУ) информация заносится либо при изготовлении, либо посредством записи (или, как иначе называют эту процедуру, программирования или прожига), которая может быть выполнена только однократно. В ходе такой записи изменяется сам носитель информации, например, пережигаются проводники в микросхемах ПЗУ или формируются лунки в отражающем слое CD-ROM.

Односторонними называют ЗУ, которые имеют существенно различные времена записи и считывания информации. Наиболее распространенными типами таких ЗУ являются перепрограммируемые постоянные ЗУ или компакт-диски с перезаписью – CD-RW. Время записи в устройствах этих типов значительно превышает время считывания информации.

К односторонним ЗУ можно отнести и ЗУ на приборах с зарядовой связью (ПЗС), в которых время записи (формирования изображения), вообще говоря, заметно меньше времени считывания (передачи изображения).

Двусторонние ЗУ имеют близкие значения времен чтения и записи. Типичными представителями таких ЗУ являются оперативные ЗУ и ЗУ на жестких дисках.

3. По **способу доступа** различают ЗУ:

- с **адресным доступом**;
- с **ассоциативным доступом**.

При **адресном доступе** для записи или чтения место расположения информации в ЗУ определяется ее адресом. Логически адрес может иметь различную структуру. Например, в оперативных ЗУ адрес представляет собой двоичный код, одна часть разрядов которого указывают строку матрицы элементов памяти, а другая – столбец этой матрицы. На пересечении заданных строки и столбца находится искомая информация (см. рис.1). В ЗУ на магнитных дисках адрес может представлять собой либо комбинацию номеров цилиндра, головки и сектора (так называемая CHS-геометрия), либо логический номер сектора (LBA-адресация). Возможны и иные варианты.

В любом случае, заданный адрес обрабатывается схемами доступа ЗУ (дешифратором, блоком позиционирования головок и т.п.) таким образом, что в операции участвует соответствующая адресу область матрицы элементов памяти, запоминающей среды или носителя информации.

При этом, в зависимости от того, как именно срабатывает механизм доступа, различают следующие виды адресного доступа:

- произвольный;
- прямой (циклический);
- последовательный.

Термин “память с произвольным доступом” (*random access memory – RAM*) применяют к ЗУ, в которых выбор места хранения информации производится непосредственным подключением входов и выходов элементов памяти (через буферы, усилители и логические элементы) к входным и выходным шинам ЗУ. Это наиболее быстрый вид адресного доступа, применяемый в оперативных ЗУ и кэш-памяти.

При прямом (циклическом) доступе непосредственной коммутации связей оказывается недостаточно. В таких ЗУ обычно происходит еще и перемещение данных относительно механизма чтения/записи, механизма чтения/записи относительно данных или и то и другое. Физически это может быть как механическое перемещение, например, в жестких дисках, перемещение областей намагниченности, как в ЗУ на магнитных доменах, перенос зарядов и др.

С логической точки зрения такие ЗУ можно сопоставить набору сдвигающих регистров, информация в которых сдвигается циклически и может вводиться в регистр или выводиться из него только в одном из разрядов. Термины “циклический” и “прямой” доступ близки по содержанию, хотя “прямой доступ” – имеет более широкий смысл.

Последовательный доступ характерен для ЗУ, использующих в качестве носителя информации (запоминающей среды) магнитную ленту, например, для стримеров. В таких ЗУ для доступа к блоку данных необходимо переместить носитель так, чтобы участок, на котором располагается требуемый блок данных, оказался под блоком головок чтения/записи.

Кроме того, при всех формах адресного доступа адресуемым элементом может быть не только байт или слово (как в оперативной памяти и кэш-памяти), но целый блок данных. Это обычно связано либо с конструктивными особенностями ЗУ, либо с большим временем доступа.

При **ассоциативном доступе** место хранения информации при чтении и записи определяется не адресом, а значением некоторого ключа поиска. Каждое записанное и хранимое в ассоциативной памяти слово имеет поле ключа. Значение этого ключа сравнивается со значением ключа поиска при чтении данных из памяти. В случае совпадения сравниваемых значений информация считывается из памяти.

Ассоциативная память эффективна для решения задач, связанных с поиском данных. Однако ее использование ограничено в силу сравнительно высокой ее сложности.

Действительно, с аппаратной точки зрения сам поиск может быть организован по-разному: последовательно по разрядам ключевых полей или параллельно по всем ключам во всем массиве памяти. Второй способ, конечно, более быстрый, но требует соответствующей организации (ключевой части) памяти, которая должна иметь для этого в ключевой части каждого хранимого слова схемы сравнения. Именно поэтому такая память существенно более дорогая, чем оперативная, и используется в основном для решения задач, требующих быстрого поиска в небольших объемах информации.

Одним из частых применений ассоциативной памяти является быстрое преобразование логических (линейных) адресов данных в физические (т.е. адреса ячеек памяти), выполняемое, например, так называемым буфером трансляции адресов. Другой близкой задачей является определение того, имеется ли требуемая информация в верхних уровнях ЗУ или необходима ее подкачка из более медленных ЗУ.

4. По организации носителя различают ЗУ:

- с неподвижным носителем;
- с подвижным носителем.

В первых из них носитель механически неподвижен в процессе чтения и записи информации, что имеет место, например, в оперативных и кэш ЗУ, твердотельных дисках, ЗУ с переносом зарядов и др.

Для ЗУ второй группы чтение и запись информации сопровождаются механическим перемещением носителя, что обычно имеет место в различных ЗУ с магнитной записью, например в жестких и гибких дисках.

Однако, возможны и иные варианты. Например, фирмой IBM разрабатывается ЗУ с механическим перемещением записывающих и считывающих элементов (микроигл) и неподвижным носителем информации (пластиковой пленкой).

5. По возможности смены носителя ЗУ могут быть:

- с постоянным носителем;
- со сменным носителем.

В ЗУ первого вида носитель является частью самого устройства и не может быть извлечен из него в процессе нормального функционирования (оперативные ЗУ, жесткие диски).

