

Архитектура вычислительных систем.

Лекция 6.

Файловый ввод-вывод

- Москва,
ноябрь 2012

Ловецкий К.П.

Общие понятия файловых систем

- Под файлом в терминологии, связанной с компьютерами, обычно понимается некий набор хранимых на внешнем запоминающем устройстве данных, имеющий имя.
- Подсистема операционной системы, отвечающая за хранение информации на внешних запоминающих устройствах в виде именованных файлов, называется файловой системой.
- Термин файловая система иногда используется в совершенно ином значении, а именно, для обозначения структур данных, создаваемых на внешнем запоминающем устройстве с целью организации хранения на этом устройстве данных в виде именованных файлов. Обычно из контекста можно однозначно определить, какая из двух «файловых систем» имеется в виду, так что путаницы такая перегрузка термина не создает.

Общие понятия файловых систем

- **Файловая система**
- *Файловая система* - это часть операционной системы, назначение которой состоит в том, чтобы обеспечить пользователю удобный интерфейс при работе с данными, хранящимися на диске, и обеспечить совместное использование файлов несколькими пользователями и процессами.
- **В широком смысле понятие "файловая система" включает:**
- совокупность всех файлов на диске,
- наборы структур данных, используемых для управления файлами, такие, например, как каталоги файлов, дескрипторы файлов, таблицы распределения свободного и занятого пространства на диске,
- комплекс системных программных средств, реализующих управление файлами, в частности: создание, уничтожение, чтение, запись, именование, поиск и другие операции над файлами.

Общие понятия файловых систем

- **Файловая система** (*file system*) — регламент, определяющий способ организации, хранения и именования данных на носителях информации. Она определяет формат физического хранения информации, которую принято группировать в виде файлов. Конкретная файловая система определяет **размер имени файла, максимальный возможный размер файла, набор атрибутов** файла. Некоторые файловые системы предоставляют сервисные возможности, например, разграничение доступа или шифрование файлов.
- Файловая система связывает носитель информации, с одной стороны, и API (Application Programming Interface) для доступа к файлам — с другой. Когда прикладная программа обращается к файлу, она не имеет никакого представления о том, каким образом расположена информация в конкретном файле, также, как и на каком физическом типе носителя он записан. Всё, что знает программа — это имя файла, его размер и атрибуты. Эти данные она получает от драйвера файловой системы. Именно файловая система устанавливает, где и как будет записан файл на физическом носителе (например, жёстком диске).

Общие понятия файловых систем

- С точки зрения операционной системы, весь диск представляет из себя набор кластеров размером от 512 байт и выше (*В современных - 2010 год - жёстких дисках, размер кластера стал 4096 байт*). Драйверы файловой системы организуют кластеры в файлы и каталоги (реально являющиеся файлами, содержащими список файлов в этом каталоге). Эти же драйверы отслеживают, какие из кластеров в настоящее время используются, какие свободны, какие помечены как неисправные.
- Однако файловая система не обязательно напрямую связана с физическим носителем информации. Существуют виртуальные файловые системы, а также сетевые файловые системы, которые являются лишь способом доступа к файлам, находящимся на удалённом компьютере.

Имена файлов

Ранние файловые системы позволяли давать файлам **имена** только **ограниченной длины**, причем эти имена находились в одном общем пространстве имен; естественно, от имен требовалась **уникальность**. Ясно, что такой подход может работать лишь до тех пор, пока файлов на одном устройстве сравнительно немного. С ростом объемов дисковых накопителей потребовалась более гибкая схема именования.

Чтобы создать такую гибкость, ввели понятие **директории**, или **каталога**. Каталог представляет собой особый тип файла, хранящий имена файлов (некоторые из которых, возможно, сами являются каталогами). При создании на диске файловой системы создается один каталог, называемый **корневым каталогом**. При необходимости можно создать дополнительные каталоги, а их имена записать в **корневой**. Такие каталоги иногда называют каталогами **первого уровня** (вложенности). В них, в свою очередь, тоже можно создавать каталоги (**второго уровня**), и т.д.

Краткое и полное имя файлов

При использовании каталогов можно говорить отдельно о **кратком** или **локальном имени файла** (то имя, которое файл имеет в «своем» каталоге) и о **полном** имени файла или полном пути к файлу (строка символов, включающая последовательно имена каталогов первого, второго и т.д. уровней, а затем имя самого файла в последнем из каталогов).

