

Vše, co jste kdy chtěli vědět o architektuře počítačů

Historie

Abakus - První počítadlo, 5000 př. n. l., Staré Řecko a Řím

Logaritmické tabulky - 1614, John Napier, Násobení a dělení

Mechanické kalkulátory - 1623, Wilhelm Schickard, Počítací hodiny

Děrné štítky - 1725, Basile Bouchon, Tkalcovský stav

- 1801, Joseph-Maria Jacquard, Výměna bez změny mechaniky

Difference engine - 1822, Charles Babbage

0. generace

- Elektromechanické počítače, využívají **relé**

- **Alan Turing** - Turingův stroj, **Turingův test**

1934 - 1938, Konrád Zuse - **Z1** - dvojková soustava, děrná páska

1939 - 1943 - **Mark 1** - Financován IBM

1. generace

- Začíná používat **elektronky**, děrné štítky a pásy

- **Neefektivní**, drahé, vysoký příkon, velká **poruchovost** a nízká rychlost

- Neexistují operační systémy, všechny **“programy”** pro konkrétní stroj

ENIAC - Univerzita v Pensylvánii, První počítač, 27 tun

2. generace

- Používá **tranzistory**, Magnetické pásy, Vnitřní paměť **16 - 32 kB**

- Dávkové zpracování, **Assembler**, první jazyky (FORTRAN)

3. generace

- Používá **integrované obvody**, Floppy disky, Vnitřní paměť až 2 MB

- Zrychlení a zlevnění, miniaturizace

- Rozvoj operačních systémů

- **Multiprogramování** a **Multitasking**

Intel - Zakladatelé Robert Noyce, Gordon Moore

- 1971, Vyroben první mikroprocesor - **Intel 4004**

4. generace

- Procesor je v jednom pouzdře, 4. generace trvá dodnes
- Miniaturizace integrovaných obvodů
- 1981 - První IBM PC

5. generace

- Blízká budoucnost, Umělá inteligence, Kvantové počítače

Základní pojmy

Program = Algoritmus zapsaný v programovacím jazyce, posloupnost instrukcí

Proces = Spuštěný program

Instrukce = Předpis k provedení nějaké činnosti, vykonávají se na procesoru

Firmware = Programové vybavení, který je součástí hardwaru (BIOS)

Řadič = Převádí příkazy v symbolické formě na posloupnost signálů

Sběrnice = Soustava vodičů, která umožňuje přenos signálů mezi částmi

Bit = Binary digit, základní jednotka informace, hodnoty 0 nebo 1

Byte = Jednotka informace, 1 B = 8 b

Nibble = 4b, **Word** = 2B, **Doubleword** = 4B

ASCII

- Každé z 256 hodnot je přiřazen jeden znak
- Prvních 32 znaků je řídicí kód

UNICODE - Snaží se pokrýt všechny znaky

Slabiková organizace paměti

Big-endian - “Od začátku”

Little-endian - “Od konce” (Moderní počítače)

Číselné soustavy

Dvojková (Binární), Desítková (Dekadická), Šestnáctková (Hexadecimální)

Vyjádření záporných čísel v binární soustavě

Přímý - Znaménkový bit - dvojitá nula	-42	→	1010 1010
Aditivní - Přičte konstantu ke všem číslům	-42	→	1010 1010
Inverzní - Bitová negace - dvojitá nula	-42	→	1101 0101
Doplňkový - Bitová negace + přičtení 1	-42	→	1101 0111