В ЗУ второй группы носитель не является собственной частью устройства и может устанавливаться в ЗУ и извлекаться из него в процессе работы (гибкие диски, CD-ROM-дисководы, карты памяти, магнито-оптические диски).

6. По способу подключения к системе ЗУ делятся:

- *на внутренние (стационарные);*
- *внешние (съёмные).*

В первом случае ЗУ, как правило, является обязательным компонентом вычислительной системы, устанавливается в корпусе системы (например, оперативная память) или интегрируется с другими ее компонентами (например, кэш-память).

Во втором случае устройство подключается к системе дополнительно и представляет собой отдельный блок. Подключение (и отключение) таких ЗУ, в зависимости от особенности их реализации, может производиться как при выключенной системе – так называемое “холодное подключение”, так и в работающей системе – “горячее подключение”.

Последний вариант в серверных системах предусматривают и для стационарных ЗУ (жестких дисков).

7. По количеству блоков, образующих модуль или ступень памяти, можно различать:

- *одноблочные ЗУ;*
- *многоблочные ЗУ.*

Такое разделение может представлять интерес в том случае, когда в многоблочное ЗУ входят блоки (или банки памяти), допускающие возможность параллельной работы. В этом случае за счет одновременной работы блоков можно повысить общую производительность модуля (ступени) ЗУ, иначе называемую его пропускной способностью и измеряемую количеством информации, которое модуль может записать или считать в единицу времени.

Но возможность одновременной работы блоков еще не означает, что они именно так и будут работать. Чтобы это произошло, необходимо обращения системы к памяти более или менее равномерно распределять по различным блокам. Достичь этого можно различными способами, например запустить параллельные задачи или процессы (*threads*), работающие с разными блоками, либо разместить информацию, относящуюся к одному процессу, в разных блоках.

Однако, поскольку параллельные процессы в действительности выполняются параллельно только в многопроцессорных системах (в крайнем случае, в гиперпоточных, многоядерных архитектурах), то часто используют второй путь, прибегая к так называемому чередованию (*interleave*) адресов между блоками. Т.е. последовательные адреса или группы адресов адресного пространства назначают в различные блоки памяти так, как это показано на рис. 6,б. На этом рисунке показана

память, состоящая из двух блоков, но на практике известны системы, допускающие расслоение по шестнадцати блокам.

Ясно, что в случае такого назначения адресов при выполнении какой-либо программы обращения к памяти будут распределяться по блокам достаточно равномерно. А при обмене блоком данных с другой ступенью памяти обращения по последовательным адресам тем более будут попадать в различные блоки памяти.

Рассматривая расслоение адресов, можно отметить его аналогию с некоторыми режимами работы RAID-контроллеров.

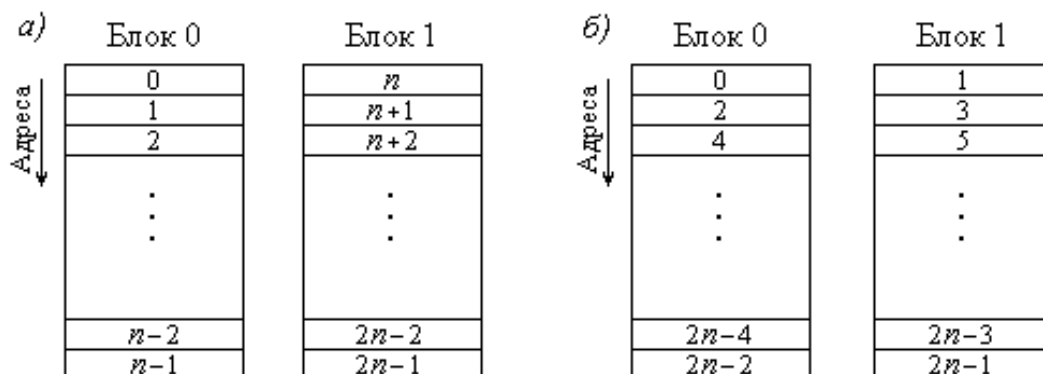


Рис. 6. Распределение адресов адресного пространства памяти по блокам (а – последовательное, б – с расслоением по блокам)

Конечно, за пределами приведенной классификации остались такие довольно представительные признаки, как

- физические принципы реализации,
- уровень потребляемой мощности,
- радиационная устойчивость и некоторые другие, которые в определенных случаях могут иметь немаловажное значение.

1.3. Системы памяти: классификация, критерии оценки

Для систем памяти (СП) характерна иерархическая организация, позволяющая достичь приемлемого компромисса между основными характеристиками запоминающих устройств. При этом различие требований к информационным потокам при решении разных классов задач обуславливает и различия в организации памяти ЭВМ, ориентированных на те или иные классы задач.

Особенности построения систем памяти могут затрагивать их структуру, принципы функционирования, логического взаимодействия и другие аспекты. К основным классификационным признакам систем памяти можно отнести следующие.

1. **Количество уровней**, т.е. отличных по своему назначению или конструктивным характеристикам запоминающих устройств. По этому признаку можно разделять СП на *одноуровневые* и *многоуровневые*. На практике одноуровневые системы памяти, представляющие собой одно или группу одинаковых ЗУ, встречаются лишь в специализированных системах.

Среди многоуровневых СП иногда выделяют системы с одним или несколькими *исполнительными* уровнями, т.е. уровнями, непосредственно доступными процессору. Широко известным примером такой системы является память ПЭВМ, в которой процессор имеет непосредственный доступ как к кэш памяти, так и к оперативной памяти.

2. Характер связей между уровнями. Связи между уровнями системы памяти, допускающие обмен информацией между ними, определяют допустимые потоки данных в системе и ее структуру.