Имена каталогов и файла обычно разделяются специальным символом; в системах MS-DOS и Windows это обратная косая черта («\»), в системе Unix – прямая косая черта («/»). Так, если мы создадим каталог первого уровня work, в нем создадим каталог второго уровня project, в котором разместим файл program.c, то полный путь к этому файлу в ОС Unix будет выглядеть так:
`/work/project/program.c.`

Обращение к файлам

- Обычно в каждом каталоге существует файл со специальным именем, обозначающий **каталог более высокого уровня**, содержащий данный каталог (так называемый **родительский каталог**). В ОС Unix, а позднее и в MS-DOS и Windows, в качестве такого имени используется «..» (две точки).
- При работе с файлами некоторый каталог на диске тем или иным способом объявляется **текущим**. К файлам, находящимся в текущем каталоге, можно обращаться без указания пути, используя только краткое имя.
- Для обращения к файлам, находящимся **вне текущего каталога**, можно использовать как полный путь, так и относительный путь, состоящий из имен каталогов, первый из которых находится в текущем, второй – в первом, и т.д. При необходимости можно использовать специальное имя, ссылающееся на родительский каталог.
- Операционные системы отличают полные пути от относительных по наличию символа-разделителя (прямая или обратная косая черта, в зависимости от ОС) перед первым именем в пути.
Если этот символ в начале пути присутствует, то мы имеем дело с полным путем, если нет – то с относительным.

Иерархия каталогов

- Практически всегда файлы на дисках объединяются в *каталоги*.
- В простейшем случае все файлы на данном диске хранятся в одном каталоге. Такая *одноуровневая* схема использовалась в [CP/M](#) и первых версиях [MS-DOS](#). *Иерархическая файловая система* со вложенными друг в друга каталогами впервые появилась в [UNIX](#).

C:

Wiki.txt	\Program files
Tornado.jpg	\CDEX
Notepad.exe	\CDEX.exe
	\CDEX.hlp
(Одноуровневая файловая система)	\mprenc.exe
	\Мои документы
	\Wiki.txt
	\Tornado.jpg

D: \Music \ABBA

\1974 Waterloo

\1976 Arrival

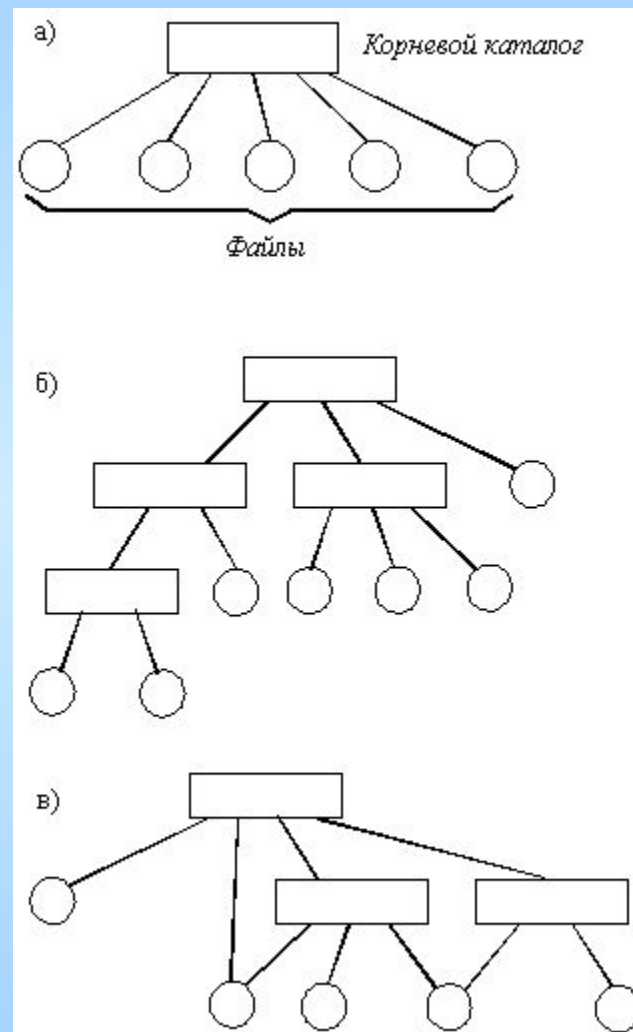
\Money, Money, Money.ogg

\1977 The Album

(Иерархическая файловая система Windows/DOS)

Иерархия каталогов

- Иерархия каталогов может быть деревом или сетью. Каталоги образуют дерево, если файлу разрешено входить только в один каталог, и сеть - если файл может входить сразу в несколько каталогов. В MS-DOS каталоги образуют древовидную структуру, а в UNIX'e - сетевую. Как и любой другой файл, каталог имеет символьное имя и однозначно идентифицируется составным именем, содержащим цепочку символьных имен всех каталогов, через которые проходит путь от корня до данного каталога.



