


Jakso 7

**Tiedon muuttumattomuuden tarkistus
Järjestelmän sisäinen muisti**



- Pariteetti
- Hamming-koodi
- Välimuisti
- Tavallinen muisti
- Historiaa

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 1

Tiedon tarkistus ⁽⁴⁾

- Tiedon oikeellisuutta ei voi tarkistaa yleisessä tapauksessa
- Laitteistovirheitä voidaan havaita ja joskus automaattisesti korjata
 - bitti voi muuttua muistissa tai tiedon siirrossa
 - muistipiirissä voi olla vika (staattinen vika)
 - sopiva alkeishiukkanen voi muuttaa bitin tiedonsiirron aikana (transientti virhe)
- Tietokannan eheys on eri asia!

Lisää tietoa? Tietokanta kurssit

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 2

Tiedon muuttumattomuus ⁽²⁾

- Perusidea: otetaan mukaan ylimääräisiä bittejä, joiden avulla virheitä voidaan havaita ja ehkä myös korjata
- Järjestelmä suorittaa tarkistukset automaattisesti joko laitteistotasolla tai ohjelmiston avulla

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 3

Esimerkki ohjelmistotason tarkistusmerkistä ⁽²⁾

- Henkilötunnus: 120464-121C

$$\overbrace{120464121}^{20464121 \% 31 = 12}$$
- 0123456789 ABCDEFHIJKLMNPRSTUVWXY
- Tarkistusmerkin avulla voidaan tarkistaa, että mikään yksi merkki ei ole väärin
 - havaitsee yhden merkin virheen
 - virhettä ei voi automaattisesti korjata!! Miksi?

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 4

Bittitaso tarkistukset ⁽⁷⁾

- Muistipiirit, levyt, väylät, tiedonsiirrot 120464-121C
- Monenko bitin muuttuminen havaitaan? Hetu: 1
- Monenko bitin muuttuminen voidaan automaattisesti korjata? Hetu: 0
- Korjaamiseen tarvitaan enemmän ylimääräisiä bittejä
 - lisämuistitilan tai levytilan tarve? Hetu: +10%
 - lisäpiuhojen tarve väylällä?
- Tarkistukset/korjaukset laitteisto- vai SW-tasolla? Hetu: ohjelmistotasolla

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 5

Pariteettibitti ⁽⁹⁾

- Yksi ylimääräinen bitti per tietoalkio
 - sana, tavu, tietoliikenne paketti
- Parillinen (pariton) pariteetti: 1-bittien lukumäärä on aina parillinen (pariton)
- Havaitsee: 1 bitti
- Korjaa: 0 bittiä
- Esimerkki (parillinen pariteetti)

$$\begin{matrix} 0010 & 001 & 0 & \leftarrow \\ 1000 & 1101 & 1111 & 001 & 1 & \leftarrow \end{matrix}$$

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 6

Hamming etäisyys ⁽³⁾

- Montako bittä jossain koodijärjestelmässä (esim ISO Latin) esitettyllä koodilla (esim 'A' = 0x41 = 0100 0001) täytyy muuttua, että se muuttuu johonkin toiseen (mihin tahansa) lailliseen kodiin.

'A' = 0x41 = 0100 0001 } 2 bittä
 'B' = 0x42 = 0100 0010 }
 'C' = 0x43 = 0100 0011 } 1 bittä

- ISO Latin-1:n Hamming etäisyys: 1
- Pariteettibitin kanssa Hamming etäisyys: 2

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 7

Hamming koodi ⁽²⁾

Figure 2-14. (a) Encoding of 1100. (b) Even parity added. (c) Error in AC.