По характеру связей можно выделить:

- ✓ **централизованные СП**, в которых обмен информацией между ЗУ различных уровней осуществляется через какое-либо одно ЗУ, обычно через оперативную память;
- ✓ **линейные СП**, в которых обмен информацией возможен только между смежными уровнями системы (например, кэш – оперативная память – жесткие диски);
- ✓ **смешанные СП**, обладающие связями, характерными как для централизованных, так и для линейных СП (например, кэш – оперативная память – жесткий диск и CD ROM, имеющие одинаковые связи с оперативной памятью);
- ✓ **СП со структурой полного графа**, включающие в себя устройства, позволяющие устанавливать связи для обмена информацией между двумя любыми уровнями. Эти системы могут различаться по способу реализации таких связей на
 - **магистральные**, в которых одна или большее количество шин разделяются во времени между всеми подключенными к ним устройствами,
 - **матричные**, имеющие коммутационную матрицу.

3. Тип разбиения адресного пространства памяти. Обычно память разделяется на логические блоки для упрощения управления, причем поддержка такого разбиения обеспечивается не только со стороны операционной системы, но и аппаратной частью. По этому признаку различают системы памяти :

- ✓ **без разделения** поля памяти на блоки;
- ✓ **со страничной памятью**, адресное пространство которых разделено на участки одинакового размера, называемые страницами;
- ✓ **с сегментированием памяти**, в которых память разделяется на сегменты, размер которых жестко не задается;
- ✓ **с двухуровневым** (странично-сегментным) *разделением* поля памяти.

4. Количество обслуживаемых системой памяти процессоров – признак, по которому различают СП:

- ✓ **однопроцессорных** и
- ✓ **многопроцессорных ЭВМ** и систем.

В случаях, когда мультипроцессирование не является просто средством повышения надежности за счет дублирования вычислений, СП, по сути, является центром связи системы в единое целое. В таких условиях СП должна обеспечивать

многоканальный доступ к информации с поддержкой целостности и непротиворечивости (когерентности) данных на всех уровнях системы.

5. **Порядок обслуживания обращений к ЗУ нижних уровней** также может использоваться для подразделения СП. По этому признаку можно различать системы с обслуживанием обращений

- ✓ в порядке поступления и
- ✓ с диспетчеризацией обращений, т.е. обслуживанием их в том порядке, который позволит уменьшить среднее время ожидания обслуживания обращения.

К этой категории можно отнести и назначение адресов в дисковом массиве, которое может быть

- ✓ последовательным или
- ✓ с расслоением адресов по дисководам.

При выборе структуры, состава и характеристик систем памяти следует учитывать, что противоречивость предъявляемых к ним требований и большое количество факторов, влияющих на их характеристики, обуславливают сложность получения достаточно объективных и точных комплексных оценок СП.

Например, рис. 7 дает представление о факторах, влияющих на работоспособность ЗУ, разделенных в соответствии на группы, которые определяют информационную и конструктивную надежность и эффективность. При объединении отдельных ЗУ в систему к этим факторам добавляется еще целый ряд, связанный со взаимодействием ЗУ между собой в составе системы памяти.

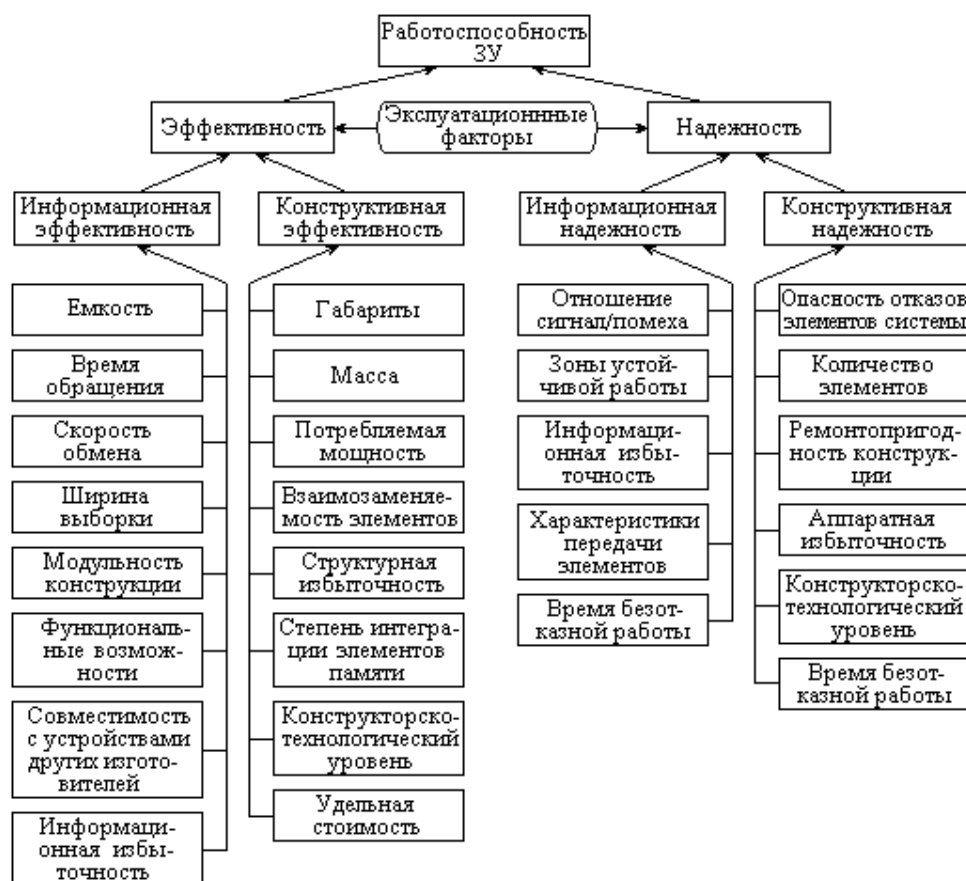


Рис. 7. Факторы, определяющие работоспособность ЗУ

Поэтому с целью более полного учета характера функционирования и окружения СП при выборе критерия ее оценки следует рассматривать эту систему как компоненту вычислительной машины (системы), ориентируясь на назначение последней.