Zápis reálných čísel ve dvojkové soustavě

IEEE 754 Floating point standard

IEEE 754 Floating point standard

$$0,625 * 2 = 1,250 \rightarrow 1$$

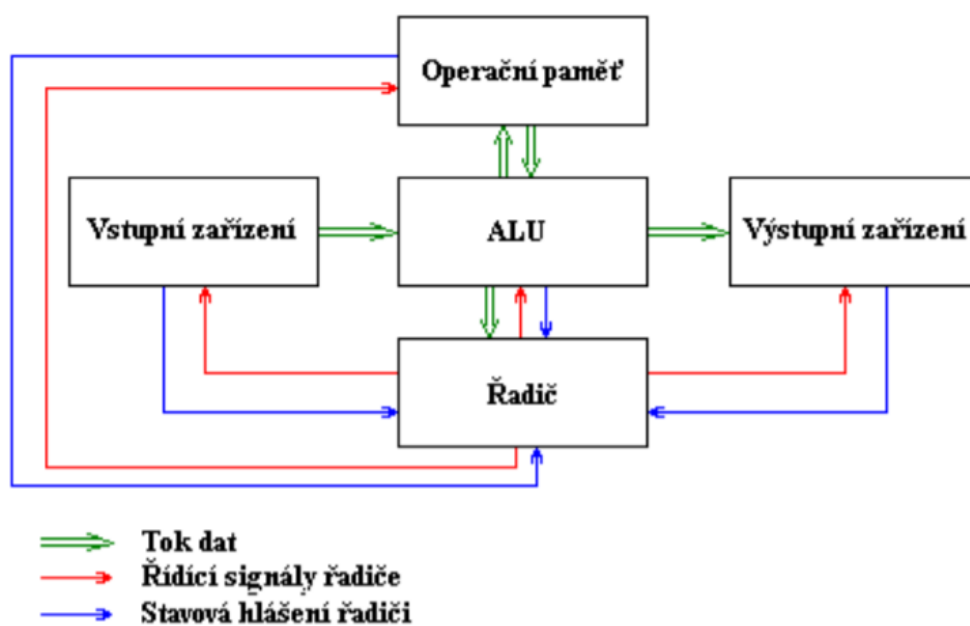
$$0,250 * 2 = 0,500 \rightarrow 0$$

$$0,500 * 2 = 1,000 \rightarrow 1$$

$$\rightarrow 0,625_{10} = 0,101_2$$

Von Neumannova architektura

- Fyzická struktura počítače má být neměnná a počítač je univerzální
- Programy, tak i data jsou v podstatě totéž (Posloupnosti jedniček a nul)
- Operační paměť, ALU, Řadič, Vstupní zařízení, Výstupní zařízení
- Paměti s přímým přístupem, sekvenční zpracování



Odlišnost dnešních počítačů od Von Neumannovy architektury

- Dnešní počítače zvládají více operací zároveň (Multitasking)
- Počítač disponuje více než jedním procesorem (Více jader)
- Existují vstupně/výstupní zařízení
- Program se do paměti nemusí zavést celý

Harvardská architektura

- Fyzicky oddělená paměť pro instrukce a data
- Paměti musí být odlišné

Moderní počítače spojují obě architektury, v celém počítači je použita von Neumannova architektura, avšak uvnitř procesoru je použita harvardská architektura.

Konfigurace počítače

Základní deska - Procesor a Paměti

Pevné disky - HDD x SSD

Grafická karta (Videokarta)

Zvuková karta, Síťová karta (Dnes součástí základní desky)

Periferie - Myš, klávesnice, tiskárna,...

Počítačový systém

- Moderní počítače využívají **sběrnice** - ty přenášejí data a **veškeré signály**
- Programovací **jazyk** nebo **Assembler** přeloží **překladač** na **strojový kód** a ten je procesorem přeložen na **řídící signály**

Základní deska

= Deska s vícevrstevnými plošnými spoji osazená součástky

Základní součásti:

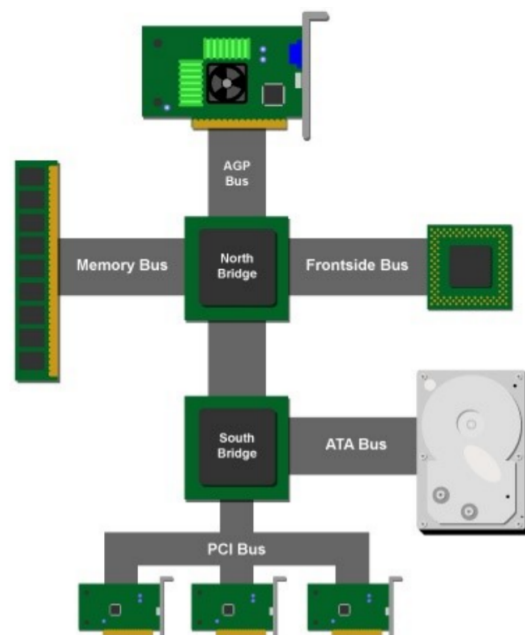
Socket, regulátor napětí, čipová sada, Čip pro vstupy a výstupy (Super I/O), ROM BIOS, RAM Sockety, Sběrnice, Baterie pro zálohování paměti typu CMOS

North Bridge

- **Severní můstek**, Systémový řadič
- Obvod, který řídí společnou činnost procesoru, paměti, obvodů čipové sady a grafické karty
- Generuje hodinové signály
- Vytváří adresy pro RAM
- Generuje řídící signály a komunikuje s paměťovým subsystémem
- Zabezpečuje RESET systému