Kukin databitti (4 kpl) kuuluu erilaisiin pariteettijoukkoihin (3 kpl)

Joukot A ja C havaitsevat virheen ja siten paikallistavat virheellisen bitin

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 8

Hamming koodi ⁽⁹⁾

- Käytetään useampia pariteettibittejä
- Havaitsee: 2:n bitin muuttuminen
- Korjaa: 1 bitin muuttuminen

Data: 100 1100 } 4 bittää dataa, 3 pariteettibittää
 Bitti nro: 765 4321

Kaikki bitit nro 2ⁱ ovat pariteettibittejä, muut ovat databittejä (numerot alkavat 1:stä)

Kutakin data-bittää n tarkistavat ne pariteettibitit joiden summana voidaan esittää. Parillinen pariteetti
 6 = 4 + 2 ⇒ databittää 6 tarkistavat par. bitit 4 ja 2

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 9

Virheen korjaava Hamming koodi ⁽⁸⁾ (ECC)

Data: 100 1100 } 765 4321

Pariteettibitti 1 tarkistaa bittejä 1, 3, 5, 7
 Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7
 Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7

Tapahtuu virhe: bitti 6 muuttuu (flip)

Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7: VIRHE
 Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7: VIRHE

2 + 4 = 6 ⇒ korjaa bitti nro 6

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 10

Virheen korjaava Hamming koodi (ilman ⁽¹⁾)

Data: 100 1100 } 765 4321

Pariteettibitti 1 tarkistaa bittejä 1, 3, 5, 7
 Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7: VIRHE
 Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7: HE

2 + 4 = 6 ⇒ korjaa bitti nro 6

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 11

CRC - Cyclic Redundancy Code ⁽⁷⁾

- Tiedonsiirrossa käytetty tarkistusmenetelmä
- Tarkistussumma (16 bittää) isolle tietojoukolle
 - laske CRC = f (viesti * 2¹⁶) % (X¹⁶ + X¹⁵ + X² + 1) (huom! polynomijako)
 - lähetä viesti ja CRC
 - vastaanota viesti ja CRC
 - laske CRC ja tarkista oliko oikein (pitäisi olla 0!)
 - jos f

CRC-CCITT CRCs detect:
 All single- and double-bit errors
 All errors of an odd number of bits
 All error bursts of 16 bits or less
 In summary, 99.998% of all errors

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 12

Virheiden tarkistusmenetelmien käyttöalueet

- Mitä lähempänä suoritinta, sitä tärkeämpää tiedon oikeellisuus on
- Sisäinen väylä, muistiväylä
 - virheet korjaava Hamming koodi
- Paikallisverkko
 - uudelleenlähetyksen vaativa CRC
 - kun tulee virheitä, niin niitä tulee yleensä paljon
 - Hamming koodi ei riitä kuitenkaan
 - pariteettibitti päästää läpi 2 virheen paketit

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 13

Laitteiden monistaminen ⁽⁶⁾

- Monta muistipiiriä, samat tiedot
- Monta suoritinta, samat käskyt
- Monta laitteistoa, samat ohjelmat
- Eri tyyppiset laitteistot, samankaltaiset ohjelmat (samat speksit, samat syötteen)
- Äänestysmenettely: enemmistö voittaa
 - monimutkainen, hidas?
 - virheelliseksi havaittu laitteisto suljetaan pois häiriköimästä automaattisesti?

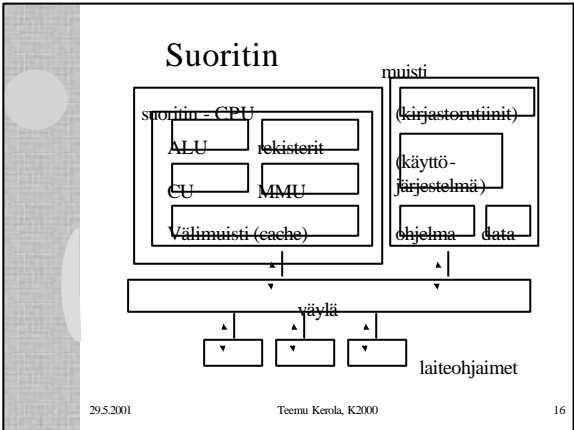
Lentokoneet, avaruussukkula, ydinvoimala, ...