Любой критерий оценки должен включать основные характеристики оцениваемой системы, к которым относятся:

- ✓ **емкость системы памяти,**
- ✓ **среднее время обращения к ней,**
- ✓ **пропускная способность,**
- ✓ **стоимость и**
- ✓ **надежность.**

Ряд характеристик, например радиационная устойчивость, габариты, масса, энергопотребление, в типовых применениях могут не учитываться. Хотя, если речь идет, например о мобильных системах, последние три из названных характеристик имеют важное значение.

Емкость $E_{СП}$ системы памяти можно рассматривать в двух аспектах: либо как сумму объемов всех ЗУ, входящих в состав СП, либо как количество информации (программ и данных), которое можно разместить в системе. В первом случае можно говорить о **технической емкости** СП, во втором – об **эффективной емкости**. Понятно, что эффективная емкость всегда меньше технической, так как она определяется не только собственно составом СП, но и методами организации хранения данных, методами управления памятью и др. Например, можно вспомнить о файловых

системах, которые накладывают ограничения снизу на место на диске, занимаемое даже самым небольшим файлом.

Среднее время обращения $T_{обр}$ к СП можно определить через частоты обращений к отдельным устройствам системы и времена обращений $t_{обp i}$ к этим устройствам как

$$T_{обр} = \sum_i f_i t_{обp i} / \sum_i f_i,$$

где f_i есть среднее количество обращений к i -му ЗУ в единицу времени. Очевидно, что в этом случае $T_{обр}$ в значительной степени зависит от относительных частот обращения к различным ЗУ, а не только от времени обращения к ним.

Средней пропускной способностью B системы памяти называют количество информации, которое можно передать в СП или извлечь из нее в единицу времени. В общем виде B можно определить, усреднив (взвешенно) пропускные способности отдельных ЗУ, входящих в состав СП.

Стоимость $C_{сп}$ системы памяти определяется как сумма стоимостей всех входящих в ее состав ЗУ, контроллеров и дополнительных аппаратных средств, используемых для управления памятью. Строго говоря, некоторые средства управления памятью, как и сами ЗУ, могут быть интегрированы в процессор или в системные микросхемы (микросхемы чипсета или др.). В этом случае собственно стоимость ЗУ и средств управления ими приходится определять путем сравнения с аналогичными микросхемами, обладающими другими параметрами, или приближенно.

Надежность СП определяется надежностью составляющих ее блоков.

Все характеристики систем памяти взаимосвязаны между собой и имеют **противоречивый характер**. Например, **уменьшение времени обращения** к СП связано с использованием **более быстродействующих**, а следовательно, и **дорогостоящих ЗУ**. **Увеличения пропускной способности** дисковых ЗУ можно достичь, используя аппаратные или алгоритмические методы диспетчеризации, что приводит либо к **росту стоимости и снижению надежности СП**, либо к **увеличению расходов времени на работу операционной системы**.

Граф взаимосвязи характеристик СП и определяющих их факторов приведен на рис. 8.

