

Flash - накопители

Материалы по дисциплине «Установка и конфигурирование ПУ»

Специальность «Компьютерные системы и комплексы»

Составитель: Торгашин Р.Г

ГБПОУ ВО "Борисоглебский техникум промышленных и информационных технологий"

2017 год

Flash-карта, или флэш-память, – это устройства, выполненные на одной электрически перепрограммируемой микросхеме (кристалле) и не имеющие подвижных частей. Благодаря невысокой стоимости, большому объему хранимой информации, низкому энергопотреблению, высокой скорости работы, компактности и механической прочности флэш-память встраивают в цифровые портативные устройства и носители информации. Основное достоинство этого устройства в том, что оно энергонезависимое и ему не нужно электричество для хранения данных. Всю хранящуюся информацию во флэш-памяти можно считать бесконечное количество раз, однако количество полных циклов записи ограничено.

Элементарной ячейкой хранения данных флэш-памяти является транзистор с плавающим затвором (ТПЗ). Его конструкция отличается от обычного полевого транзистора наличием «плавающего затвора», представляющего собой проводящую область над диэлектриком (SiO_2), которая изолирована от других частей его структуры.

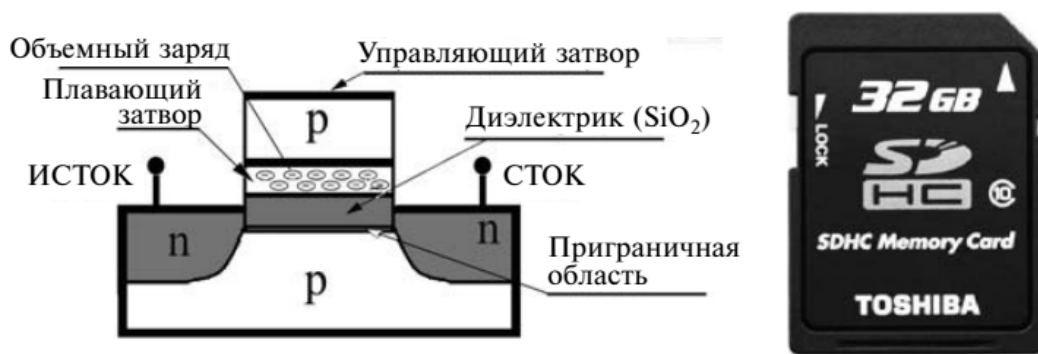


Рисунок 1 Конструкция (слева) ячейки флэш-RAM и ее внешний вид

ТПЗ представляет одну ячейку памяти флэшкарты.

Если в ячейке памяти флэшки записан логический «0», то в зоне «плавающего затвора» ТПЗ, представляющего эту ячейку в памяти флэшки, отсутствует отрицательный заряд, и при чтении из нее информации на затвор и сток транзистора подаются соответственно напряжения +5 В и +1 В (при заземленном истоке), в результате чего транзистор открывается, и между истоком и стоком протекает ток по приграничному каналу, откуда часть «дырок» вытеснена этим напряжением +5 В. Схема считывания интерпретирует открытое состояние ТПЗ как логический «0».

Если в ячейке записана логическая «1», то в зоне «плавающего затвора» присутствует отрицательный заряд, и хотя при чтении из нее информации на затвор и сток ТПЗ подаются те же напряжения, объемный отрицательный заряд не позволяет напряжению +5 В вытолкнуть из приграничной зоны дырки, в результате ТПЗ закрыт и схема считывания интерпретирует это состояние как логическая «1».

Если в ячейку записывается «1», то на сток ТПЗ подается напряжение +12 В, которого оказывается достаточным для того, чтобы электроны смогли преодолеть потенциальный

барьер диэлектрика и направиться (туннелировать) в область плавающего затвора, создавая там отрицательный заряд.

Наконец, если в ячейку записывается «0», то на исток подается напряжение +6 В, а на управляющий затвор –9 В, создающие условия для «туннельного перехода» электронов из области объемного заряда ТЗП в область истока.

Самостоятельно электроны не могут преодолеть потенциальный барьер диэлектрика, и поэтому все ячейки памяти могут сохранять свое состояние сколь угодно долго.

Виды Flash карт

CompactFlash

CompactFlash - торговая марка одного из первых форматов карт флеш-памяти. Формат разработан компанией SanDisk Corporation в 1994 году.

