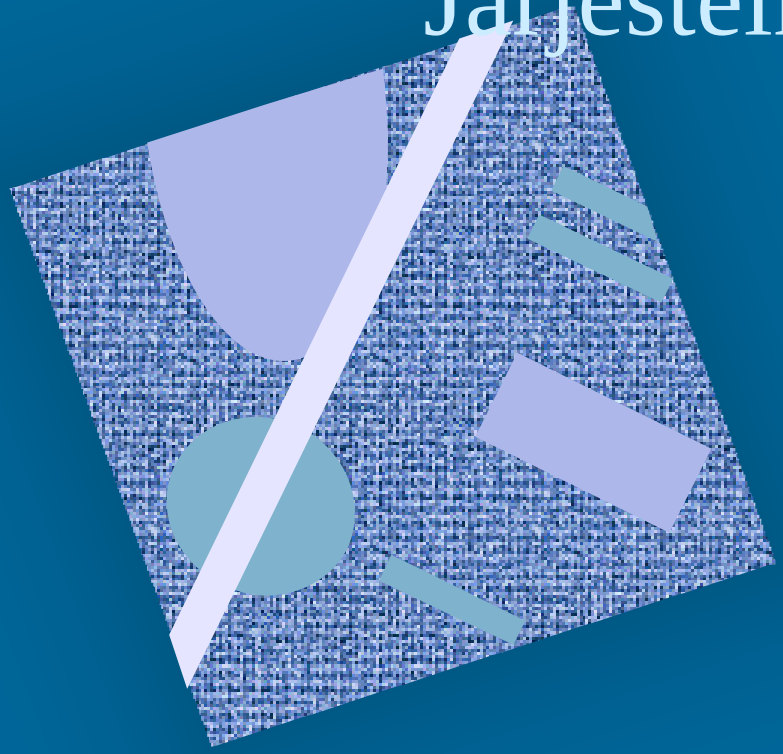
Jakso 7
Tiedon muuttumattomuuden tarkistus
Järjestelmän sisäinen muisti



Pariteetti

Hamming-koodi

Välimuisti

Tavallinen muisti

Muistien historiaa

Tiedon tarkistus (4)

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

Lisää tietoa?  Tieto-kanta kurssit

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

Esimerkki ohjelmistotason tarkistusmerkistä (2)

- Henkilötunnus: 120464-121C

120464121 % 31 = 12

0123456789 ABCDEFHJKLMNPRSTUVWXY
10 11 12

- Tarkistusmerkin avulla voidaan tarkistaa, ettei mikään yksi merkki ole väärin
  - havaitsee yhden merkin virheen
  - virhettä ei voi automaattisesti korjata!!

120464-123C

Miksi?

120464-123E

Bittitason 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?
  - lisäpiuhojen tarve väylällä?

Hetu: +10%

- Tarkistukset/korjaukset laitteisto- vai SW-tasolla?

Hetu: ohjelmistotasolla

Pariteettibitti (9)

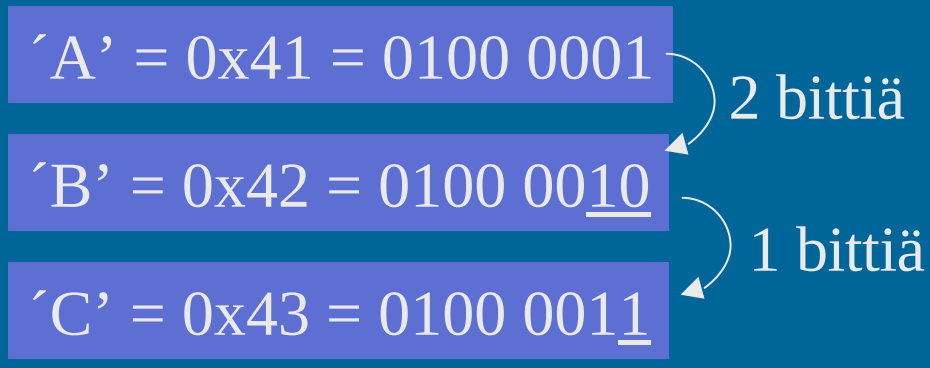
- Yksi ylimääräinen bitti per tietoalkio
  - sana, tavu, tietoliikennepaketti
- Parillinen (pariton) pariteetti: 1-bittien lukumäärä on aina parillinen (pariton)
- Havaitsee: 1 bitti
- Korjaa: 0 bittiä
- Esimerkki (parillinen pariteetti)