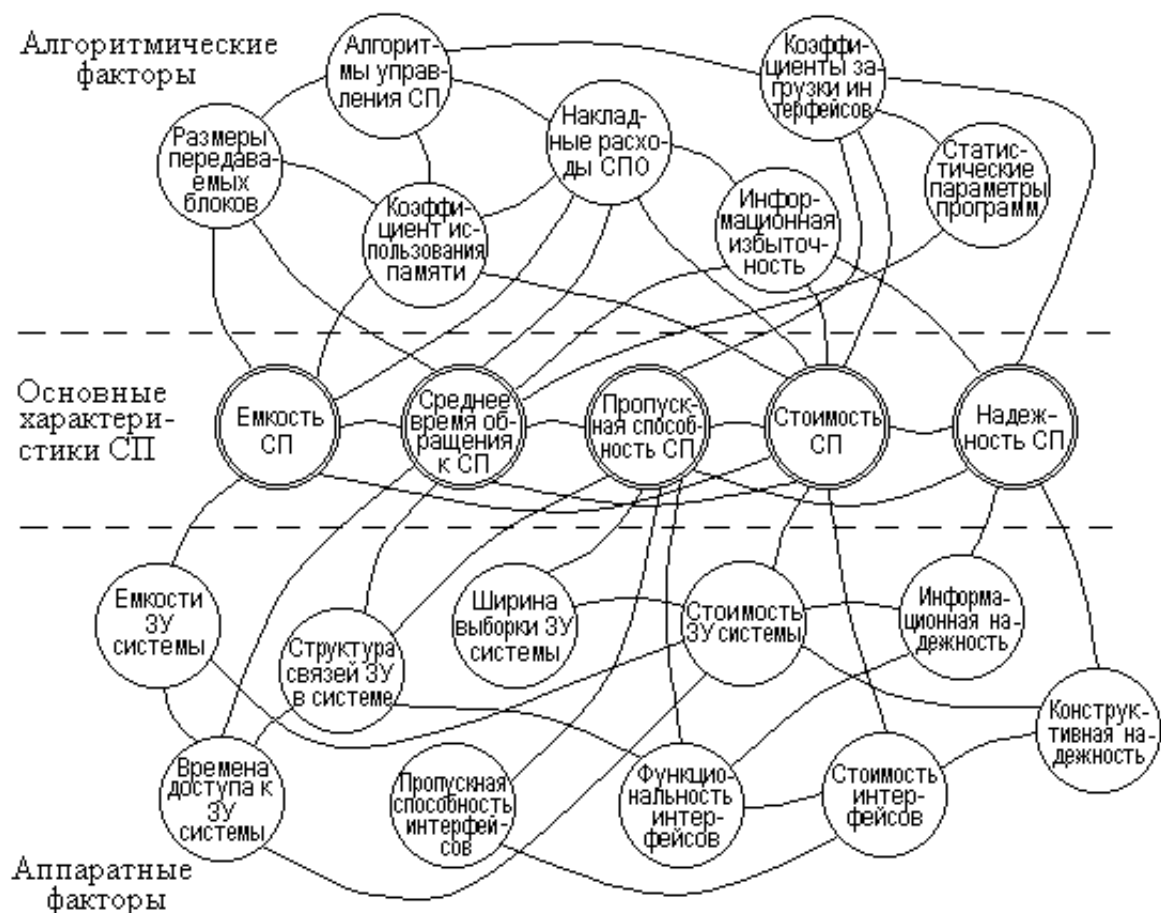


Рис. 8. Граф взаимосвязи характеристик и параметров систем памяти

Критерии оценки эффективности СП могут быть разделены на

- ✓ *временные,*
- ✓ *стоимостные и*
- ✓ *интегральные.*

Как правило, критерии, относящиеся к первым двум группам, используются для оценки систем специализированного назначения и учитывают специфические требования.

Часто используемая в литературе форма **интегрального критерия оценки** системы памяти типа отношения **производительность/стоимость**, позволяя сравнивать различные СП, тем не менее едва ли может рассматриваться в качестве критерия, определяющего пригодность СП для конкретной ЭВМ или вычислительной системы. Например, СП, обладающая лучшим значением этого показателя, может не отвечать заданным ограничениям.

Поскольку система памяти работает не сама по себе, а входит в состав некоторой ЭВМ (или вычислительного комплекса), то выбор ее характеристик должен быть увязан с характеристиками этой ЭВМ, а также с классом задач, на решение которых она ориентируется.

Конечно, если круг решаемых задач четко определен, то оценку выбираемой памяти можно провести точнее. Но и в общем случае целесообразно

руководствоваться общим соображением о необходимости сбалансировать показатели памяти и остальной системы.

Более формально это соображение можно представить следующим образом.

Пусть для простоты будут рассматриваться только **характеристики стоимости и производительности системы памяти** (хотя вопросы надежности, функциональных возможностей, стоимости эксплуатации, конечно, также играют свои роли).

Тогда, в качестве критерия выбора СП можно использовать **минимизацию стоимости решения задач на ЭВМ при условии соблюдения ограничений на максимально допустимое время решения и стоимость ЭВМ.**

Пусть C – стоимость ЭВМ, складывающаяся из двух компонент: C_1 – стоимости системы памяти и C_2 – стоимости остальной части ЭВМ: процессора, системы ввода-вывода и др. При необходимости можно аналогичным образом вынести в отдельную группу любые другие компоненты.

Пусть далее t – среднее время выполнения команды для рассматриваемой ЭВМ, причем это время также считается состоящим из двух компонент и определяется следующим выражением

$$t = t_1 n + t_2,$$

где t_1 – среднее время обращения к памяти, t_2 – среднее время выполнения команды, не совмещаемое с обращением к памяти, а n – среднее количество обращений к памяти, производимых при выполнении одной команды.

Тогда время t_t решения задачи, требующей выполнения N команд, составит

$$t_t = N (t_1 n + t_2),$$

а стоимость C_t этого решения будет

$C_t = C t_t k_0/T$, где k_0 – коэффициент расходов на эксплуатацию ЭВМ, а T – срок ее службы.

Полагая далее для упрощения k_0 и T одинаковыми для всех ЭВМ (что, конечно, справедливо только в рамках ЭВМ одного класса), можно установить, что стоимость решения одной и той же задачи линейно зависит от произведения

$$C t = (C_1 + C_2) (t_1 n + t_2) = C_1 t_1 n + C_2 t_1 n + C_1 t_2 + C_2 t_2.$$

Если допустить также, что произведения $C_1 t_1$ и $C_2 t_2$ остаются постоянными в некоторой узкой области, то при выборе системы памяти следует минимизировать сумму “перекрестных” произведений $C_1 t_2$ и $C_2 t_1 n$.

Эти соображения, включающие в себя ряд допущений, могут служить основой для грубой оценки параметров выбираемой системы памяти. Хотя даже и с учетом принятых упрощений, оценка значений t_1 , t_2 и n не является простой задачей, особенно с учетом зависимости всех этих величин от класса решаемых задач.

Тем не менее, общий смысл этих рассуждений в целом подтверждает и тот факт, что ЭВМ близких классов имеют и схожие параметры основных компонент.

Конец лекции 13

Приложение к лекции 15

Справочный материал по устройствам памяти

В зависимости от возможности записи и перезаписи данных, устройства памяти подразделяются на следующие типы:

ЗУ с записью-считыванием [read-write memory] - тип памяти, дающей возможность пользователю помимо считывания данных производить их исходную запись, стирание и-или обновление. К этому виду могут быть отнесены оперативная память, ОЗУ [random access memory, RAM], кэш-память [cache memory], а также программируемое постоянное запоминающее устройство, ППЗУ [programmable read only memory, PROM].

ПЗУ - тип памяти ЗУ, предназначенный для хранения и считывания данных, которые никогда *не изменяются*. Запись данных на ПЗУ производится в процессе его изготовления, поэтому пользователем изменяться не может. Наиболее распространены ПЗУ, выполненные на интегральных микросхемах (БИС, СБИС) и оптических дисках CD-ROM и DVD-ROM.

ППЗУ - тип памяти, в котором возможна запись или смена данных путем воздействия на носитель информации электрическими, магнитными и-или электромагнитными (в том числе ультрафиолетовыми или другими) полями под управлением специальной программы. Различают ППЗУ с однократной записью и стираемые ППЗУ [EPROM, Erasable PROM], в том числе:

- электрически программируемое ПЗУ, ЭППЗУ [Electrically Alterable Read Only Memory, EAROM]
- электрически стираемое программируемое ПЗУ, ЭСПЗУ [Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM]

Примечание: К стираемым ППЗУ также относятся микросхемы флэш-памяти [flash memory], отличающиеся высокой скоростью доступа и возможностью быстрого стирания данных.