Логическая организация файловой системы

а - одноуровневая; б - иерархическая (дерево); в - иерархическая (сеть) ¹⁰

Задачи файловой системы

- Основные функции любой файловой системы нацелены на решение следующих задач:
 - именованье файлов;
 - программный интерфейс работы с файлами для приложений;
 - отображения логической модели файловой системы на физическую организацию хранилища данных;
 - устойчивость файловой системы к сбоям питания, ошибкам аппаратных и программных средств;
 - содержание параметров файла, необходимых для правильного его взаимодействия с другими объектами системы (ядро, приложения и пр.)
- В многопользовательских системах появляется еще одна задача: защита файлов одного пользователя от несанкционированного доступа другого пользователя.

Файловая система ОС Unix

На самом деле, в DOS/Windows системах также, как и в UNIX-подобных существует один [корневой каталог](#) со вложенными директориями, имеющими названия "c:", "d:" и т.д. В эти [каталоги](#) монтируются разделы жёсткого диска. Т.е., c:\ - это всего лишь ссылка на file:///c:/. Однако, в отличие от UNIX-подобных файловых систем, в Windows запись в корневой каталог запрещена, как и просмотр его содержимого.

В **UNIX** существует только один [корневой каталог](#), а все остальные файлы и каталоги вложены в него. Чтобы получить доступ к файлам и каталогам на каком-нибудь диске, необходимо *примонтировать* этот диск командой [mount](#). Например, чтобы открыть файлы на [CD](#), нужно, говоря простым языком, сказать операционной системе: «возьми файловую систему на этом компакт-диске и покажи её в каталоге /mnt/cdrom». Все файлы и каталоги, находящиеся на CD, появятся в этом каталоге /mnt/cdrom, который называется *точкой монтирования* ([англ. mount point](#)). В большинстве UNIX-подобных систем съёмные диски ([дискеты](#) и CD), флеш-накопители и другие внешние устройства хранения данных монтируют в каталог /mnt, /mount или /media. Unix и UNIX-подобные операционные системы также позволяет автоматически монтировать диски при загрузке операционной системы.

Монтирование

- В отличие от многих других операционных систем, в ОС Unix файловая система представляет собой единое дерево каталогов. В имя файла ни в каком виде не входит имя устройства, на котором этот файл находится (то есть ничего аналогичного привычным для пользователей Windows обозначениям A:, C: и т.п. в ОС Unix нет).
- В случае, если в системе имеется несколько дисков, один из них объявляется корневым, а остальные монтируются в тот или иной каталог, называемый точкой монтирования (англ. ***mount point***), при этом для указания полных путей к файлам на этом диске необходимо к полному имени файла в рамках диска добавить спереди полный путь точки монтирования. К примеру, если у нас есть дискета, на ней создан каталог ***work***, в нем – файл ***prog.c***, а сама дискета смонтирована под каталог ***/mnt/floppy***, полный путь к нашему файлу будет выглядеть так:
/mnt/floppy/work/prog.c.

Имена файлов и индексные дескрипторы

- В ОС Unix каталоги хранят только имя файла и некоторый номер, позволяющий идентифицировать соответствующий файл. Вся прочая информация о файле, включая его размер, расположение на диске, даты создания, модификации и последнего обращения, данные о владельце файла и о правах доступа к нему связываются не с именем файла (как это делается во многих других операционных системах), а с вышеупомянутым номером.
- Хранимая на внешнем запоминающем устройстве (диске) структура данных, содержащая всю информацию о файле, исключая его имя, называется индексным дескриптором (***index node***, или ***i-node***). Индексные дескрипторы имеют номера, уникальные в рамках файловой системы данного диска. Именно номер файлового дескриптора и хранится в каталоге вместе с именем файла.