0010 001 0

1000 1101 1111 001 1

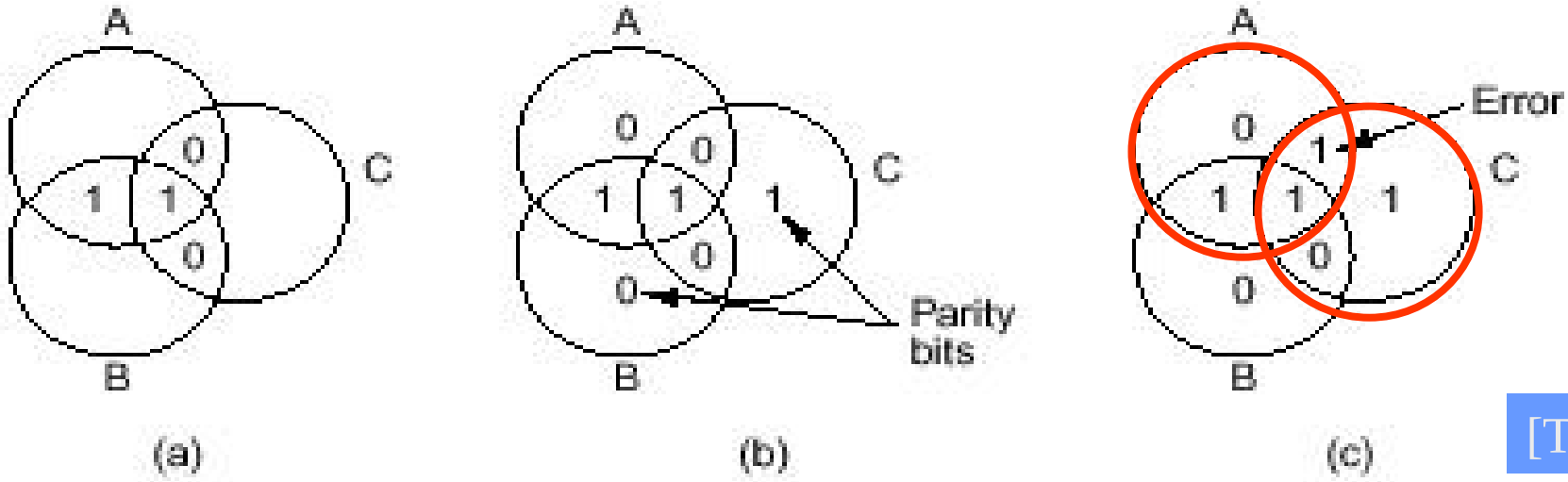
Hamming etäisyys (3)

- Montako bittiä jossain koodijärjestelmässä (esim ISO Latin) esitetyllä koodilla (esim. ´A’ = 0x41 = 0100 0001) täytyy muuttua, että se muuttuu johonkin toiseen (mihin tahansa) lailliseen koodiin.



- ISO Latin-1:n Hamming etäisyys: 1
- Pariteettibitin kanssa Hamming etäisyys: 2
  - mikä on todennäköisyys 2 bitin (vs. 1 bitin) virheeseen?

Hamming koodi (2)



[Tane99]

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

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

(b) tarvitaan 3 'ylimääräistä' bittiä

(c) Joukot A ja C havaitsevat virheen ja siten paikallistavat virheellisen bitin

Täsmälleen 1 databitti identifioituu kerrallaan

Hamming koodi (9)

- Käytetään useampia pariteettibittejä
- Havaitsee: kahden bitin muuttuminen
- Korjaa: yhden bitin muuttuminen

Data: 100 1100

Bitti nro: 765 4321

4 bittiä dataa,
3 pariteettibittiä

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

Kutakin data-bittiä n tarkistavat ne pariteettibitit
joiden summana n voidaan esittää. Parillinen pariteetti.