Виды памяти, различаемые по признаку зависимости сохранения записи при снятии электропитания:

Энергонезависимая память [nonvolatile storage] - ЗУ, записи в которых не стираются при снятии электропитания. К этому типу памяти относятся все виды ПЗУ и ППЗУ.

Энергозависимая память [volatile storage] - ЗУ, записи в которых стираются при снятии электропитания. К этому типу памяти относится ОЗУ, кэш-память.

Динамическая память [dynamic storage] - разновидность энергозависимой полупроводниковой памяти, в которой хранимая информация с течением времени разрушается, поэтому для сохранения записей необходимо производить их периодическое восстановление (регенерацию), которое выполняется под управлением специальных внешних схемных элементов.

Различия видов памяти по виду физического носителя и способа записи данных:

Акустическая память [acoustic storage] - в качестве среды для записи и хранения данных используются замкнутые акустические линии задержки.

Голографическая память [holographic storage] - в качестве среды для записи и хранения используется пространственная графическая информация голограмм.

Емкостная память [capacitor storage] - вид ЗУ, использующий в качестве среды для записи и хранения данных элементы электрической цепи - конденсаторы.

Криогенная память [cryogenic storage] - в качестве среды для записи и хранения данных используются материалы, обладающие сверхпроводимостью.

Лазерная память [laser storage] - вид памяти, в котором запись и считывание данных производится лучом лазера (CD-R/RW, DVD±R/RW, DVD-RAM).

Магнитная память [magnetic storage] - вид памяти, использующий в качестве среды для записи и хранения данных магнитный материал. Разновидностями этого вида памяти являются память на магнитной проволоке [plated wire memory], память на магнитной пленке [thin-film memory], наносимой на некоторую подложку, например стеклянную. Наиболее широко используемыми устройствами реализации магнитной памяти в современных ЭВМ являются накопители на магнитных лентах (НМЛ), магнитных (жестких и гибких) дисках (НЖМД и НГМД).

Магнитооптическая память [magnetooptics storage] - вид памяти, использующий магнитный материал, запись данных на который возможна только при нагреве до температуры Кюри (порядка 145⁰ С), осуществляемом в точке записи лучом лазера (объем записи на стандартные 3.5 и 5.25 дюймовые гибкие диски составляет при этом соответственно до 600 Мб и 1.3 Гб). В 2002 г. компания [Fujitsu](#) выпустила магнитооптические накопители DynaMO 2300U2 и дискеты к ним (стандартный размер дискет — 3.5 дюйма) емкостью 2.3 Гбайт.

Молекулярная память [molecular storage] – вид памяти, использующей технологию "атомной туннельной микроскопии", в соответствии с которой запись и считывание данных производится на молекулярном уровне. Носителями информации являются специальные виды пленок. Головки, считывающие данные, сканируют поверхность пленки. Их чувствительность позволяет определять наличие или отсутствие в молекулах отдельных атомов, на чем и основан принцип записи-считывания данных. В середине 1999 г. эта технология была продемонстрирована компанией [Nanochip](#). В основе архитектуры устройств записи-считывания лежит технология MARE (Molecular Array Read-Write Engine). Достигнуты следующие показатели по плотности упаковки: ~ 40 Гбит/см² в устройствах чтения/записи и 128 Гбит/см² в устройствах с однократной записью, что считается в 6 раз выше, чем у экспериментальных образцов, которые основаны на классической технологии магнитной записи, и более чем в 25 раз превосходит лучшие ее образцы, находящиеся в серийном производстве.

Полупроводниковая память [semiconductor storage] - вид памяти, использующий в качестве средств записи и хранения данных микроэлектронные интегральные схемы (БИС и СБИС). Преимущественное применение этот вид памяти получил в ПЗУ и ОЗУ ЭВМ, поскольку он характеризуется высоким быстродействием. Сравнительно недавно объем памяти, реализуемой на одной твердотельной (полупроводниковой) плате, ограничивался единицами Мбайт. Однако в настоящее время рядом фирм США, Японии и Европы разработана миниатюрная плата памяти с габаритами 38х33х3.5 мм, объемом памяти до 64 Мбит и уже принят соответствующий международный стандарт. Это позволяет существенно расширить использование твердотельной памяти, в том числе в качестве устройств внешней памяти ПЭВМ и в других применениях.

Ферритовая память [core storage] - вид ОЗУ на ферритовых сердечниках.

Фазоинверсная память [Phase Change Rewritable storage, PCR] - разновидность лазерной (дисковой) памяти, использующей свойства некоторых полимерных материалов в точке лазерного нагрева в зависимости от температуры изменять фазовое состояние вещества (в частности кристаллизоваться или плавиться с возвращением в исходное состояние), а вместе с ним - и характеристики отражения. Указанная технология позволяет создавать оптические диски (650 Мб) для многократной перезаписи данных. Разработкой данной технологии занимается ряд компаний, включая [Panasonic](#) и [Toshiba](#).

Электростатическая память [electrostatic storage] - вид памяти, в котором носителями данных являются накопленные заряды статического электричества на поверхности диэлектрика.

По назначению, организации памяти и/или доступа к ней различают следующие виды памяти:

Автономное ЗУ [off-line storage] - вид памяти, не допускающий прямого доступа к ней со стороны центрального процессора: обращение к ней, а также управление ею производится вводом в систему специальных команд и через посредство оперативной памяти.

Адресуемая память [addressed memory] - вид памяти, к которой может непосредственно обращаться центральный процессор.

Ассоциативное ЗУ, АЗУ [associative memory, content-addressable memory, CAM] - вид памяти, в котором адресация осуществляется на основе содержания данных, а не их местоположения, чем обеспечивается ускорение поиска необходимых записей. С указанной целью поиск в ассоциативной памяти производится на основе определения содержания ли в той или иной ее области (ячейке памяти) слова, словосочетания, символа и т.п., являющихся поисковым признаком.