Несмотря на возраст, карты этого формата всё ещё популярны в фототехнике благодаря рекордным показателям скорости и ёмкости. В 2014 году максимальный объём накопителей с интерфейсом CompactFlash достиг 512 Гбайт.



Рисунок 2 [Lexar Professional 800x Compact Flash card](#)

Различают карты двух типоразмеров: CompactFlash Type I и Type II. Вариант карт Type II был создан исключительно для миниатюрных винчестеров Microdrive и на сегодня может считаться устаревшим.

Размеры карт CompactFlash Type I составляют 42 мм на 36 мм, толщина составляет 3,3 мм, CompactFlash Type II — 5 мм. Карты CompactFlash Type I могут вставляться в слоты обоих типоразмеров, CompactFlash Type II — только в слот для CompactFlash Type II.

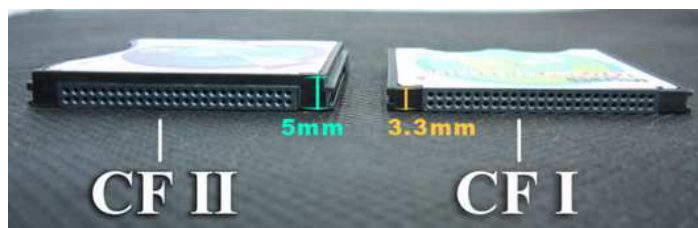


Рисунок 3 Различие между CompactFlash Type I и Type II

Интерфейс CompactFlash имеет 50-штырьковый разъём - это сокращённый набор сигнальных линий PCMCIA разъёма, имеющего 68 штырьков (как 16-битная PC Card с адресным ограничением 0x7FF). Карта памяти CompactFlash может быть установлена в разъём PCMCIA Type II с помощью пассивного адаптера. Так же, с помощью пассивного адаптера, возможно подключение CompactFlash к шине дисковых накопителей IDE (ATA)(разводка данных интерфейсов не полностью совпадает). Подключение к последовательным интерфейсам (USB , FireWire , SATA) возможно при использовании активного адаптера.

Некоторые мульти-картридеры используют интерфейс CompactFlash также и для ввода/вывода. Подобно CompactFlash некоторые новые типы карт, которые меньше ее размером, предусмотрены для использования их и в слоте карт CompactFlash через адаптер. Форматы, которые могут быть использованы таким образом, включают SD/MMC, Memory Stick Duo, xD-Picture Card в слоте Type I и SmartMedia в слоте Type II (по состоянию на 2005 год).

Скорость. CF — очень быстрая карта памяти, её скорость записи/чтения выше, чем у других форматов карт флеш-памяти , благодаря чему, например, в фототехнике с использованием CF можно снимать длинными сериями, не опасаясь переполнения буфера. Скорость карты, обычно, обозначают как «х» (знак умножения) и перед ним ставится число, означающее во сколько раз скорость чтения карты больше чем скорость 150 (кбайт/сек) (это минимальная и стандартная скорость чтения компакт-диска , при минимальной стандартной скорости вращения шпинделя механизма привода; эту скорость принято обозначать 1х).

Отсутствие DRM. CF — универсальная карта памяти, а не только для издательского контента.

Значительный размер. Сейчас CF — самые крупные карты памяти на массовом рынке.

Неудачная конструкция, при которой в ряде случаев (непроизвольный перекося, попытка вставить карту неверным образом, износ направляющих считывающего устройства и т. д.) возможен изгиб или выход из строя контактов считывающего устройства. Не предусмотрена четкая фиксация карты в считывающем устройстве, что, в совокупности с достаточно большим усилием установки и извлечения карты, вынуждает производителей совместимых устройств снабжать гнездо для карты дополнительными механическими приспособлениями, облегчающими эти процессы.

Secure Digital (SD)

Secure Digital Memory Card (SD) — формат карт памяти , разработанный для использования в основном в портативных устройствах. На сегодняшний день широко используется в цифровых фотоаппаратах , мобильных телефонах ,КПК , коммуникаторах и смартфонах ,электронных книгах , GPS-навигаторах и в некоторых игровых приставках .

Формат был разработан в 1999 году фирмами Panasonic , SanDisk и Toshiba на основе MMC-карты . В 2000 году на CES компаниями Matsushita , SanDiskи Toshiba было объявлено о создании SD Card Association .

