



# Architektura komputerów

## Wykład 9

Jan Kazimirski



# Pamięć operacyjna



# Pamięć półprzewodnikowa RAM

- Złożona z dwustanowych komórek (wartości 0 i 1)
- Możliwość odczytu i zapisu
- Ulotna (zawartość znika po odcięciu zasilania)
- Zastosowanie – tymczasowe przechowywanie informacji
- Technologie realizacji: dynamiczna (DRAM) i statyczna (SRAM)



# Dynamiczna pamięć RAM

- Bity reprezentowane jako ładunki kondensatorów
- Wymaga częstego odświeżania (rozładowywanie kondensatorów)
- Prosta budowa, niewielki koszt, lepsze upakowanie (większe pojemności)
- Wolniejsza niż pamięć statyczna
- Wykorzystywana w pamięciach operacyjnych (głównych)



## Statyczna pamięć RAM

- Budowana z elementów logicznych (bramki)
- Nie wymaga odświeżania
- Szybsza niż pamięć dynamiczna
- Gorsze upakowanie, większy koszt pamięci
- Wykorzystywana jako pamięć podręczna



## Pamięć ROM

- Pamięć „tylko do odczytu” (Read Only Memory)
- Zawartość nie znika po wyłączeniu zasilania
- Zastosowania:
  - Mikrokod
  - Oprogramowanie systemowe (BIOS)
  - Biblioteki
  - Tablice wartości funkcji, stałych itp.



## Typy pamięci ROM

- Zapisywalne w procesie produkcji
- Jednokrotnie programowalne (PROM)
- Wymazywalne (EPROM)
  - Wymazywalne za pomocą UV
  - Elektrycznie wymazywalne (EEPROM)
  - Pamięci flash
    - Duże upakowanie
    - Szybki odczyt i zapis (szybszy niż klasyczne).



## Organizacja pamięci

- Możliwa organizacja pamięci 16-Mbit
  - 1M 16-bitowych komórek
  - 16 układów po 1-Mbit
  - Tablica 2046 x 2048 x 4 bity
    - Multipleksowane przesyłanie numeru wiersza i kolumny
    - Tylko 11 linii adresowych
    - Dodanie 1 linii adresu – 4-krotnie większa pojemność





## Wykorzystanie przeplotu

- Architektura **dual-channel**
  - Dwa identyczne moduły pamięci
  - Kontroler wykorzystuje oba moduły jednocześnie
- Architektura **triple-channel**
  - Trzy identyczne moduły pamięci
- Przeplot zwiększa teoretyczną wydajność pamięci



## Błędy pamięci

- Rodzaje błędów:
  - Błędy trwałe (hard failure) – uszkodzenie sprzętu
  - Przekłamanie (soft errors) – problemy z zasilaniem, wpływ cząstek alfa
- Pamięć ECC – układy detekcji i korekcji błędów
  - Wykrycie i naprawa pewnych rodzajów błędów
  - Wymaga dodatkowych bitów do przechowywania informacji kontrolnej
  - Przykład - SEC-DED



## Pamięć SDRAM

- Klasyczna pamięć DRAM
  - Pamięć asynchroniczna – procesor zgłasza żądanie i czeka na rezultat
- Synchroniczna pamięć DRAM (SDRAM)
  - Synchronizowana sygnałami zegarowymi
  - Procesor zgłasza żądanie – będzie ono obsłużone za określoną liczbę cykli
  - Obsługa przestań blokowych



## Pamięć RDRAM

- RAMBUS – architektura używana przez firmę Intel (Pentium, Itanium)
- Konkurencyjna wobec SDRAM
- Inne złącze
- Możliwość przyłączenia do 320 kości pamięci, transfer 1.6 Gbps



## Cache DRAM

- Zintegrowana w kości niewielka ilość pamięci statycznej.
  - Jako pamięć podręczna
    - Pełna funkcjonalność pamięci podręcznej
    - Zwiększa wydajność operacji swobodnego dostępu
  - Bufor podręczny
    - Czytanie z wyprzedzeniem
    - Zwiększa wydajność operacji blokowych (burst)



## Pamięci DDR i QDR

- Klasyczna pamięć SDRAM – jedno przesłanie na cykl zegarowy
- **DDR** – double-data-rate – transmisje sygnału na rosnącym i malejącym zboczu sygnału (dwie transmisje na cykl zegarowy)
- **DDR2, DDR3** – zwiększanie przepustowości poprzez zmianę schematu taktowania
- **QDR** – cztery transmisje na cykl zegara