Существуют различные методы реализации АЗУ, в том числе использующие методы поиска основанные на "точном совпадении", "близком совпадении", "маскировании" слова-признака и т.д., а также различные процедуры реализации поиска, например, кэширования с целью производства "наилучшей оценки" истинного адреса, за которой следует проверка содержимого ячейки с вычисленным адресом. Некоторые ассоциативные ЗУ строятся по принципу последовательного, другие - параллельного сравнения признаков поиска (так называемые ортогональные ЗУ). Параллельные ассоциативные ЗУ нашли применение в организации кэш-памяти и виртуальной памяти.

Буферное ЗУ [buffer storage] - вид ЗУ, предназначенный для временного хранения данных при обмене ими между различными устройствами ЭВМ

Виртуальная память [virtual memory]:

1. Способ организации памяти, в соответствии с которым часть внешней памяти ЭВМ используется для расширения ее "внутренней" (основной, оперативной) памяти. Например, содержимое некоторой области, не используемой в данный момент времени "внутренней" памяти, хранится на жестком диске и возвращается в оперативную память по мере необходимости.
2. Область (пространство) памяти, предоставляемая отдельному пользователю или группе пользователей и состоящая из основной и внешней памяти ЭВМ, между которыми организован так называемый постраничный обмен данными. С указанной целью все адресное пространство делится на страницы памяти. Поиск адресов страниц производится в ассоциативной памяти.

Временная память [temporary storage] - специальное запоминающее устройство или часть оперативной памяти, резервируемые для хранения промежуточных результатов обработки.

Вспомогательная память [auxiliary storage] - часть памяти ЭВМ, охватывающая внешнюю и наращенную оперативную память.

Вторичная память [secondary storage] - вид памяти, который в отличие от основной памяти имеет большее время доступа, основывается на блочном обмене, характеризуется большим объемом и служит для разгрузки основной памяти.

Гибкая память [elastic storage] - вид памяти, позволяющей хранить переменное число данных, пересылать (выдавать) их в той же последовательности, в которой принимает, и варьировать скорость вывода.

Дополнительная память [add-in memory] - вид устройства памяти, предназначенного для увеличения объема основной оперативной или внешней памяти на жестком магнитном диске (ЖМД), входящих в основной комплект поставки ЭВМ.

Иерархическая память [hierarchical storage] - вид памяти, имеющей иерархическую структуру, на верхнем уровне которой используется сверхоперативное запоминающее устройство, а на нижнем уровне - архивное ЗУ сверхбольшой емкости.

Коллективная (массовая) память, память коллективного доступа [shared memory]:

1. Память, доступная множеству пользователей, которые могут обращаться к ней одновременно или последовательно.
2. Память, связанная одновременно с несколькими процессорами для обеспечения их взаимодействия при совместно решаемых ими задачах и использовании общих для них программных средств.

Корректирующая память [patch memory] - часть памяти ЭВМ, предназначенная для хранения адресов неисправных ячеек основной памяти.

Локальная память [local memory] - "внутренняя" память отдельного устройства ЭВМ (процессора, канала и т.п.), предназначенная для хранения управляющих этим устройством команд, а также сведений о состоянии устройства.

Магазинная (стековая) память [pushdown storage] - вид памяти, являющийся аппаратной реализацией магазинного списка - стека, запись и считывание в котором осуществляются через одну и ту же ячейку - вершину стека.

Матричная память [matrix storage] - вид памяти, элементы (ячейки) которой имеют такое расположение, что доступ к ним осуществляется по двум или более координатам.

Многоблочная память [multibunk memory] - вид оперативной памяти, организованной из нескольких независимых блоков, допускающих одновременное обращение к ним, что повышает ее пропускную способность.

Многовходовая память [multiport storage memory] - устройство памяти, допускающее независимое обращение с нескольких направлений (входов), причем обслуживание запросов производится в порядке их приоритета.

Многоуровневая память [multilevel memory] - организация памяти, состоящая из нескольких уровней запоминающих устройств с различными характеристиками и рассматриваемая со стороны пользователей как единое целое. Для многоуровневой памяти характерна страничная организация, обеспечивающая "прозрачность" обмена данными между ЗУ разных уровней.

Непосредственно управляемая (оперативно доступная) память [on-line storage] - память, непосредственно доступная в данный момент времени центральному процессору.

Объектно-ориентированная память [object storage] - память, система управления которой ориентирована на хранение объектов. При этом каждый объект характеризуется типом и размером записи.

Оверлейная память [overlayable storage] - вид памяти с перекрытием вызываемых в разное время программных модулей.

Одноуровневая память [one-level storage]:

1. Вид памяти с единой адресацией для запоминающих устройств различных типов в одной ЭВМ.
2. См. "Виртуальная память".

Память параллельного действия [parallel storage] - вид памяти, в которой все области поиска могут быть доступны одновременно.

Перезагружаемая управляющая память [reloadable control storage] - вид памяти, предназначенный для хранения микропрограмм управления и допускающий многократную смену содержимого - автоматически или под управлением оператора ЭВМ.

Перемещаемая память [data-carrier storage] - вид архивной памяти, в которой данные хранятся на перемещаемом носителе. Непосредственный доступ к ним от ЭВМ отсутствует.

Память последовательного действия [sequential storage] - вид памяти, в которой данные записываются и выбираются последовательно — разряд за разрядом.

Память процессора, процессорная память [processor storage] - память, являющаяся частью процессора и предназначенная для хранения данных, непосредственно участвующих в выполнении операций, реализуемых арифметико-логическим устройством и устройством управления.

Память со встроенной логикой, функциональная память [logic-in-memory] - вид памяти, содержащий встроенные средства логической обработки (преобразования) данных, например их масштабирования, преобразования кодов, наложения полей и др.

Рабочая (промежуточная) память [working (intermediate) storage]:

1. Часть памяти ЭВМ, предназначенная для размещения временных наборов данных.
2. Память для временного хранения данных.