Карта размером 24x32x2,1 мм снабжена собственным контроллером и специальной областью, способной, в отличие от MMC , записывать информацию таким образом, чтобы «незаконное» чтение информации было невозможно, в соответствии с требованиями «Secure Digital Music Initiative».Этот факт был отражён в названии стандарта («Secure Digital»). Для записи в защищённую область используется специальный протокол записи, недоступный для обычных пользователей. При этом карта также может быть защищена паролем, без которого доступ к записанной информации невозможен; восстановить работоспособность карты можно только её полным переформатированием с потерей записанной информации.

Карты формата Secure Digital снабжены механическим переключателем защиты от записи. В положении «lock» невозможны запись информации, и, соответственно, удаление файлов и форматирование карты, что позволяет избежать случайной потери информации. Однако следует учитывать, что собственно защита от записи осуществляется не самой картой, а устройством, использующим карту, и может оказаться в нём не реализованной, либо намеренно отсутствовать. Например, автозагрузка резидентной программы CHDK для фотоаппаратов Canon работает только когда карта защищена от записи.

В большинстве случаев SD можно заменить MMC-картой . Обратная замена обычно невозможна: SD толще и может просто не войти в слот для MMC.

Не все производители SD/miniSD/microSD карт заботятся о 100 % соответствии стандарту. Поэтому встречаются карты, которые отказываются работать в отдельных устройствах

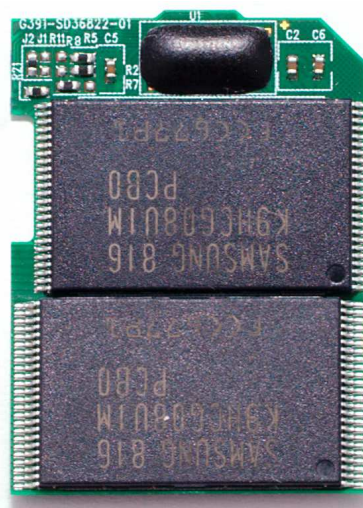


Рисунок 4 Устройство SD карты: U1 — контроллер, две большие микросхемы снизу — память. Контактные площадки расположены с обратной стороны платы

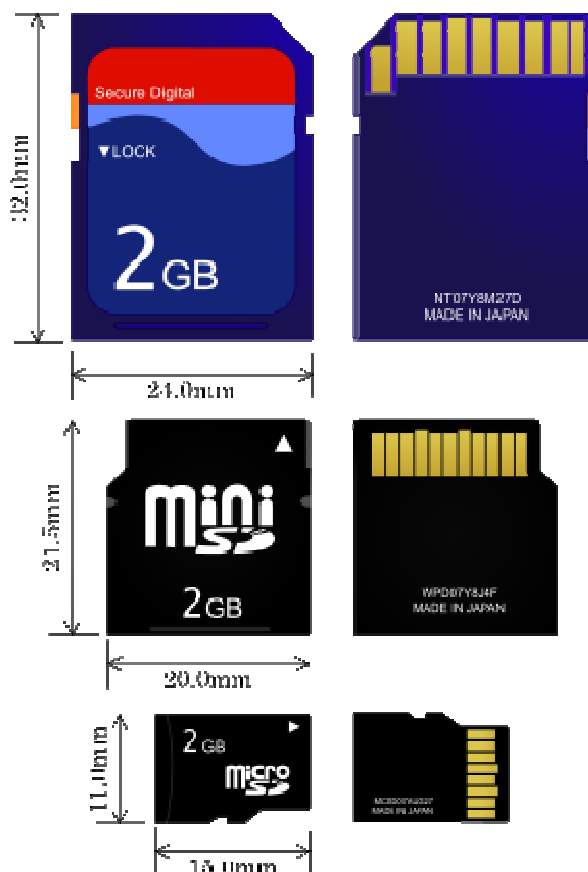


Рисунок 5 Сравнение размеров различных видов SD-карт: Обычные SD-карты, miniSD, microSD

Скорость обмена для всех карт типа SD

По мере того, как совершенствовались технологии, многие производители стали выпускать карты с повышенной скоростью записи. Чтобы обозначить скорость, на картах

памяти обычно указывается специальный множитель (подобно CD-ROM). 1x = 150 КБ /с.

Простейшие карты имеют скорость 6x (900 КБ /с), самые быстрые — 633x (95000 КБ /с).[1]

Подавляющее большинство производителей из коммерческих соображений присваивают «нечестные» множители. Фактически, если карта показывает такую скорость, то только в режиме чтения. Скорость записи обычно в два раза ниже.