Имена файлов и индексные дескрипторы

- Отметим, что имя файла в ОС Unix может быть достаточно длинным (обычно ограничение составляет 255 символов) и содержать, вообще говоря, любые символы кроме нулевого и символа-разделителя. Так, имя файла из пятнадцати точек является с точки зрения Unix вполне допустимым.
- Тем не менее, настоятельно не рекомендуется использование в именах файлов таких символов, как **пробел, звездочка, восклицательный и вопросительный знаки**, хотя это и возможно. Также рекомендуется воздержаться от использования в именах файлов **спецсимволов** (такие как перевод строки, табуляция, звонок, backspace и пр.) и символов с кодом, превышающим 127 (таких, как **русские буквы**).
- Наконец, имя файла крайне не рекомендуется начинать с символа «-» (минус).
- **Несоблюдение этих рекомендаций приводит к возникновению проблем в работе. Проблемы такого рода всегда могут быть преодолены, однако преодолимость трудностей не является поводом для их создания.**

Жесткие ссылки

- В ОС Unix допускается, чтобы два или более имен файлов, расположенных как в разных каталогах, так и в одном, ссылались на один и тот же номер индексного дескриптора.
- Ясно, что создается файл под одним определенным именем. Дополнительные имена файл может получить позже с помощью системного вызова `int link(const char *oldpath, const char *newpath);` где **oldpath** – существующее имя файла, **newpath** – новое имя. Такие имена называются жесткими ссылками (англ. **hardlinks**). Отличить жесткую ссылку от оригинального имени файла невозможно: эти имена совершенно равноправны.
- Ясно, что жесткая ссылка может быть установлена только в рамках одного диска; действительно, **нумерация индексных дескрипторов у каждого диска своя**, так что сослаться на индексный дескриптор другого диска не представляется возможным.

Жесткие ссылки

- В индексном дескрипторе содержится, кроме всего прочего, счетчик количества ссылок на данный дескриптор. При создании файла этот счетчик устанавливается в единицу, при создании новой жесткой ссылки – увеличивается на единицу.
- Функция, предназначенная для удаления файла, называется **unlink()**, что иногда вызывает удивление у программистов, плохо знакомых с ОС Unix.
- В ОС Unix эта функция является системным вызовом, удаляющим ссылку на файл, что и объясняет причины такого названия. При выполнении вызова **unlink()** имя удаляется из каталога, а счетчик ссылок в соответствующем индексном дескрипторе уменьшается. Сам файл удаляется только в случае, если удаленная ссылка была последней (счетчик обратился в нуль), и при этом файл не был ни одним из процессов открыт на запись или чтение. Если счетчик обратился в нуль, но файл кем-то открыт, удален он будет только после закрытия.

Типы файлов. Символические ССЫЛКИ

- Каталоги в файловой системе ОС Unix являются не более чем файлами специального типа. Вообще говоря, информацию, содержащуюся в каталоге (имена и номера индексных дескрипторов), необходимо где-то хранить. Поэтому все, чем на низком уровне отличается каталог от обычного файла – это значение признака типа в индексном дескрипторе. В остальном хранение на диске каталога организовано точно так же, как и хранение обычного файла.
- Кроме обычных файлов и каталогов, операционные системы обычно поддерживают и другие специальные типы файлов. Так, в файловых системах семейства **FAT** (MSDOS, Windows и некоторые другие ОС) примером такого специального типа файла может быть метка тома (**volume label**).
- В ОС Unix поддерживается сравнительно большое количество разновидностей файлов специального типа: файлы байт-ориентированных и блок-ориентированных устройств, имена сокетов, именованные каналы (**FIFO**) и, наконец, символические ссылки.

Символические ссылки

- Символическая ссылка (англ. **symbolic link**) представляет собой файл специального типа, содержащий имя другого файла. Операция открытия символической ссылки на чтение или запись приводит на самом деле к открытию файла, на который она ссылается, а не ее самой.
- В отличие от жесткой ссылки, символическая ссылка легко отличима от основного имени файла. Символическая ссылка имеет свой собственный номер индексного дескриптора и имеет свой тип. Создание и удаление символической ссылки никак не затрагивает ни файл, на который она ссылается, ни его индексный дескриптор. Более того, файл, на который указывает ссылка, может вообще не существовать в момент ее создания, или может быть удален позднее.
- Символические ссылки создаются вызовом ***int symlink(const char *oldpath, const char *newpath)***; очень похожим на уже рассматривавшийся вызов ***link()***. Удаление символической ссылки происходит уже рассмотренным вызовом ***unlink()***.