Реальная память [real storage] - вся физическая память ЭВМ, включая основную и внешнюю память, доступная для центрального процессора и предназначенная для размещения программ и данных.

Регистровая память [register storage] - вид памяти, состоящей из регистров общего назначения и регистров с плавающей запятой.

Свободная (доступная) память [free space] - область или пространство памяти ЗУ, которая в данный момент может быть выделена для загрузки программы или записи данных.

Семантическая память [semantic storage] - вид памяти, в которой данные размещаются и списываются в соответствии с некоторой структурой понятийных признаков.

Совместно используемая (разделяемая) память [shareable storage] - вид памяти, допускающий одновременное использование его несколькими процессорами.

Память с защитой, защищенное ЗУ [protected storage] - вид памяти, имеющий встроенные средства защиты от несанкционированного доступа к любой из его ячеек.

Память с последовательным доступом [sequential access storage] - вид памяти, в которой последовательность обращенных к ним входных сообщений и выборок данных соответствует последовательности, в которой организованы их записи. Основным методом поиска данных в этом виде памяти - последовательный перебор записей.

Память с прямым доступом, ЗУ с произвольной выборкой (ЗУПВ) [Random Access Memory, RAM] - вид памяти, в котором последовательность обращенных к ним входных сообщений и выборок данных не зависит от последовательности, в которой организованы их записи или их местоположения.

Память с пословной организацией [word-organized memory] - вид памяти, в которой адресация, запись и выборка данных производится не побайтно, а пословно.

Статическая память [static storage] - вид памяти, в котором положение данных и их значение не изменяются в процессе хранения и считывания. Разновидностью этого вида памяти является статическое ЗУПВ [static RAM].

Страничная память [page memory] - память, разбитая на одинаковые области - страницы. Обмен с такой памятью осуществляется страницами.

Управляющая память [control storage] - память, содержащая управляющие программы или микропрограммы. Обычно реализуется в виде ПЗУ.

Флэш-память, ЭСППЗУ [EEPROM, Electrically Erasable PROM, flash memory]

Электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ: полупроводниковое ЗУ, выполненное в виде микросхемы, в которую можно записывать данные и хранить их сколь угодно долго. Стирание производится электрическим разрядом, после чего можно записывать новые данные. Некоторые виды **ЭСППЗУ** для стирания и перепрограммирования требуют использования специальных устройств.

Другие, собственно относящиеся к категории **флэш-памяти**, могут стираться и перепрограммироваться непосредственно в ЭВМ. Конструктивно флэш-память часто выполняется в виде так называемых **флэш-карт** [Flash-cards] или модулей памяти, которые используются в различных устройствах, например, мобильных ПК, цифровых фотокамерах, сотовых телефонах, пейджерах, плеерах, портативных навигационных приборах и т. д.

Одним из наиболее популярных вариантов реализации флэш-карт являются Memory Stick (MS) компании [Sony](#), выпуск которых начат с осени 1998 г. Эти карты прочнее SmartMedia (SM) и Solid State Floppy Disk (SSFDC) и компактнее CompactFlash (CF). При весе пластинок Memory Stick в 4 г их габариты составляют 50x21.5x2.8 мм. Они представляют собой две микросхемы флэш-памяти, упакованные в пластиковый корпус. К началу 2000 г. были доступны карточки Memory Stick емкостью 4, 16, 32 и 64 Мб. В то же время модули памяти ряда производителей, например Compact Flash (CF), которые выпускаются более чем 160 фирмами, обладают значительными объемами памяти: CF модификации I – 256 Мб, CF модификации II – 512 Мб.

Большой популярностью на мировом рынке пользуются MultiMedia Card (MMC) – соответствующий стандарт, поддерживается с 1997 г. ассоциацией [MMCA](#), объединяющей порядка 80 компаний, включая такие, как [Nokia](#), [Ericsson](#), [Hitachi](#), [SanDisk](#), [Motorola](#) и др. Карты MMC имеют габариты 32x24x1.4 мм, семиконтактный последовательный интерфейс и весят всего 1.5 г. Максимальная емкость их памяти в данный момент составляет 256 Мб. Широкое применение они нашли в MP3-плеерах, цифровых видеокамерах, диктофонах, мобильных телефонах, портативных навигационных системах GPS и других цифровых устройствах.

SecureDigital Card (SD) — стандарт на флэш-карты, разработан в 2000 г. компаниями Matsushita, SanDisk и Toshiba в развитие стандарта MMC. Карты снабжены криптографическими средствами защиты данных, высокопрочным корпусом из специального пластика, девятиконтактным последовательно-параллельным интерфейсом. Данные могут передаваться по одной, двум, или четырем линиям одновременно на частоте до 25 МГц. Карты SD совместимы с MMC.

USB-флэш-память, USB-память — тип флэш-накопителей, появившихся на рынке в 2001 г. Конструктивно представляет собой "брелок" продолговатой формы, состоящий из защитного колпачка и собственно накопителя с USB-разъемом (одна или две микросхемы флэш-памяти и USB-контроллер). Достоинством накопителей этого вида является возможность подключения их непосредственно к настольному ПК для переноса данных без помощи каких-либо других устройств. Предполагается, что в будущем USB-память может стать основным средством переноса небольших объемов записей данных.

Многоуровневая флэш-память [StrataFlash] – усовершенствованная микросхема флэш-памяти, основанная на использовании ячеек не с двумя уровнями состояния "включено" и "выключено", как это имеет место в первых поколениях схем, а с четырьмя (два положения "включено" и два положения "выключено"). Таким образом каждая ячейка может хранить в два раза больше данных, чем в обычной микросхеме. Технология разработана компанией Intel в 1997 г. Основная область предполагаемого применения - цифровые фотокамеры, карманные ПК, сотовые телефоны, цифровые автоответчики.

Флэш-память двойной плотности [Double Density Flash Memory] – усовершенствованная микросхема флэш-памяти, выпускаемая компанией SanDisk с ноября 1996 г. и относится к категории многоуровневой флэш-памяти.