South Bridge

- **Jižní můstek**, Řadič sběrnice
- Zabezpečuje komunikaci se standardními periferiemi jako řadič disků, řadič USB, audio řadič a modem, sběrnice PCI, další komunikační porty a také klávesnice a myš



BIOS (Basic Input/Output System)

- Firmware základní desky, První program, který se aktivuje **po zapnutí počítače**
- Identifikace a inicializace hardwaru a **načtení zavaděče** operačního systému
- Základní vrstva abstrakce pro vyšší programy (**Moderní OS používají ovladače**)

UEFI (Unified Extensible Firmware Interface)

- Nahrazuje BIOS, Větší a komplexnější, OS-like, GUI
- Neběží už v 16 bit režimu, ale většinou 64b
- Podpora GPT (Disky větší jak 2TB) SecureBoot a emulace BIOSu
- Dva typy služeb: Boot service & Runtime service

Co se děje po zapnutí PC

1. Zapne se přívod napájení, vynulují se registry a BIOS se spustí
2. Bios aktivuje Power-On-Self-Test - kontrola funkce nezbytných periférií
3. Identifikace všech periferních zařízení (nejdříve Plug-and-Play)
4. Vyhledání jednotky na zavedení operačního systému (IPL - Initial Program Load)
5. Sestavení tabulky systémových prostředků
6. Aktivace primárního vstupu a výstupu
7. Vyhledání jiných zařízení než Plug-and-Play
8. Vyřešení konfliktů zařízení
9. Konfigurace zvoleného bootovacího zařízení
10. Aktivace zařízení Plug-and-Play - Zavolání rutiny v jejich pamětech ROM
11. Start programu pro zavedení OS - V případě selhání BIOS zkusí jinou IPL
12. Jednotka IPL zavede operační systém do paměti
13. BIOS předá řízení operačnímu systému

Sběrnice (Bus)

- Skupina signálových vodičů, zajišťují přenos dat a řídicích povelů mezi zařízeními, Přenos je řízen stanoveným protokolem

Paralelní sběrnice - Řídící, adresové, datové vodiče

- Problémy: Časování, Elektromagnetická interference, Přeslechy, Energetická náročnost

Sériové sběrnice - Sdílení dat a řízení na společném vodiči

Přenos datové informace po fyzikální stránce

- Pomocí změny el. napětí - Napětí vůči společnému bodu x Diferenciální
- Pomocí změny el. proudu - Směr toku proudu, větší odolnost proti rušení

Diferenciální přenos

- Rozdíl napětí na dvou vodičích

PC BUS (8 bit ISA)

- IBM, 62 vodičů, 8 bit přenos na 8 linkách, Frekvence 8 MHz

ISA (Industry Standard Architecture)

- IBM 1981, 16 bit datová a 24 bit adresová, Frekvence až 16 MHz

Další sběrnice: MSA, EISA, VESA Local Bus

PCI (Peripheral Component Interconnect)

- K systémové sběrnici připojena přes mezisběrníkový můstek
- První sběrnice s šířkou přenosu **64 bitů** (Umožňuje i 32 bitů)
- **Maximální frekvence** sběrnice je **33 MHz** (66 MHz)
- Napájení **3,3V** nebo **5V**, **Bus master** --- **Target**

PCI Express

- Sériové připojení typu **point-to-point**, Přenáší data po **paketech**
- Diferenciální přenos, nízká režie, malé zpoždění
- Zachováno mnoha SW funkcí PCI sběrnice
- Data jsou enkodovaná **8b/10b** (Od PCIe 3.0 **128b/130b**)
- Základní přenosová rychlost každé lane (linie) je **2.5Gb/s**

AGP (Accelerated Graphics Port)

- Určena pro CPU Pentium a vyšší
- Důraz na **zvýšení výkonu** v oblasti **grafiky**
- Umožněn **přímý přístup grafiky** do systémové **paměti**
- Pracuje na **66,66 Mhz**, Šířka sběrnice je **32 bitů**

Plug and Play (PnP)

- = Automatická konfigurace všech zařízení
- BIOS vyzve všechna zařízení k **identifikaci**
- Zařízení odešlou své **identifikátory** a **požadavky** (Přerušení, I/O porty, Adresa v RAM)
- BIOS přidělí systémové **prostředky** tak, aby nedošlo ke **konfliktům**
- Údaje o konfiguraci jsou **uloženy do paměti**
- Je spuštěn **operační systém**, který podle **identifikace** zařízení **vyhledá ovladače**