Права доступа к файлам

- Права доступа к файлу (англ. **access permissions**) определяют, кто из пользователей (точнее, процессов) какие операции может с данным файлом произвести.
- Права хранятся в индексном дескрипторе в виде 12-битного слова. Младшие 9 бит этого слова объединены в три группы по три бита; каждая группа задает права доступа для владельца файла, для группы владельцев и для всех остальных пользователей. Три бита в каждой группе отвечают за право чтения файла, право записи в файл и право исполнения файла.
- Чтобы узнать права доступа к тому или иному файлу, можно воспользоваться командой **ls -l**, например:
- `$ ls -l /bin/cat`
- `-rwxr-xr-x 1 root root 14232 Feb 4 2003 /bin/cat`

Права доступа к файлам

- Чтобы узнать права доступа к тому или иному файлу, можно воспользоваться командой **ls -l**, например:
- `$ ls -l /bin/cat`
- `-rwxr-xr-x 1 root root 14232 Feb 4 2003 /bin/cat`
- Расположенная в начале строки группа символов **-rwxr-xr-x** показывает тип файла (первый символ – «минус» означает, что мы имеем дело с обыкновенным файлом, буква `d` означала бы каталог и т.п.) и права доступа, соответственно, для владельца (в данном случае `rwx`, т.е. чтение, запись и исполнение), группы и всех остальных (в данном случае `r-x`, т.е. права на запись отсутствуют).
- Таким образом, файл `/bin/cat` доступен любому пользователю на чтение и исполнение, но модифицировать его может только пользователь `root` (т.е. администратор).

Системные вызовы для работы с файлами

Открытие файла

- Чтобы начать работу с файлом, его необходимо открыть, то есть объявить операционной системе, что наша программа собирается работать с данным файлом. Это делается СИСТЕМНЫМ ВЫЗОВОМ

```
int open(const char *name, int mode);
```

```
int open(const char *name, int mode, int perms);
```

- Параметр **name** задает имя файла, который мы хотим открыть. Это может быть короткое имя файла, находящегося в текущем каталоге или же путь к файлу (как полный, так и относительный).
- Параметр **mode** задает режим, в котором мы намерены работать с файлом.

Системные вызовы для работы с файлами

- Основными режимами являются **O_RDONLY** (только чтение), **O_WRONLY** (только запись) и **O_RDWR** (чтение и запись). Одну из этих трех констант указать необходимо.
- Кроме перечисленных основных констант, существуют еще и модифицирующие константы, которые при необходимости можно добавить к основным, используя операцию побитового «или». К этим константам относятся:
 - **O_APPEND** – открыть файл на добавление в конец: каждая операция записи будет осуществлять запись в конец файла;
 - **O_CREAT** – если файла не существует, разрешить операционной системе его создание;
 - **O_TRUNC** – если файл существует, перед началом работы сбросить его старое содержимое, в результате чего длина файла станет нулевой; запись начнется с начала файла;
 - **O_EXCL** – (используется только в сочетании с **O_CREAT**) потребовать от операционной системы создания нового файла; если файл уже существует, не открывать его, выдать ошибку;
- Существуют и некоторые другие модификаторы.
- Третий параметр (**perms**) следует задавать только в случае, если значение второго параметра предполагает возможность создания файла (то есть если используется **O_CREAT**). Этот параметр задает права доступа для создаваемого файла.

Системные вызовы для работы с файлами

Чтение из файла (или, говоря более широко, из любого потока ввода) производится вызовом **int read(int fd, void *buf, int len);**

Параметр **fd** задает файловый дескриптор; **buf** указывает на буфер, в который следует поместить прочитанные данные; **len** сообщает вызову размер буфера, чтобы избежать его переполнения.

Вызов **read()** пытается прочитать из заданного потока **len** байт данных.

Если в указанном потоке отсутствуют данные, готовые к прочтению, вызов блокирует вызвавший процесс до тех пор, пока данные не появятся, и только после их прочтения вернет управление. Если данные присутствуют, но их менее чем **len** байт, вызов сохранит их в **buf** и вернет управление.

Вызов возвращает **-1** в случае ошибки. В случае успешного чтения возвращается положительное число, означающее количество прочитанных байт. Естественно, это число не может быть больше **len**.

Особым случаем является возвращаемое значение **0**. Если **read()** вернул ноль, это означает, что в заданном потоке ввода наступила ситуация конца файла. В частности, для обычного файла это означает, что мы дочитали до его конца и больше там читать нечего.