# Parametry wydajnościowe pamięci

- Przepustowość
  - Określa ile danych można przesłać z/do pamięci w jednostce czasu
  - Istotne przy przesłaniach blokowych, sekwencyjnym dostępie do pamięci
- Opóźnienia
  - Określają czas dostępu do danych
  - Istotne przy dostępie swobodnym



## Przepustowość

- Zależna od:
  - Częstotliwości taktowania szyny
  - Szerokość szyny (standardowe moduły pamięci – 64 bity)
  - Liczba kanałów
  - Liczba przesłań na cykl





## Opóźnienia pamięci

- Parametry czasowe pamięci:
  - CAS (tCL) – opóźnienie pomiędzy dostępem do kolejnych kolumn w wierszu
  - tRCD – opóźnienie wynikające z konieczności aktywacji wiersza
  - tRP – opóźnienie w czasie deaktywacji wiersza
  - tRAS – opóźnienie między wybraniem wiersza a jego deaktywacją



# Pamięć zewnątrzna



# Pamięć zewnętrzna - technologie

- Dyski magnetyczne
  - Technologia RAID
- Dyski optyczne (CD, DVD, Blue-Ray)
- Taśmy magnetyczne
- Inne
  - SSD
  - Nowe technologie



## Dyski magnetyczne

- Jeden lub więcej wirujących talerzy pokrytych nośnikiem magnetycznym
- Głowice – odczytująca i zapisująca
- Zapis magnetyczny
- Na każdym talerzu koncentryczne ścieżki
- Ścieżki podzielone na sektory



## Dyski magnetyczne c.d.

- Technologia CAV
  - Stała szybkość kątowna
  - Zmienna gęstość danych na ścieżkach (większe odstępy na zewnętrznych ścieżkach)
  - Łatwiejszy dostęp, utrata pojemności
- Stosowanie stref o stałej liczbie bitów na ścieżkę
  - Bardziej skomplikowany dostęp
  - Efektywniejsze wykorzystanie dysku



# Charakterystyka fizyczna

- Umocowanie głowicy
  - Nieruchoma głowica – jedna głowica na ścieżkę
  - Ruchoma głowica – jedna głowica na talerz lub stronę
- Liczba talerzy, zapis jedno- lub dwustronny
  - Talerze ustawione jeden nad drugim
  - Osobna głowica dla każdego talerza (lub strony)
  - Połączone głowice – „stripping” danych



## Charakterystyka fizyczna c.d.

- Pojemność
  - Ilość danych mieszczących się na dysku
  - Typowe rozmiary: 100 GB - 2TB
  - Różne metody liczenia (marketing)
  - Na końcową pojemność mają również wpływ inne czynniki (np. Rodzaj systemu plików)
- Rozmiar obudowy
  - 3.5 cala – komputery stacjonarne
  - 2.5 cala – laptopy



# Charakterystyka fizyczna c.d.

- Pobór energii
  - Tendencja do ograniczania poboru mocy – problemy z odprowadzaniem ciepła
  - Różne techniki: zmiana szybkości wirowania talerzy, tryby uśpienia itp.
- Poziom hałas
  - Ograniczanie hałasu poprzez stosowanie specjalnych technologii, zmniejszanie szybkości obrotowej dysku, szybkości głowic itp.





## Charakterystyka fizyczna c.d.

- MTBF - Mean time between failures
  - Szacunkowa żywotność dysku
  - UWAGA! Nie jest to „czas życia”!
  - Wartości MTBF dla dysków:
    - Standardowe dyski SATA – MTBF ok. 600 000 godzin, niektóre modele (WD Raptor) – 1.2 mln godzin
    - Dyski SCSI – MTBF pow 1.5 mln godzin



# Parametry wydajnościowe

- Szybkość transferu danych
- Szybkość obrotowa
- Opóźnienia
- Pamięć podręczna dysku



## Szybkość transferu danych

- Typowy dysk SATA (7200 rpm) – transfer ok. 70 MB/s.
- Na szybkość transferu wpływ ma szybkość wirowania talerzy i położenie danych (ścieżka)
- Szybkości transferu dysk-bufor są znacznie mniejsze niż możliwości współczesnych magistral (SATA – ok. 300 MB/s).