Позднее SD Card Association ввела классификацию скоростных характеристик карт и устройств для работы с ними, так называемый SD Speed Class. Изначально было определено три класса, позже, в SD Card Specification Ver.3.0 был добавлен ещё один (Class 10):

SD Class 2 — (скорость записи не менее 2 МБ /с) — 13x

SD Class 4 — (скорость записи не менее 4 МБ /с) — 26x

SD Class 6 — (скорость записи не менее 6 МБ /с) — 40x

SD Class 10 — (скорость записи не менее 10 МБ /с) — 66x

SD Class 16 — (скорость записи не менее 16 МБ /с) — 106x

Для обычных карт скоростной класс обозначается числом внутри буквы C. Для карт стандарта UHS скоростной класс обозначается числом внутри буквы U. Для карт стандарта Video Speed Class числом справа от буквы V. Для карт стандарта Application Performance Class числом справа от буквы A.

Таблица 1 Скоростные классы

Минимальная скорость записи	Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class	Область применения
2 МБ/с	 Class 2	-	-	Запись видео стандартного разрешения (SD)
4 МБ/с	 Class 4	-	-	Запись видео высокой чёткости (HD), включая Full HD (от 720p до 1080p/1080i)
6 МБ/с	 Class 6	-	 Class 6	
10 МБ/с	 Class 10	 Class 1	 Class 10	Запись Full HD (1080p) видео и серийная съёмка в HD, потоковое вещание и файлы HD-видео большого объёма (шина UHS)
30 МБ/с	-	 Class 3	 Class 30	Запись видеофайлов с разрешением 4K с частотой 60/120 кадров в секунду (шина UHS)
60 МБ/с	-	-	 Class 60	Запись видеофайлов с разрешением 8K с частотой 60/120 кадров в секунду (шина UHS)
90 МБ/с	-	-	 Class 90	

Таблица 2 Скоростные классы для карт стандарта Application Performance Class

Application Performance Class	Минимальная установленная скорость записи	Случайное чтение, минимум	Случайная запись, минимум
A1 Class 1 (A1)	10 МБ/с	1500 IOPS	500 IOPS
A2 Class 2 (A2)		4000 IOPS	2000 IOPS

Для записи видеопотока в разрешении 1920×1080 при использовании алгоритмов компрессии скорость составляет — 24 Мбит/сек (3 Мбайт/сек), следовательно требуется карта класса не ниже 4. В то же время реальные тесты, например, для фотоаппарата Nikon D5100, показали, что скорость видео-потока в Full HD качестве может достигать 50Мбит/сек. Поэтому для современных фотокамер рекомендуется уже приобретать карты не ниже Class 6

SDHC

SDHC — Secure Digital High Capacity — сменная карта флеш-памяти , удовлетворяющая спецификации SDA 2.00, введённой SD Card Association (SDA) , объединяющей порядка 500 производителей карт флеш-памяти .SDHC стал развитием формата SD (Secure Digital), унаследовав большинство его характеристик.

Потенциальный максимальный объём карт SDHC увеличен до 32 GB . Как правило, для хранения информации на картах этого типа используют файловую систему FAT32 (для SD использовалась FAT 16/32).

Карты SDHC не совместимы с кардридерами и прочими устройствами, изначально рассчитанными только на SD-карты. А вот устройства, способные работать с SDHC-картами, поддерживают также и SD-карты.

SDXC

В 2009 г. на CES SD Association представила новый стандарт SDXC (eXtended Capacity), поддерживающий карты объёмом до 2 TB (2 199 023 255 552 байт).Компании Panasonic , Kingston и SanDisk представили SDXC карту объёмом 64 GB. Фирма Lexar представила карту на 256 GB [7].

Японская компания Toshiba объявила о выпуске SDXC карт памяти объёмом 64 ГБ, которые, со слов производителя, являются самыми быстрыми картами в мире и имеют максимальную скорость передачи данных 35 МБ/сек при записи и 60 МБ/сек — при чтении. В дополнение к SDXC карте Toshiba представила две новые модели SDHC карт памяти объёмом 16 и 32 ГБ с аналогичными скоростными показателями, как и у SDXC карты.

Карты памяти SDXC версии 3.01 (UHS-I) совместимы с SDHC-устройствами.

Окончательная же версия SDXC UHS-II, также называемая SD 4.0, поднимает теоретическую максимальную скорость передачи данных до 300МБ/сек, а ёмкость карт может быть выше 64ГБ. С SDHC-устройствами карты SDXC UHS-II совместимы не полностью. Устройства с поддержкой SDXC обеспечивают поддержку карт предшествующих стандартов — SD и SDHC.