$6 = 4 + 2 \Rightarrow$ databittiä 6 tarkistavat par. bitit 4 ja 2

Virheen korjaava Hamming koodi (8)

(ECC)

Data: 1001 1100

Bitti nro: 765 4321

1101 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 (flips)

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

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

2+4 = 6 $\Rightarrow$ korjaa bitti nro 6

Virheen korjaava Hamming koodi (ilman animaatioita)

Data: 100 1100

Bitti nro: 765 4321

110 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 (flips)

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

CRC - Cyclic Redundancy Code (7)

- Tiedonsiirrossa käytetty tarkistusmenetelmä
- Tarkistussumma (16 bittiä) isolle tietojoukolle
  - laske CRC = f (viesti*$2^{16)}$ % ($X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$)
    (huom! polynomijako)
  - lähetä viesti ja CRC
  - vastaanota viesti ja CRC
  - laske CRC ja tarkista oliko oikein (pitäisi olla 0!)
  - jos pielessä, niin pyydä uudelleenlähetystä

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

Virheiden tarkistusmenetelmien käyttöalueet

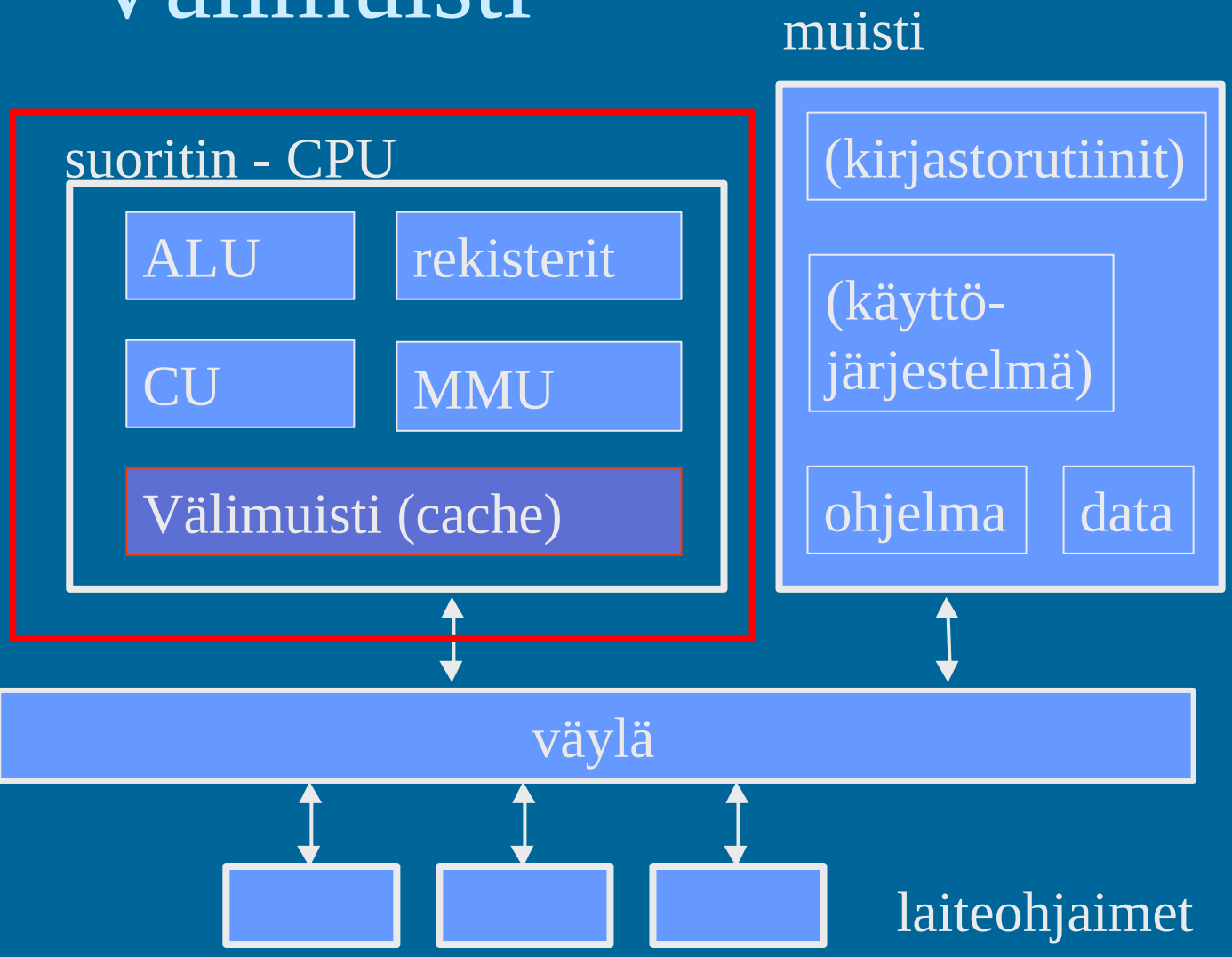
- Mitä lähempänä suoritinta, sitä tärkeämpää tiedon oikeellisuus on
- Sisäinen väylä, muistiväylä
  - virheet korjaava Hamming koodi
- Paikallisverkko
  - uudelleenlähetyksen vaativa CRC
  - kun tulee virheitä, niin niitä tulee yleensä paljon
    - Hamming koodi ei riitä kuitenkaan
    - pariteettibitti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

