

Организация и эволюция памяти

Д. В. Луцив

Кафедра системного программирования СПбГУ



CS220 (231000)

Содержание

- 1 ОЗУ
 - Конструкция
 - Исполнение
 - Способы качественной оптимизации
 - Контроль ошибок (на экзамен не выносится)
- 2 Энергонезависимая память
 - Среда
 - Магнитные диски
 - RAID
 - Подробно об оптических носителях

Основное

- Бинарная арифметика из-за элементной базы
 - Бинарная ёмче двоично-десятичной
- Единственная память, доступная из команд ЦП
- Почти произвольный доступ
- Ячейки — байты, обычно 8 битов
- Адресуются логически по байтам, физически по словам, равным размером ширине шины данных (от этого Alignment структур: возможны ситуации, когда чтение из памяти, например, 16-ти битов вдвое медленнее, чем 32-х, а запись медленнее вчетверо)
- Big endian (от старшего к младшему) или Little endian (от младшего к старшему) Middle endian (для чисел длиннее слова)
 - У Little endian (PC) — преимущество — можно прочитать младшие разряды, как более короткое число

SRAM/DRAM

RAM — random access memory

SRAM

Статическая память.

Самостоятельно хранит информацию, требуя только питания.

DRAM

Динамическая память.

Требует периодического выполнения операции обновления. На старых архитектурах при помощи ЦП.

- Встроенная память, позже — с разъёмами расширения
- SIMM (single in-line memory module) — первый универсальный модуль
 - SIPP/SIMM 30 — 8 битов данных
 - SIMM 72 — 32 бита данных
 - SIMM 72 **EDO** — память получает адрес следующего слова во время обращения на чтение к предыдущему — первый шаг к конвейеру. Чтение почти вдвое быстрее.
- DIMM (dual in-line memory module — разные контакты для каждой стороны) (SDRAM) — конвейерная память. «S»DRAM не от «C»татической, а от синхронной. «Синхронная» — из-за конвейера. Samsung, 1993 г.
 - DIMM — 64 бита данных; на многие системные платы Pentium I вместо одного 64-битного DIMM можно было поставить два 32-битных SIMM, потеряв в скорости
 - DDR — обмен данными по фронту и спаду тактовых импульсов
 - DDR-II — то же самое, но на более новых микросхемах с большей скоростью и меньшим энергопотреблением
 - DDR-III — 4 порции данных за полный тактовый цикл

- Повышение разрядности и/или параллельное подключение модулей меньшей разрядности
- Конвейер
- Попеременная работа с модулями памяти со сдвигом по фазе — иммитация конвейера «снаружи» от модулей памяти

Коды обнаружения

- Сумма всех битов по модулю 2
- CRC и другие легко аппаратно реализуемые контрольные суммы

Коды коррекции

- Обнаруживают ошибки в N битах
- Исправляют в $M \leq N$ битах

Пример — код Хэмминга, обнаруживает не более 2 и исправляет не более 1 ошибки. [▶ Код Хемминга в Википедии](#)

Обоснование кода Хемминга для исправления 1 ошибки

Теория

- 1 $D_0 = \{2^n | n \in [1, 16)\}$, $f_0(x) = \log_2 x$, $f_0 : D_0 \leftrightarrow R_0$,
 $R_0 = \{f_0(x) | x \in D_0\}$
- 2 Вводятся бинарные (групповые) операции \oplus_D, \oplus_R
 - 1 D — замыкание D_0 относительно \oplus_D
 - 2 $f : D \rightarrow R (R = R_0)$, $f(x) = f_0(x) \forall x \in D_0$ — расширение f_0
 - 3 f строится, как гомоморфизм: $f(x_1 \oplus_D x_2) = f(x_1) \oplus_R f(x_2)$

Практика

Послали: $x_1; f(x_1)$

Пришло: $x'_1 = x_1 \oplus x', x' \in D_0; f_{x_1} = f(x_1)$, причём x' мы не знаем.