SDXC-карты используют файловую систему exFAT, разработанную компанией Microsoft, и официально поддержка кардридеров и карт стандарта SDXC заявлена только для Windows Vista, Windows Server 2008 и Windows 7

Обновленный от 2011 MacBook Pro также имеет поддержку карт памяти SDXC, согласно официальной спецификации, и также все новые устройства от Apple с Mac OS X 10.6.5 или старше поддерживают карты SDXC при наличии физического слота в устройстве. Также SDXC поддерживает Android, но предварительно отформатировав флешку в ext2 и выше.

Спецификация UHS

UHS (Ultra High Speed) — новая спецификация, определяющая скорость ввода-вывода карт памяти и протокол обмена данными, немного отличающийся от стандартного. Спецификация требует обратной совместимости карт и контроллеров UHS с более ранними стандартами.

Стандарт UHS-I определён в техническом описании версии 3.01. Требование к скорости обмена данными по интерфейсу (не к скорости записи) — не ниже 50МБ/с (до 104МБ/с).

Стандарт UHS-II определён в техническом описании версии 4.00. Требование к скорости обмена — не ниже 156МБ/с (до 312МБ/с). Карты этого стандарта содержат два ряда контактов — 17 для обычной карты и 16 для microSD. Стандарт UHS-II, по состоянию на первый квартал 2012 года, описан только теоретически. Продукции с применением данной технологии нет.

Для скоростных характеристик карт стандарта UHS изначально определён только один класс, примерно соответствующий классу 10 для обычного стандарта.

Для обычных карт скоростной класс обозначается числом внутри буквы C. Для карт стандарта UHS скоростной класс обозначается числом внутри буквы U.

Файловые системы

Стандартной для карт SD, SDHC и SDXC является файловая система FAT (до 2 ГБ включительно — FAT16, до 32 ГБ включительно — FAT32, более 32 ГБ — exFAT); многие

производители поставляют их предварительно отформатированными. Однако, как и любое запоминающее устройство с произвольным доступом, карты Secure Digital при помощи соответствующего программного обеспечения можно отформатировать любым желаемым способом — например, аналогично жёсткому диску с использованием таблицы разделов.

Следует учитывать, что поддержка той или иной файловой системы зависит от микропрограммы использующего карту устройства; так, некоторые устройства поддерживают исключительно FAT16, вследствие чего имеют ограничение на максимальный объём используемой карты — 2 Гб.

MicroSD и MiniSD

Для миниатюрных приборов разработаны miniSD размером 20x21,5x1,4 мм и самая маленькая из всех карт — MicroSD (ранее известная как TransFlash) размером 11x15x1 мм. Карты MiniSD и MicroSD имеют переходники (адаптеры), при помощи которых их можно вставлять в любой слот для обычной SD-карты. В некоторые кардридеры miniSD и microSD могут быть вставлены без адаптера

Система передачи

Карты могут поддерживать различные сочетания следующих типов шин и режимов передачи. Режим шины SPI и одноканальный режим шин SD является обязательным для всех типов карт. Нумерация выводов для всех размеров карт SD и хост-устройств является одинаковой.

Режим шины SPI: Serial Peripheral Interface в основном используется в микроконтроллерах. Этот тип шины поддерживает только 3,3-вольтовый интерфейс. Это единственный тип шины, которые не требуют лицензии на хост.

Одноканальный режим шины SD: Отдельная шина для команды и каналов передачи данных.

Четырёхканальный режим шины SD: Использует дополнительные контакты, переназначены некоторые контакты. Для карт UHS-I и UHS-II требуется именно этот режим.

Физический интерфейс включает в себя 9 контактов, за исключением того, что для карт miniSD добавлено два несвязанных контакта в центре и microSD карты не использует один из двух Общих контактов.

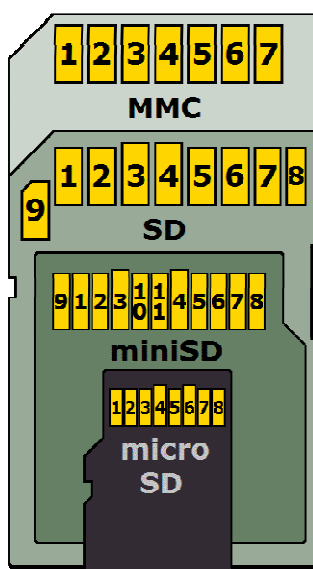


Рисунок 6 Нумерация контактов для карт (сверху вниз): MMC, SD, miniSD, microSD. Заметна эволюция от наиболее старого формата MMC, на базе которого был создан SD

xD-Picture Card

Фотография карты

xD-Picture Card — формат флеш-карт памяти . Представлена в июле 2002 года компаниями Olympus и Fujifilm . Используется преимущественно с их цифровыми фотоаппаратами .