Přerušení

- Jsou využívány **zařízeními**, aby **oznámila**, že má být **vyplněn určitý požadavek**.
- Fyzicky jsou **reprezentovány vodiči sběrnice**
- Pokud je **přerušení rozpoznáno**, tak **speciální proces** převeze **řízení systému**

Procesor (CPU = Central Processing Unit)

= Integrovaný obvod zajišťující výpočty v systému

- Vykonává jednotlivé strojové instrukce
- Umístěn na základní desce (Patice, Socket či Slot - PGA x LGA)

Výroba:

Písek → Ingot → Wafer → Fotolitografie → Leptání → Ostřelování ionty
→ Pokrytí kovem → Vrstvení → Test/Řezání → \$\$\$

Parametry ovlivňující výkon

- Frekvence [Hz], Počet jader, Šířka slova - 8, 16, 32, 64 [b], Vyrovnávací paměť (cache), Počet instrukčních kanálů, Počet a typ výkonných jednotek, Velikost adresové paměti

Moorův zákon

- Pozorování od roku 1964
- Každá nová generace čipů má dvojnásobnou paměťovou kapacitu
- Zdvojnásobení počtu tranzistorů každé 2 roky

Pipelining = Zřetěžené zpracování či překrývání strojových instrukcí

Instrukční kanály - pipelines (CISC)

PF (Prefetch) - Výběr instrukce: další zpracování instrukce se bere buď z paměti RAM, nebo z vyrovnávací cache paměti

D1 (Decode1) - Dekódování instrukce: určí se délka a typ instrukce

D2 (Decode2) - Výpočet adresy: určí se adresa operandů, se kterými instrukce pracuje

EX (Execution) - Provedení instrukce: vlastní provedení instrukce

WB (Write Back) - Zápis výsledků: zapíše se výsledky zpracované instrukce

Architektury RISC a CISC

CISC (Complex Instruction Set Computing)

- Strojové instrukce pokrývají široký okruh funkcí, instrukce mají proměnlivou délku i dobu vykonání procesor obsahuje relativně nízký počet registrů.

RISC (Reduced Instruction Set Computing)

- Procesory s omezeným strojovým kódem, jednoduché, rychlé instrukce realizované hardwarově - Současné x86/x64 procesory jsou vnitřně RISC