Тогда $s = f_{x_1} \oplus f(x'_1) = f(x_1) \oplus f(x_1) \oplus f(x') = f(x')$.

Но $x' = f^{-1}(s)$ — нашли ошибочный бит.

Обоснование кода Хемминга для исправления 1 ошибки

Теория

- 1 $D_0 = \{2^n | n \in [1, 16)\}$, $f_0(x) = \log_2 x$, $f_0 : D_0 \leftrightarrow R_0$,
 $R_0 = \{f_0(x) | x \in D_0\}$
- 2 Вводятся бинарные (групповые) операции \oplus_D, \oplus_R
 - 1 D — замыкание D_0 относительно \oplus_D
 - 2 $f : D \rightarrow R (R = R_0)$, $f(x) = f_0(x) \forall x \in D_0$ — расширение f_0
 - 3 f строится, как гомоморфизм: $f(x_1 \oplus_D x_2) = f(x_1) \oplus_R f(x_2)$

Практика

Послали: $x_1; f(x_1)$

Пришло: $x'_1 = x_1 \oplus x', x' \in D_0; f_{x_1} = f(x_1)$, причём x' мы не знаем.

Тогда $s = f_{x_1} \oplus f(x'_1) = f(x_1) \oplus f(x_1) \oplus f(x') = f(x')$.

Но $x' = f^{-1}(s)$ — нашли ошибочный бит.

Обоснование кода Хемминга для обнаружения 2 ошибок

Практика

Послали: $x_1; f(x_1)$

Пришло: $x'_1 = x_1 \oplus x'_a \oplus x'_b, x'_a, x'_b \in D_0; f_{x_1} = f(x_1)$, причём x'_a, x'_b мы не знаем.

Но $\forall x'_a \neq x'_b$ справедливо $f(x'_a \oplus x'_b) \neq 0$,

а значит $f(x_1 \oplus x'_a \oplus x'_b) \neq f(x_1)$,

т.е. ошибка будет обнаружена, хотя сами x'_a, x'_b мы так и не узнаем.

Важно

Мы не сможем узнать, была ли ошибка одна и она была успешно исправлена, или же их было две (или даже больше), и они были исправлены неправильно.

Если ошибок было больше двух, мы вообще можем о них не узнать.

Обоснование кода Хемминга для обнаружения 2 ошибок

Практика

Послали: $x_1; f(x_1)$

Пришло: $x'_1 = x_1 \oplus x'_a \oplus x'_b, x'_a, x'_b \in D_0; f_{x_1} = f(x_1)$, причём x'_a, x'_b мы не знаем.

Но $\forall x'_a \neq x'_b$ справедливо $f(x'_a \oplus x'_b) \neq 0$,

а значит $f(x_1 \oplus x'_a \oplus x'_b) \neq f(x_1)$,

т.е. ошибка будет обнаружена, хотя сами x'_a, x'_b мы так и не узнаем.

Важно

Мы не сможем узнать, была ли ошибка одна и она была успешно исправлена, или же их было две (или даже больше), и они были исправлены неправильно.

Если ошибок было больше двух, мы вообще можем о них не узнать.

Бумага

- Конспект
- Перфокарта
- Перфолента

Магнитные устройства

- Лента
 - Долго мотать до оглавления
 - Перегибания
 - Довольно высокая скорость
- Барабан
 - Большой и объемный, сейчас не используется
- Диски

Магнитные устройства: Диски (I)

- Сменные быстрые пакеты
 - Пришли на смену барабанам
 - Экранолетные головки (▶ IBM 3340)
- ГМД
 - Почти 40 лет (1971 – 2010(?))
 - От 80 килобайт (и 8 дюймов) до 2.88 МиБ (3.5 дюйма)
- Магнитно-оптические носители
 - Нагрев до точки Кюри + размазанное магнитное поле. По 100 МиБ. Лазер легко сфокусировать.
 - Разрабатывается для винчестеров

Магнитные устройства: Диски (II)

- ЖМД
 - Жесткий — твердый и несменный
 - Быстрые и плотные
 - Многократная перезапись, экранолетные головки
 - Пример сменных — ZIPdrive — не слишком удачный
 - История
 - Первый — 1956 г., IBM, 1 тонна, 5 мегабайт.
 - 1980 — 5,25 Winchester, Shugart ST-506, 5 МиБ
 - 2006 — перпендикулярная запись
 - 2006 — гибридные — диск + несколько ГиБ Flash — во Flash — КЭШ write-back, мотор стоит, ноутбук работает дольше.
Промышленный образец — Seagate Momentus XT — 2010.