Рисунок 7 Фотография карты

Карты отличает отсутствие контроллера памяти. Выводы единственной микросхемы NAND Flash подключены непосредственно к контактам карточки.

Основное отличие карт xD от большинства других — отсутствие контроллера на самой карте. По этой причине карты xD имеют относительно небольшой размер и невысокие скоростные показатели.

SmartMedia



Рисунок 8 Карта SmartMedia, объёмом 128 МБ

SmartMedia — торговая марка одной из первых флеш-карт памяти, созданная корпорацией Toshiba и выпущенная на рынок в 1995 году — чтобы составить конкуренцию таким форматам, как MiniCard, CompactFlash, и PC Card. Изначально, SmartMedia называлась Solid State Floppy Disk Card (SSFDC) и провозглашалась наследником дискет. Консорциум из 37 компаний объявили о поддержке формата карты и разработали промышленный стандарт на неё.

Карта состоит из одной микросхемы NAND Flash, выводы которой прямо подключены к контактам карты, внутри тонкого пластикового корпуса, хотя некоторые карты большого объёма состоят из нескольких связанных чипов.

В карте отсутствует контроллер памяти — ради снижения цены. Эта особенность впоследствии стала главным недостатком, потому что терялась совместимость по мере технологического прогресса (некоторые старые устройства нужно было перепрошивать для поддержки карт большего объёма) и возникало ограничение на максимальный объём в 128 МБ. Кроме того, обилие контактов снижало надёжность. SmartMedia была одной из самых маленьких и тонких (0,76 мм) среди первых карт памяти, и при этом оставалась одной из дешёвых.

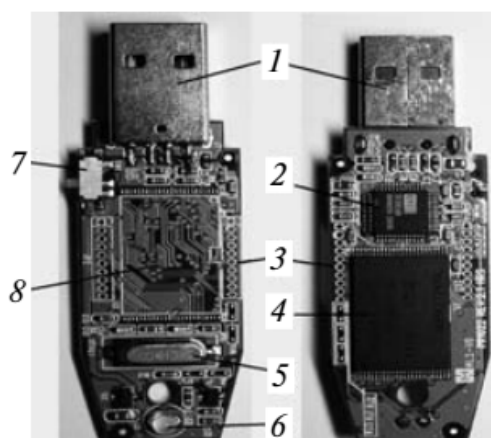
Карты SmartMedia объёмом больше 128 МБ никогда не выпускались, а некоторые устройства не поддерживали карты объёмом более 32 МБ. Были, однако, слухи о подготовке карты объёмом 256 МБ. На эту карту были выпущены технические спецификации, а некоторые компании её даже рекламировали.

Есть две версии карт SmartMedia — 5 V и 3.3 V (иногда обозначается 3 V), названные по рабочему напряжению. Корпус у них практически идентичен. Единственное различие — положение «срезанного» уголка.

Сегодня карты этого формата и совместимые с ними устройства не выпускаются.

USB Flash Drive

USB Flash Drive, или флэшка (флеш-драйв) – запоминающее устройство, использующее в качестве носителя флэш-память и подключаемое к компьютеру или иному считывающему устройству по интерфейсу USB. Основное назначение USB-накопителей – хранение, перенос и обмен данными, резервное копирование, загрузка операционных систем (LiveUSB) и др. На рисунке показаны внешний вид и следующие функциональные узлы типичной флэшки.



- 1 – USB-разъем для подключения к ПК;
- 2 – микроконтроллер;
- 3 – контрольные точки;
- 4 – ИМС флэш-памяти;
- 5 – кварцевый резонатор;
- 6 – светодиод;
- 7 – переключатель «защита от записи»;
- 8 – место для дополнительной ИМС памяти

Рисунок 9 Рисунок 2 Внешний вид (слева) и основные функциональные узлы флэшки

На большинстве флешек используется файловая система FAT32, или exFAT. Для флешек емкостью свыше 64 Гб – файловая система NTFS.

В Linux доступно несколько таких файловых систем.