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 14

Välimuisti (cache) ⁽³⁾

- Ongelma: keskusmuisti on aika kaukana suorittimesta
 - rekisterin viittausaika: X
 - muistin viittausaika: 10X
- Ratkaisu: välimuisti lähelle suoritinta
 - pidetään siellä (kopioida) viime aikoina viitatuista keskusmuistin alueista
 - välimuistin viittausaika: 2X
- Jokainen muistiviite on nyt seuraavanlainen
 - jos data ei ole välimuistissa, niin hae se sinne
 - suoritin odottaa tällä aikaa
 - tee viittaus dataan (käskyyn) välimuistissa
 - (talleta muutettu tieto keskusmuistiin)

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 15



Välimuisti

- Tuntumaton suorittimelle
 - jos viitattu tieto ei saatavilla, niin suoritin vain odottaa muutaman kellopulssin ajan...
- Toteutettu usein nopeammalla teknologialla kuin keskusmuisti (tavallinen muisti)
- Toteutettu usein samalla mikropiirillä kuin suoritin
- Silti iso aikaero: välimuisti 2X, muisti 10X
 - ratkaisu: monitasoiset välimuistit: L1, L2, L3
 - L2 eri piirillä, mutta isompi kuin L1
- TTK-91 koneessa ei ole välimuistia

Fig. 4.13 [Stal99]

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 17

Miksi välimuisti toimii? ⁽⁵⁾

- Paikallisuusperiaate: tietynä aikavälillä muistiviitteet kohdistuvat vain kolmeen osajoukkoon
 - pieneen osajoukkoon (locality principle)
- Ajallinen paikallisuus: on todennäköistä, että vähän aikaa sitten viitattuun tietoon uudestaan kohtaa (temporal locality)
- Alueellinen paikallisuus: on todennäköistä, että vähän aikaa sitten viitatus tiedon lähitulevaisuudessa (spatial locality)

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 18

Miten välimuisti toimii? ⁽³⁾

Fig. 4.13 [Stal99]

- Välimuistissa on useita keskusmuistin lohkoja
 - esim. 4 sanaa / lohko **(cache block cache line)**
- Kun tulee ”välimuistihuti” (viitattu data ei välimuistissa), niin koko tuon datan sisältämä lohko (”rivi”) kopioidaan muistista välimuistiin
- Uusille lohkoille tehdään tilaa poistamalla vanhoja lohkoja, joihin ei toivottavasti heti viitata
 - ne lohkot, joihin on kirjoitettu, täytyy kopioida muistiin

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 19

Välimuistin ominaisuuksia ⁽⁵⁾

- Koko
 - isommasta löytyy enemmän dataa, mutta se voi olla hitaampi **Fig. 4.13 [Stal99]**
- Kuvausfunktio
 - miten löytää data välimuistista?
- Poistoalgoritmi
 - mikä lohko poistetaan seuraavaksi?
- Kirjoituspolitiikka
 - miten käsitellä WRITE käskyjä?
- Lohkon (rivin) koko
 - monta pientä: hyvä ajalliselle paikallisuudelle
 - muutama iso: hyvä alueelliselle paikallisuudelle

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 20

Muistin toteutus ⁽⁶⁾

- Eri teknologioita eri tasoihin muisteihin
- RAM - Random-Access Semiconductor Memory
 - anna osoite ja lue/kirjoita signaali
 - mistä vaan voi lukea/kirjoittaa samassa ajassa
 - virta pois => tiedot häviävät **(volatile memory)**

Huom: kaikki nykyiset muistit ovat ”random access”

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 21

RAM:n kaksi eri teknologiaa ⁽²⁾

- DRAM: dynaaminen RAM, halvempi, hitaampi, tietoja pitää virkistää vähän väliä (esim. joka 2 ms)
 - tavallinen keskusmuisti (1975-...) useimmissa koneissa
 - toteutettu kondensaattoreilla, jotka ”vuotavat” ...
- SRAM: static RAM, kalliimpi (~20x), nopeampi (~10x), ei vaadi tietojen virkistämistä
 - välimuisti useimmissa koneissa
 - muisti superkoneissa (esim. Cray C-90)
 - toteutettu samanlaisilla logiikkaportteilla (gate) kuin prosessorikin
 - CMOS valmistusteknologia (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 22