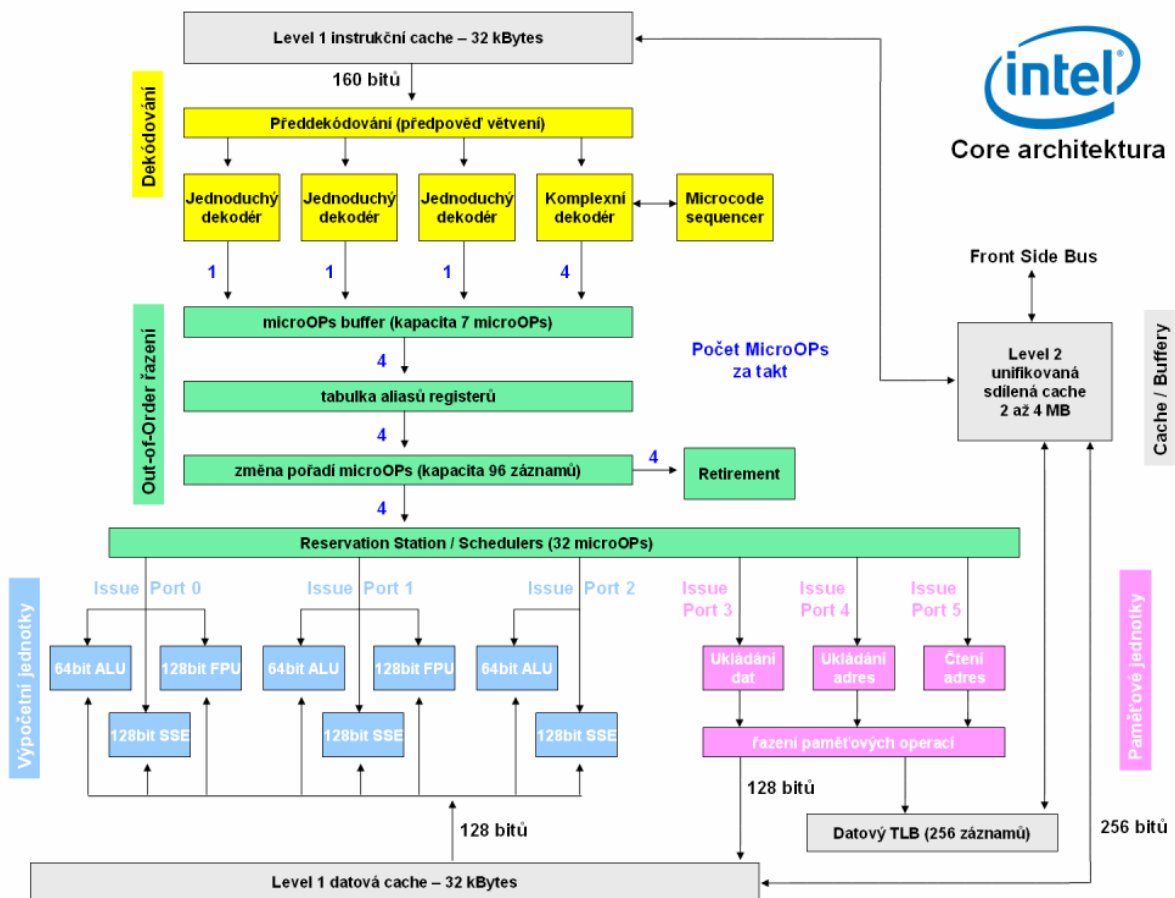
Subskalární zpracování

- Zpracovává se vždy jenom jedna instrukce, velmi neefektivní

Skalární zpracování

- Každá část CPU může zpracovávat jednu instrukci v určité fázi

CPU - Základní schéma (Skalární) - Umět vysvětlit



© 2006, Petr Koc

Problémy

- **Datový hazard** - Zpracování instrukce začne ještě dřív než je dokončena předchozí
- **Řídicí hazard** - Nutnost rozhodnutí před vykonáním instrukce
- **Pipeline stalls** - Zpoždění ve zpracování za účelem vyřešení konfliktu
- **Pipeline flush**

Minimalizace pipeline stall (vzniku bublin)

- Predikce větvení
- Superskalarita
- Simultaneous Multithreading (AMD Hyperthreading)
- Vykonání mimo pořadí, ...

Moderní procesor

- System on Chip (SoC)
- Více jader
- Cache
- Integrované GPU

Režimy práce procesoru

Reálný režim - 8086, 8088 - Segmentace paměti 20bit adresací

Chráněný režim - 80286 - Podpora ochrany paměti, Segmentace a stránkování

Virtuální režim - Umožňuje 32bit režimu nativně provádět 16bit operace

Režim správy systému - Provozní režim procesoru, je transparentní

Režim kompatibility - Umožňuje 64bit operačnímu systému spouštět většinu staršího 32bit softwaru bez úpravy

64 bitový režim - Umožňuje 64bit operačnímu systému spouštět aplikace s přístupem k 64bit lineárnímu adresnímu prostoru

Mikroarchitektura NetBurst™ - Intel Pentium 4

Hyperpipeline technology - Dlouhá sběrnice s vyšší frekvencí

Rychlá systémová sběrnice - Od 400 MT/s, Propustnost až 3.2 GB/s

Level 1 Execution Trace Cache

Rapid Execution - Během jednoho taktu lze provést 2 celočíselné operace

- Predikce vícenásobného větvení
- Spekulativní vykonávání instrukcí

Hyper-Threading

- Současný běh více vláken - Založeno na využití bublin (Pipeline Stalls)
- Navýšení výkonu je proměnlivé, Problémy s bezpečností

Tepelná ochrana - chrání procesor před přehřátím, není softwarová

Architektura Core™

- Širší paralelismus, Vyšší frekvence
- Wide Dynamic Execution, Advanced Smart Cache
- Smart Memory Access, Intelligent Power Capability

Paměti

- Registry, Cache, Operační, Sekundární, Terciální

Základní parametry paměti

- kapacita, přístupová doba, přenosová rychlost, přístupová doba, statičnost/dynamičnost, energetická závislost, přístup, destruktivnost při čtení, spolehlivost a cena za bit.