Оптические носители

- CD
- DVD
- Blue Ray / HD DVD

Характеристики ЖМД (I)

- Поверхности
 - Количество пластин
 - Стороны пластин
 - Вектор записи
- Пакет головок
 - Количество
 - Диапазоны
 - Шаговый/непрерывный
- Съёмность пластин (относительна)

Характеристики ЖМД (II)

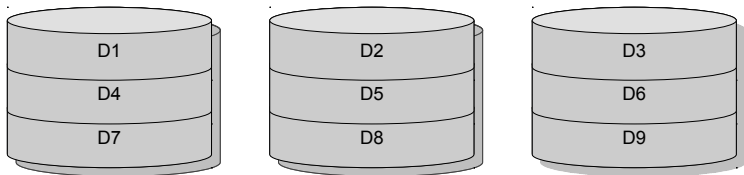
- Тип головки
 - Контактный
 - С фиксированным зазором
 - Аэродинамический
- Сектора на дорожках
 - Одинаковое число
 - Переменное число (возрастают плотность и скорость)
- Частота — 3600, 5400, 7200, 10000 (парадоксально, 10000 не делится на 3)
- Время полного — последовательного — случайного позиционирования
- Плотность записи (емкость/площадь)

Адресация

- Старый CHS до 8 ГиБ — хватало лет 15, и ещё лет на 5 для загрузчиков ОС
 - Cylinder 2^{10}
 - Head 2^4
 - Sector 2^6
- ATA до 128 ГиБ — хватало лет 8
- LBA — последовательная нумерация
 - ОС в обход BIOS
 - Умный BIOS, но ОС все равно в обход, чтобы быстрее :)
 - Требует знания геометрии НЖМД для оптимизации кэша

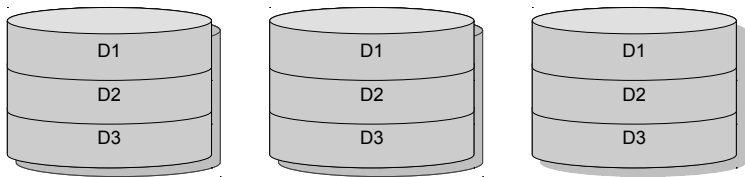
Redundant Array of Inexpensive Disks

RAID 0



- N устройств
- Сектора адресуются последовательно на разных винчестерах
- Избыточности нет
- Скорость чтения/записи и емкость растут в N раз
- Надежность падает

RAID 1



- M устройств
- «Зеркальные» винчестеры
- Есть избыточность
- Надежность растет
- Скорость чтения растет в M раз, скорость записи старая

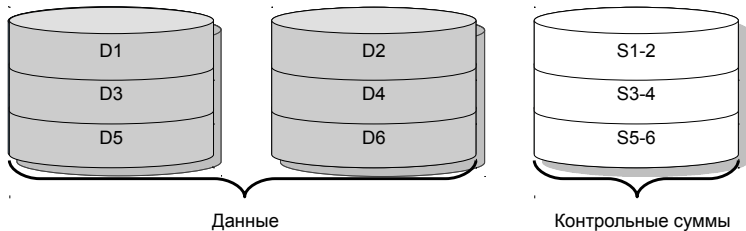
RAID 0+1

- $N \times M$ устройств
- Комбинирует 0 и 1 (0 поверх 1 или 1 поверх 0 — коммутируют)
- Надежность в целом растет
- Скорость чтения растет в $N \times M$ раз, записи — в N раз, емкость в N
- Избыточность есть