Журналируемая файловая система для флэш-носителей (Journaling Flash File System, JFFS) является одной из первых систем для флэш в Linux. JFFS, в основе структуры которой лежит журнал, предназначалась для NOR-устройств. Система на тот момент являлась уникальной и разрешала множество проблем флэш-носителей, но имела один существенный недостаток.

JFFS оперирует флэш-памятью на основе циклического журнала блоков. Данные на запись пишутся в блоки из хвоста журнала, а головные блоки готовятся для повторного использования. Диапазон между хвостом и головой журнала означает свободное место. Когда его становится слишком мало, в дело вступает сборщик мусора, который находит среди устаревших и дефектных блоков блоки с актуальными данными, перемещает их в хвост, а затем освободившееся место стирает. В результате такого подхода происходит как статическая, так и динамическая оптимизация износа. Проблема данного метода состоит в том, что отсутствует эффективная стратегия стирания -- флэш-память слишком часто подвергается стиранию. Поэтому износ устройства происходит слишком быстро.

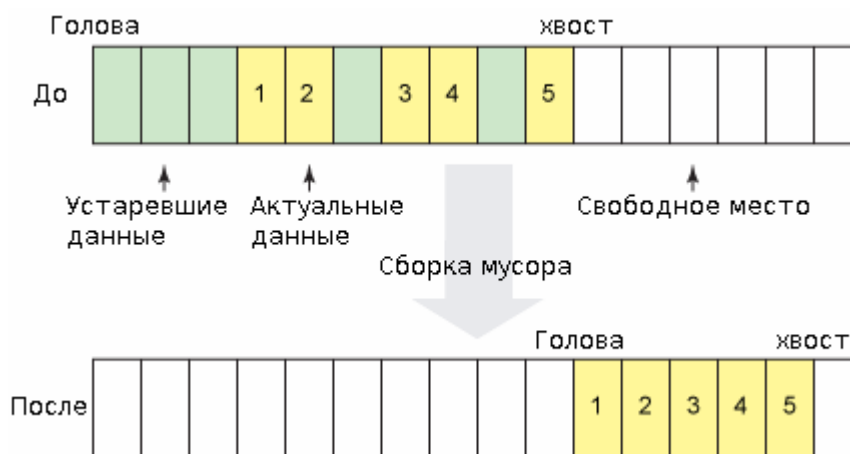


Рисунок 10 Циклический журнал до и после срабатывания сборщика мусора

Во время монтирования структура и расположение блоков считываются в память, поэтому монтирование JFFS-раздела происходит медленно; также можно заметить, что при этом потребляется довольно много оперативной памяти.

Вторая журналируемая файловая система для флэш-носителей (JFFS2, Journaling Flash File System 2)

Снижая срок службы NOR-носителей из-за своего алгоритма оптимизации износа, система JFFS тем не менее довольно широко применялась. В результате было решено переработать ее алгоритм и отказаться от циклического журнала. Так появилась JFFS2, ориентированная на NAND-память. Эта система демонстрирует более высокую скорость работы и имеет функцию сжатия.

JFFS2 рассматривает каждый блок флэш-памяти независимо от других. Для эффективной оптимизации износа ведутся специальные списки. Список чистых блоков соответствует блокам, которые содержат только пакеты с актуальными данными. Список грязных блоков содержит блоки, каждый из которых имеет хотя бы один пакет с устаревшими данными. Список свободных блоков хранит сведения о блоках, которые были стерты и уже готовы к использованию.

В этих условиях алгоритм сборки мусора может в зависимости от ситуации эффективно принимать решение о том, какие блоки готовить к повторному использованию. В текущих реализациях алгоритм выбирает их из списков либо чистых, либо грязных блоков на основе заданной вероятности. В 99% случаев используется список грязных блоков (при этом актуальные данные переносятся в другой блок). В 1% случаев берется список чистых блоков (при этом все содержимое просто переносится в новый блок). В любом случае целевой блок стирается и заносится в список свободных блоков. Все это позволяет сборщику мусора повторно использовать блоки с неактуальными данными (или частично неактуальными), в то время как данные все равно "проходят" всю память, что и дает статическую оптимизацию износа.