Registry

- Paměťové bloky s velmi malou kapacitou - Velikost 8, 16, 32 a 64 bitů i více
- Slouží k ukládání mezivýsledků a informací nutných pro řízení činnosti procesoru
- Tuto paměť využívají prakticky všechny instrukce
- Přístupová doba odpovídá taktu procesoru
- Uživatelsky přístupné, Systémové, Speciální vnitřní

Cache

- Paměť, která ukládá instrukce a nebo data, aby mohly být obslouženy rychleji
- V cache může být výsledek dřívějšího výpočtu nebo duplikát dat uloženého jinde

Základní přístupy zápisu:

Write-through (starší) - Synchronní zápis jak do cache, tak do hlavní paměti

Write-back - Zápis do cache, zápis do hlavní paměti až když mají být data nahrazena

Cache hit (90 %)/Cache miss - hledaná informace se v registru nachází/nenachází

Asociativita cache

- Určuje způsob mapování bloků z RAM do bloků v cache
- Přímo mapovaná** - Pozice bloku pevně dána jeho indexem
- Plně asociativní** - Pozice může být náhodná

Vnitřní paměti

- = Matice paměťových buněk s kapacitou 1 bit v každé buňce
- RAM - SRAM, DRAM, ROM, PROM, EPROM, EEPROM, Flash EEPROM

Paměti ROM (Read Only Memory)

- Pouze pro čtení, Informace zapsány během výroby a nelze je měnit

Paměti PROM (Programmable Read Only Memory)

- Lze jednou zapsat informaci, poté fungují jako ROM

Paměti EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)

- Lze provést zápis, lze vymazat působením UV záření

Paměti EEPROM (Electrically EPROM)

- Jako EPROM, ale jejich vymazání se provádí elektricky

Flash EPROM

- Obdoba paměti EEPROM, Zápis se provádí po celých blocích, Vymazání elektronicky

Flash paměť

- Data jsou ukládána v poli unipolárních tranzistorů s plovoucími hradly, zvaných „buňky“, každá z nich obvykle uchovává 1 bit informace

Životnost

SLC - Single-level cell (1 bit)	-	100 000 přepisů
MLC - Multi-level cell (2 bit)	-	10 000 přepisů
TLC - Triple-level cell (3 bit)	-	3 000 přepisů
QLC - Quad-level cell (4 bit)	-	1 000 přepisů

Paměti RAM (Random Access Memory)

- Paměti s náhodným přístupem, Statické a Dynamické

SRAM

- Statická RAM, Nepotřebuje refreashovat, nedestruktivní čtení

DRAM

- Dynamická RAM, Potřebuje neustálý přívod energie, bit uchovává náboj v tranzistoru
- Při čtení je třeba znova zapsat informaci => Zápis je rychlejší jak čtení.

SDRAM - Synchronní DRAM, hodinový signál, vlastní “intelligence”, Burst režim

DDR (Double Data Rate)

- Lepší využití hodinového signálu,
- Používá se vzestupná i sestupná hrana hodinového signálu.
- DDR1, DDR2, DDR3, DDR4

DIMM (Dual Inline Memory Module)

- Fyzické uspořádání paměti
- SODIMM (Small Outline DIMM) - V noteboocích

Časování paměti

DRAM - Rychlost v jednotkách nanosekund

RAS precharge - Ustálení stavu signálu před adresováním

RAS to CAS - Doba potřebná pro adresaci řádku

CAS nebo CL - Adresace výběru sloupce

tRAS - Doba nutná na ponechání aktivní adresace řádku, než se může přejít na další

Ochrana operační paměti

Kontrola parity - Uložení paritního bitu pro kontrolu dalších 8 bitů, neopravuje chybu

Kód ECC - Detekce a korekce 1 až 2 bitů na 64b., Mírné snížení výkonu

ChipKill - Advanced ECC, Rozpoznání chyby v 8 bitech, její korekce až ve 4 bitech

Chyby paměťových modulů

Fyzické chyby - Oprava možná pouze výměnou celého modulu

Logické chyby - Dočasné chyby, které se objevují náhodně

Adresování operační paměti

Reálný režim - 20 bitová adresa tvořena 16 x **segmentem** a **offsetem**

Chráněný režim - Adresa je 24 bitová složená z **selektoru** a **offsetu**

Pevné disky (Hard Drive)

- Média pro uchování dat, Kapacita v GB a TB
- Magnetický záznam na rotující plotně (Změny směru magnetického toku)
- Rychlost otáčení 3600 rpm - 15000 rpm a přístupová doba 4 -25 ms