## Szybkość obrotowa

- Duży wpływ na wydajność dysku – transfer danych i opóźnienia
- Typowe zastosowania – dyski 7200 rpm, rozwiązania serwerowe – 10000 rpm
- Większa szybkość obrotowa – większy pobór energii, więcej ciepła, wzrost hałasu



## Opóźnienia

- **Seek time** – czas przesunięcia głowicy na właściwą ścieżkę
- **Rotational delay** – czas oczekiwania na pojawienie się właściwego sektora (opóźnienie rotacyjne)
- **Access time** – czas od zgłoszenia żądania do uzyskania danych (typowo 3-4 ms)



## Pamięć podręczna dysku

- Pamięć wbudowana w kontroler dysku
- Typowe rozmiary 8-64 MB
- Zwiększanie wydajności dysku
  - Read ahead / read behind
  - Dopasowanie szybkości do interfejsu
  - Buforowanie operacji zapisu
  - Kolejkowanie operacji (np. technologia NCQ w SATA)



## Detekcja i korekcja błędów

- ECC – Dodatkowa informacja na pozwalająca na wykrywanie i korektę niektórych błędów (przekłamań)
- S.M.A.R.T. - Monitorowanie parametrów dysku np.:
  - Liczba błędów odczytu
  - Liczba przeniesionych sektorów (bad sector)
  - Liczba błędów ustawienia głowicy
  - Szybkość transferu danych
  - Temperatura
  - Inne, zależnie od producenta



## RAID

- Metoda zwiększania wydajności pamięci zewnętrznej
- Redundant Array of Independent Disks
- Redundant Array of Inexpensive Disks
- Wykorzystywane poziomy 0-6
- Z punktu systemu operacyjnego jeden dysk logiczny
- Dane rozproszone na dyskach (wydajność, bezpieczeństwo).





## RAID 0

- Dane przeplecione między dyskami
- Brak nadmiarowości
- Sumowanie pojemności dysków
- Przyspieszenie operacji zapisu i odczytu
- Duże ryzyko utraty danych z powodu awarii jednego z dysków



## RAID 1

- Dane przeplecione między dyskami
- Dane są dublowane (kopia na każdym dysku)
- Odczyt – z dowolnej kopii, zapis – obie kopie
- Przyspieszenie odczytu, mniej wydajny zapis
- Odporność na awarie i łatwe odtwarzanie po awarii
- Duży koszt (utrata pojemności dysku)



## RAID 2

- Wykorzystywanie kodów Hamminga do ochrony danych
- Dane przeplecione między dyskami (niewielkie paski)
- Kody Hamminga zapisywane na dyskach kontrolnych
- Dokładna synchronizacja dysków
- Możliwość odtworzenia danych po częściowej ich utracie (również po utracie kodów)



## RAID 3

- Wykorzystanie bitów parzystości
- Jeden dodatkowy dysk na dane kontrolne
- Działanie podobnie jak RAID 0 ale z ochroną danych
- Spowolnienie zapisu – obliczanie sum kontrolnych
- Kosztowna odbudowa macierzy po awarii



## RAID 4-6

- Wykorzystanie różnych technik zwiększających bezpieczeństwo (np. podwójne sumy kontrolne) i wydajność (np. sumy kontrolne przeplatane na dyskach).
- Stosuje się również połączenia schematów RAID, np. RAID 0+1, RAID 1+0.



## LVM

- Dyski, partycje = woluminy fizyczne
- Woluminy fizyczne łączy się w grupy i tworzy na nich woluminy logiczne („wirtualne partycje”).
- Woluminy logiczne mogą być powiększane i zmniejszane bez konieczności re-partycjonowania dysku
- Technologię LVM często łączy się z RAID



## Pamięci optyczne

- CD-ROM, CD-R, CD-RW
  - Oryginalnie do zapisu audio
  - 700 MB lub 80 minut muzyki
- DVD
  - Szereg odmian np. DVD-R, DVD+R, DVD-RAM
  - Pojemność 4.7 GB
  - Wersje dwustronne i dwuwarstwowe (poj. 17 GB)



## Pamięci optyczne c.d.

- HD-DVD
  - Zwiększona gęstość zapisu (inny rodzaj lasera)
  - Pojemność 15 GB (1 warstwa, 1 strona)
- Blue-ray
  - Standard wypierający HD-DVD
  - Pojemność 25 GB na warstwę





## Taśmy magnetyczne

- Dostęp sekwencyjny
- Wolne!
- Tanie (w stosunku do pojemności)
- Pojemności – od kilkuset gigabajtów do kilku terabajtów
- Stosowane do archiwizacji dużych ilości danych



## Podsumowanie

- Pamięć operacyjna
- Pamięci ROM, RAM
- Charakterystyka pamięci
- Pamięć masowa
  - pamięci magnetyczne – charakterystyka, wydajność
  - technologie RAID, LVM
  - pamięci optyczne