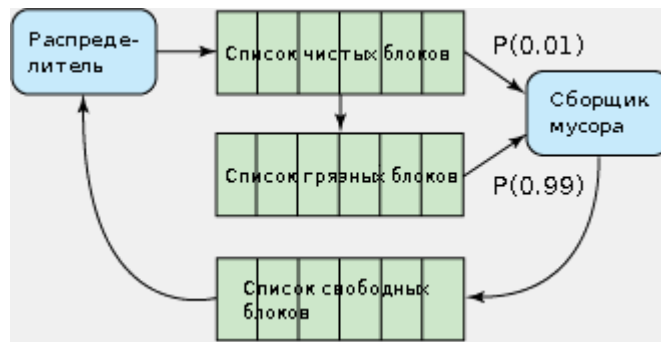


Рисунок 11 Управление блоками и сборка мусора в JFFS2

Альтернативная файловая система для флэш-носителей (YAFFS, Yet Another Flash File System)

YAFFS была разработана для флэш-памяти NAND-типа. Первая реализация системы поддерживает устройства, имеющие размер страницы 512 байт, а более новая -- современные носители с большим размером страницы и более серьезными ограничениями записи.

В большинстве файловых систем для флэш-памяти блоки с неактуальной информацией просто помечаются как таковые. Однако в YAFFS2 эти блоки дополнительно маркируются числами возрастающей арифметической прогрессии. Во время монтирования происходит сканирование файловой системы, при котором пакеты с актуальными данными легко идентифицируются. Расположение блоков хранится в виде деревьев в оперативной памяти, что позволяет значительно ускорить монтирование за счет снимков. Снимок подразумевает сохранение этих деревьев во флэш-память при размонтировании. Тогда при последующем монтировании эти структуры быстро считываются и восстанавливаются в памяти. Быстрое монтирование -- одно из главных преимуществ YAFFS2 перед аналогами.

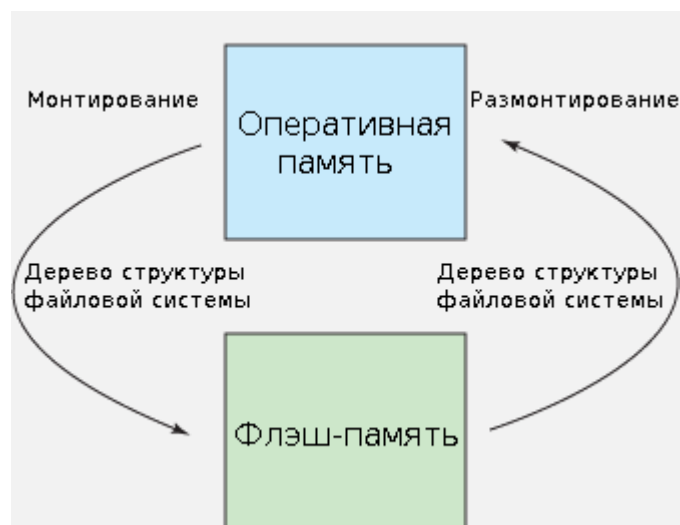


Рисунок 12 Сокращение времени монтирования в YAFFS2 за счет снимков

Сжатые файловые системы только для чтения

Иногда во встраиваемых системах нет нужды модифицировать данные файловой системы, так как достаточно только чтения. Для этих случаев в Linux предусмотрено несколько файловых систем только для чтения, среди которых наиболее популярные -- это cramfs и SquashFS.

Cramfs является файловой системой только для чтения, которая хранит данные в сжатом виде и хорошо подходит для флэш-носителей. Основные ее черты -- простота и компактность, поэтому она незаменима в небольших маломощных устройствах.

В cramfs метаданные хранятся в несжатом виде, а сами данные организованы в виде страниц, каждая из которых сжимается по алгоритму zlib, что дает возможность произвольного доступа к страницам.

Для флэш-носителей в Linux также применяется SquashFS -- еще одна сжатая файловая система только для чтения. Часто ее можно встретить на многих LiveCD-дистрибутивах Linux. В SquashFS используется как сжатие zlib, так и более быстрый и эффективный алгоритм LZMA (от англ. Lempel-Ziv-Markov chain Algorithm).

Список источников

1. CompactFlash [Электронный ресурс] - Url:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/CompactFlash>
2. Secure Digital [Электронный ресурс] - Url:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital
3. Зверева В. П. Технические средства информатизации: Учебник / Зверева В.П., Назаров А.В. - М.:КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 256 с.: 60х90 1/16. - (Среднее профессиональное образование) (Переплёт 7БЦ) ISBN 978-5-906818-88-1
4. М. Тим Джонс. Анатомия файловых систем Linux для флэш-носителей [Электронный ресурс] - Url: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/l-flash-file systems/>