Geometrie pevných disků

Stopa = Soustředné kružnice na disku - číslované od kraje disku - od nuly

Sektor = Malá část stopy, nejmenší jednotka pro ukládání dat

Válec = Množina všech stop se stejným číslem na všech površích

Modulace dat při záznamu

- Pomocí změn magnetického toku z kladného na záporný a naopak
- Změna se projeví jako impuls
- Nesmí být dlouhé posloupnosti mezer a počet impulzů co nejmenší

FM Modulace (Frequency Modulation)

- Bit 1 se uloží jako PP a bit 0 jako PN

MFM Modulace (Modified Frequency Modulation)

- Bit 1 se uloží jako NP, 0 jako PN, pokud je před ní 0 a NN, pokud je před ní 1

RLL modulace (Run Length Limited)

- Překládají se vždy skupiny 2 až 4 bitů, Používají jej současné pevné disky

Základní součásti pevného disku

Plotny pevného disku - Vyrábí se ze slitiny hliníku a hořčíku, Tenká magnetická vrstva
 Hlavy pro čtení a zápis - Jedna pro čtení a jedna pro zápis, Automatické parkování
 Pohon hlav - Dnes elektromagnetický, Pohybuje hlavami napříč diskem
 Pohon ploten disku - Motorem přímo připojeným k hřídeli, Bezvibrační chod
 Vzduchový filtr - Recirkulační a Barometrický filtr
 Řídící deska - Polohování a pohon hlav, Předávání dat do řadiče
 Kabely, konektory - Napájecí a datový konektor

Technologie S.M.A.R.T.

- Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology - Předvídá poruchy

NCQ - Native Command Queuing = Přirozené řazení příkazů - Redukce pohybu

Optická média

- Pit - Rozptyl laserového paprsku, Land - Odraz laserového paprsku
- Změna pit na land a naopak znamená bitovou 1
- Opravné kódy proti šumu a poškrábání

Compact Disc (CD)

- Původně jako nosiče hudby - Digitální záznam dat
- 70 MB - 80 minut hudby, Průměr 120 mm
- CD-ROM - Read Only Memory
- CD-R - Recordable - Lze na něj zahřátím zapsat záznam laserem
- CD-RW - Rewritable - Speciální vrstva - umožňuje fázové změny vlastností

Digital Video Disk (DVD)

- Oboustranný záznam, Dvouvrstvý záznam, Zhuštění zápisu
- Kapacita 4,7 - 17 GB
- Laser s vlnovou délkou 650 nm

HD-DVD

- 2003, Podpora od DVD fórum

Blu-ray

- 2002, SONY a Matsushita, Laser s vlnovou délkou 405 nm
- Kapacita 25 GB až 100 GB

Rozhraní pevných disků

- Komunikace mezi pevným diskem a zbytkem PC
- IDE, ATA, SATA, SCSI

Sériové rozhraní ATA (SATA)

- Současná technologie
- Softwarová **podpora**, Nižší spotřeba, Vyšší přenosová rychlost 1,5 Gbit/s

RAID (Redundant Array of Inexpensive/Independent Disks)

- Zabezpečení dat proti selhání pevného disku
- Ukládání dat na **více nezávislých disků**
- RAID 0 - 6

Grafické karta

- BIOS (firmware), GPU, Video Memory, DAC, Output ports, Bus connector

Režimy práce

Textový režim - Umožňuje zobrazovat **pouze Ascii znaky**, Dnes se téměř nepoužívá
Grafický režim - Informace jsou zobrazovány na jednotlivých pixelech - **Grafika**

ROM BIOS

- Obsahuje pracovní **programové vybavení**
- U **moderních grafických karet** může být **aktualizován**

Grafický procesor - GPU

- **Systémový procesor**, CPU odešle řadu “kreslících” instrukcí, které GPU zpracuje
- Zapisuje data jednotlivých obrazů (frames) do **frame bufferu**

Paměť videokarty

- Její velikost určuje **maximální možné rozlišení a hloubku barev**
- **Integrovaná Grafická karta** využívá **systémovou paměť**
- Ve **3D** jsou mnohem **větší nároky** na paměť

Digital to Analog Converter (RAMDAC) Převodník

- Převaděč **digitální formy paměti** na **analogový signál RGB**
- **Frekvence RAMDAC** v **MHz**, nesouvisí s rychlostí grafické karty
- Nejmodernější grafické karty RAMDAC nemají

Konektory

DVI - Single/Dual, 24 bitů na pixel, Žádná komprese

HDMI - Přenos jak obrazu, tak i zvuku, Propustnost až 4.9 GB/s

DisplayPort - Přenos po datových paketech, lze šifrovat, Pro PC vhodnější než HDMI