RAID 0+1

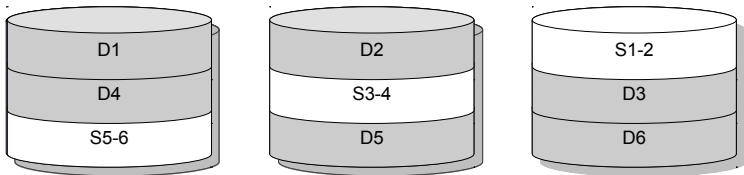
- $N \times M$ устройств
- Комбинирует 0 и 1 (0 поверх 1 или 1 поверх 0 — коммутируют)
- Надежность в целом растет
- Скорость чтения растет в $N \times M$ раз, записи — в N раз, емкость в N
- Избыточность есть

RAID 2, 3 и 4



- 2 — Данные разбиваются по битам (8 накопителей) + еще несколько на корректирующие коды. Сейчас не выпускаются
- 3,4 — Примерно как RAID 2, только блоки больше

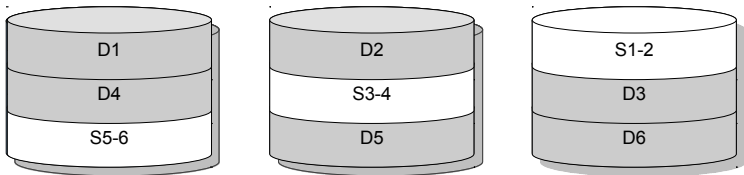
RAID 5



- Контрольная информация поочередно появляется на разных винчестерах
- При выходе из строя одного диска сильно нагружаются — восстанавливаются данные

Для иллюстрации выше приемлемо, например $S(i..j) = \bigoplus_{k=i}^j D(k)$

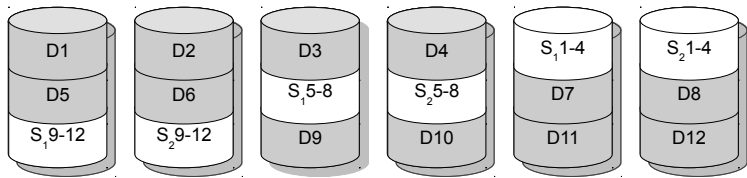
RAID 5



- Контрольная информация поочередно появляется на разных винчестерах
- При выходе из строя одного диска сильно нагружаются — восстанавливаются данные

Для иллюстрации выше приемлемо, например $S(i..j) = \bigoplus_{k=i}^j D(k)$

RAID 6



Допускает выход из строя 2-х

CD

- 1979 год
- Дорожка по спирали
- Одна скорость — около 150 КиБ/сек
- Впадины по 0.8 микрона
- Постоянная линейная скорость

RW — пузырьками в пластике

DVD

- Одна скорость — около 1350 КиБ/сек
- Впадины по 0.4 микрона (частота луча, больше, теорема Котельникова)
- Многослойные
- Коды регионов

Blu Ray и HD DVD

- Blu
 - Четырехслойные до 100 ГиБ
- HD
 - Трехслойные до 45 ГиБ

Замечания

- На всем, что крутится быстрее, чем читается — Interleave
- При старте винчестер и 12-вольтовые кулеры сажают 12 вольт — дешевый блок питания вытягивает 12 и перебирает на 5 — горят микросхемы
- Из быстрых пакетов и пластмассовых стаканов от салфеток делали ТВ-антенны для низа второго метрового диапазона
- Из пластин НЖМД получают стильные циферблаты
- При помощи НЖМД, как и многих других механических устройств, можно воспроизводить мелодии
- При наличии холодильника * * (-12) можно было чинить дискеты DD, при наличии * * * (-18) — HD
- «Дятел» впервые появился на винчестерах IBM DTLA
- Floppy RAID

Вопросы



▶ EDU.DLUCIV.NAME