Системные вызовы для работы с файлами

- Для записи в файл (или другой поток вывода) можно пользоваться вызовом **`int write(int fd, const void *buf, int len);`**
- Параметр **`fd`** задает файловый дескриптор; **`buf`** указывает на буфер, содержащий данные, которые необходимо записать в файл (или другой поток вывода); **`len`** задает количество этих данных.
- Вызов возвращает **`-1`** в случае ошибки. В случае успешного чтения возвращается положительное число, означающее количество записанных байт. Естественно, это число не может быть больше **`len`**. В большинстве случаев число записанных байт в точности равняется значению **`len`**, однако полагаться на это опасно. ***В корректно написанной программе значение, возвращаемое вызовом `write()`, обязательно должно проверяться.***

Системные вызовы для работы с файлами

- Заккрытие файла
- После окончания работы с файлом его следует закрыть. Это особенно важно, поскольку дескрипторы представляют собой ограниченный ресурс (попросту говоря, их общее количество в системе не может превышать некоторого числа, как и количество дескрипторов, открытых одним процессом).
- Заккрытие файла производится вызовом **int close(int fd)**; где **fd** – дескриптор, подлежащий закрытию. Вызов возвращает 0 в случае успеха, -1 в случае ошибки.
- Отметим, что при завершении процесса все его дескрипторы закрываются автоматически.

Системные вызовы для работы с файлами

Позиционирование

- При выполнении операций чтения и записи доступ автоматически осуществляется к последовательным порциям данных в файле. Допустим, мы открыли файл на чтение. Если теперь начать вызывать **read()** с параметром **len**, равным **100**, то первый вызов прочитает из файла байты с нулевого по 99й, второй – с 100го по 199й, третий – байты с 200го по 299й и т.д.
- Этот порядок можно при необходимости нарушить, изменив значение текущей позиции, связанной с файловым дескриптором, вызвав **int lseek(int fd, int offset, int whence);**
- Параметр **fd** задает номер файлового дескриптора. Параметр **offset** указывает, на сколько байт следует сместиться, и параметр **whence** определяет, от какого места эти байты следует отсчитывать. При значении **whence**, равном константе **SEEK_SET**, отсчет пойдет от начала файла; при значении **SEEK_CUR** – от текущей позиции, и при значении **SEEK_END** – от конца файла. Вызов процедуры возвращает новое значение текущей позиции, считая от начала.

Файлы устройств и классификация устройств

- **Обобщенное понятие файла**
- Одним из замечательных свойств ОС Unix является обобщенная концепция файла как универсальной абстракции. Практически любое внешне устройство представляется на пользовательском уровне как файл специального типа. Это касается, в частности, и жестких дисков, и всевозможных последовательных и параллельных портов, и виртуальных терминалов, и т.п.
- Так, часто возникает задача создания образа компакт-диска (CD). Такое может потребоваться, например, при создании копии диска. В некоторых других операционных системах для проведения такой операции необходимо специальное программное обеспечение. Что касается ОС Unix, то тут обычно достаточно вставить диск в привод и дать команду
- `cat /dev/cdrom > image.iso`
- Точно так же, чтобы, скажем, отправить файл на печать, достаточно команды
- `cat myfile.ps > /dev/lp0`
- Конечно, обычно так не делают, полагаясь на подсистему печати, однако нам в данном случае важнее сам факт такой возможности. 28

Два типа устройств

- Устройства, для которых имеется представление в виде файла, делятся на два типа: символьные (или потоковые) и блочные. Для обозначения тех же понятий могут использоваться термины «байт-ориентированные» и «блок-ориентированные» устройства.
- Основными операциями над байт-ориентированными устройствами являются запись и чтение одного (очередного) символа (байта). В противоположность этому, блок-ориентированные устройства воспринимаются как хранилище данных, разделенных на блоки фиксированного размера; основными операциями, соответственно, являются чтение и запись заданного блока.
- Примерами байт-ориентированных устройств являются терминал (клавиатура и устройство отображения), принтер, манипулятор «мышь», звуковая карта.

Типы устройств

- Существуют также чисто виртуальные символьные устройства, не имеющие физического воплощения.
- Так, устройство **/dev/null** позволяет производить в него запись любой информации, которая попросту игнорируется; попытка читать из этого устройства сразу вызывает ситуацию «конец файла».
- Устройство **/dev/zero** позволяет прочесть любое количество байт, причем все прочитанные байты будут равны нулю.
- Устройство **/dev/random** выдает читающему процессу последовательность псевдослучайных чисел, и т.п.

Типы устройств

- В виде блок-ориентированных устройств обычно представляются диски и другие подобные им устройства. Действительно, дисковые устройства обычно позволяют чтение или запись только целыми секторами, что обусловлено особенностями физической реализации таких устройств.
- Наряду с директориями и символическими ссылками, блок-ориентированные и байт-ориентированные устройства представляют собой еще два специальных типа файлов.

Th-th-th-that's all folks!