Jak pracuje 3D

Primitives - Jednoduché geometrické útvary (trojúhelník, čára, bod)

Vertex - Vrcholy primitives definovány v 3D prostoru (x, y, z)

- Primitives definovány svými vertexy jsou poskládány do 3D prostoru
- S vertexy ve 3D je postupně manipulováno (**Shadery**)
- 3D obraz je rasterizován a zobrazen na výstupu

Input Assembler - Načtení geometrických dat z paměti a sestavení primitives

Vertex Shader - Zpracovává vertexy vytvořené IA, Umí vertexy posunout

Tessellation - Rozděluje jednoduchý tvar do menších částí - Zvýšení detailů

Geometry Shader - Pracuje s primitivními útvary, Přidává vertexy, Např. srst

Stream Output - Lze přeměrovat vertexy zpět na pipeline, Fyzikální simulace

Rasterizace - 3D objekty se promítají na ploché rastrové mřížce, Rasterizer

Pixel Shader - Zjišťuje barvu konkrétního prostoru, Ovlivňuje barvu a světlo

Output Merger - Barvy pixelů jsou zapisovány do výstupního zásobníku

Monitor CRT

- Ze tří katod jsou emitovány **elektronové svazky**, které dopadají na stínítko obrazovky
- Paprsek musí **rozsvěcovat body** po celé obrazovce

LCD Monitor

- Světlo prochází přes 2 **polarizační filtry** a **tekuté krystaly**
- Elektrody ovlivňují **natočení krystalů**
- Každá buňka (pixel) má 3 barvy - RGB

OLED Displej

- **Organický** materiál, který vyzařuje světlo
- Jsou **tenčí** (ohybné), **lepší barvy** i **viditelnost**, **menší spotřeba**
- Velký problém - **Rychlá degradace barev**, Někdy i za 2 roky

Plazmové Displeje

- Směs **neonu** a **argonu**, Velký kontrast, Televizní obrazovky

E-Ink Displeje = Elektrický papír - Čtečky

Mikro LED - Velmi malé diody, Ve vývoji

Externí rozhraní

USB (Univerzální sériová sběrnice)

- Aktuálně **USB 4.0** - Rychlost až 40 Gb/s
- **Vícevrstvá, hvězdicová, centrálně ovládaná** architektura, Připojení až **127** zařízení
- Základem topologie je **rozbočovač (Root Hub)** - až 7 vrstev
- Ovládá se pomocí **klientského SW** v hostitelském zařízení
- USB kabel má **4 vodiče** - **2 datové** a **2 napájecí**, maximální délka 5 m
- **Type-A, Type-B, Mini-A, Mini-B, Mini-AB, Micro-A, Micro-B, Micro-AB, Type C**
- Napájecí napětí **5V**, HUB napájení po sběrnici
- Kódování **NRZI (Non Return Zero Invert)** - Nuly mění úroveň signálu, jedničky ne
- Komunikace pomocí **rou (pipe)** - **Proudové roury** a **roury zpráv**
- Typy datových přenosů - **Control, Bulk, Interrupt** a **Isochronous Transfers**
- **USB On-The-Go** - Komunikace zařízení bez PC - Master/Slave

Thunderbolt (Light Peak)

- Rozhraní pro připojení dalších zařízení, **2** obousměrné **kanály**, Až 4k video
- **Thunderbolt 3** používá **USB type C**

Periferie

Tiskárny

- Znakové a řádkové tiskárny - Daisy-wheel, Line printer
- Jehličkové tiskárny - Maticové tiskárny, Různý počet jehel, Barvicí páska
- Tepelné tiskárny - Speciální papír, který zčerná po zahřátí, Tichý tisk
- Inkoustové tiskárny - Piezoelektrický princip (Inkjet) x Termální pohon (Bubble Jet)
- Voskové tiskárny - Místo inkoustu používají bloky vosku (Da fuck?)
- Sublimační tiskárny - Princip sublimace inkoustu
- Laserová tiskárna - Světlocitlivý válec, na který je nanášen náboj, rychlé, levný tisk
- LED tiskárny - Místo laseru je fotocitlivý válec, srovnatelná kvalita s laserem

Skenery

- Princip digitalizace, Vyhodnocuje odražené světlo od papíru

Polohovací zařízení

- Klávesnice - Mechanické, Membránové, Promítané
- Myši - Kuličkové, Optické
- Dotykové displeje, Touchpad, Grafický tablet, Gamepad, Joystick