Muistin toteutus ⁽⁷⁾

- ROM - Read-Only Memory **(non-volatile)**
 - tieto säilyy virran katkettua
 - voi käytössä vain lukea, ei voi kirjoittaa
 - esim. järjestelmän alustustiedot (BIOS)
 - kirjoitus lastun valmistusaikana, Mask-ROM
 - huono puoli: kerran väärin, aina väärin
 - päivitys: laita valmistajalta saatu uusi lastu paikalleen
 - tietoa voi lukea mistä vain samassa ajassa (random access)
 - yleensä hitaampi kuin RAM (~10x)

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 23

Kirjoitettavia ROM-muisteja ⁽⁶⁾


- PROM - Programmable ROM
 - kerran kirjoitettava
 - tiedon päivitys: ”polta” tiedot tyhjään PROM:iin
- EPROM - Erasable PROM
 - tietoja ei voi päivittää sana kerrallaan
 - vanhat tiedot voidaan (kaikki!) poistaa 20 min. UV-säteilyllä, jonka jälkeen päivitetty tiedot voidaan ladata
- EEPROM - Electronically Erasable PROM
 - tietojen pyyhkiminen avukohtaisesti elektronisesti
- FLASH EEPROM memory
 - tietojen pyyhkiminen nopeasti kerralla elektronisesti
 - normaali jännitteellä **BIOS, CIH-virus**
 - nopeampi kuin EEPROM

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 24

Muistien historiaa

- Rumpumuisti
 - 1939, ABC, Atanasoff-Berry Computer, Iowa State College.
 - lähinnä laskin ...
 - 1951, Aiken Mark III
 - erilliset rumpumuistit koodille ja datalle

Artzybasheff
Time cover
1951



30 numeroa á 50 bittiä

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 25

Muistien historiaa

- Williams Tube
 - 1946, Williams & Kilburn
 - katodisädeputki
 - ensimmäinen suuri "RAM" muisti

Tom Kilburn holding a Cathode Ray Tube

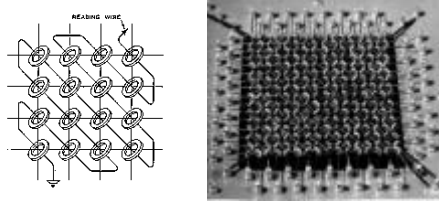
Storing 2048 bits on a CRT in 1947



29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 26

Muistien historiaa

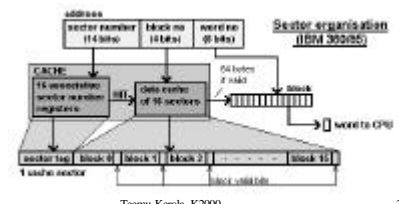
- Ferriittirengas (core) teknologia
 - 1952, Jay Forrester & Bob Everett, MIT (Whirlwind)
 - tieto säilyy ilman virtaa
 - ei häiriinny säteilystä (avaruus, sotilasteknologia)
 - 1955, valtaa markkinat Williams Tube'ltä



29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 27

Muistien historiaa


- Välimuisti (1965, Maurice Wilkes)
 - IBM S/360 Model 85
 - 1968
 - 256 lohkoa á 64 tavua



29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 28

Muistien historiaa

- DRAM (1966, Robert Dennard, IBM)
 - Intel 1103 (1970)
 - John Reed
 - 1 Kbit
 - valtaa markkinat ferriittirengasmuisteilta 1972
- SRAM (1970, Fairchild Corp)



Robert Dennard

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 29


Muistien historiaa

- PROM
 - ???
- EPROM
 - 1971, Dov Frohman, Intel 1701
- EEPROM,
 - 1980, Intel 2816
- Flash EEPROM
 - 1984, Lai et al, Intel

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 30


Muistien historiaa

- OROM - optical ROM
 - 1990, James Russell (Russell keksi myös CD-ROM:n)
 - 1998, Wond-OROM-a
 - 128 MB/kortti plus lukulaite
 - ei liikkuvia osia
 - sama nopeus kuin CD-ROM:lla (siis aika hidas!)
 - pieni virrankulutus
 - sopii kannettaviin laitteisiin



29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 31

--
Jakson
7
loppu
--



Whirlwind Project,
MIT, 1946- ...

29.5.2001 Teemu Kerola, K2000 32