Laitteiden monistaminen (6)

- Monta muistipiiriä, samat tiedot monistettu
- Monta suoritinta, samat käskyjen suoritukset monistettu
- Monta laitteistoa, samat ohjelmat monistettu
- Eri tyyppiset laitteistot, samankaltaiset ohjelmat
  - samat speksit, samat syötteet, eri ohjelmoijat
- Äänestysmenettely: enemmistö voittaa
  - monimutkainen, hidas?
  - virheelliseksi havaittu laitteisto suljetaan pois häiriköimästä automaattisesti?

Lentokoneet, avaruussukkula, ydinvoimala, …

Välimuisti



Välimuisti (cache) (3)

- Ongelma: keskusmuisti on aika kaukana suorittimesta

rekisterin viittausaika: X
muistin viittausaika: 10X

- Ratkaisu: välimuisti lähelle suoritinta
  - pidetään siellä (kopioita) 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)

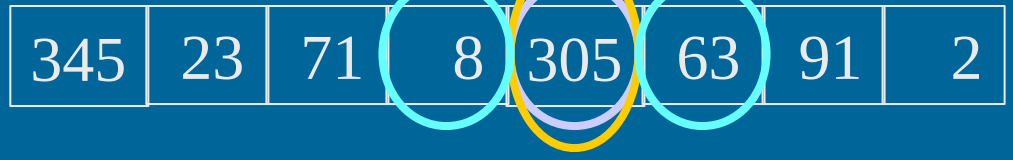
Välimuisti

Fig. 4.13 [Stal99]

- 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

Miksi välimuisti toimii? (5)

- Paikallisuusperiaate: tiettynä aikavälillä muistiviitteet kohdistuvat vain koko muistin pieneen osajoukkoon (locality principle)
- Ajallinen paikallisuus: on todennäköistä, että vähän aikaa sitten viitattuun tietoon viitataan uudelleen kohta (temporal locality)
- Alueellinen paikallisuus: on todennäköistä, että vähän aikaa sitten viitatun tiedon lähelle viitataan lähitulevaisuudessa (spatial locality)



Miten välimuisti toimii? (3)

Fig. 4.13 [Stal99]

- Välimuistissa on useita keskusmuistin lohkoja
  - esim. 4 sanaa / lohko

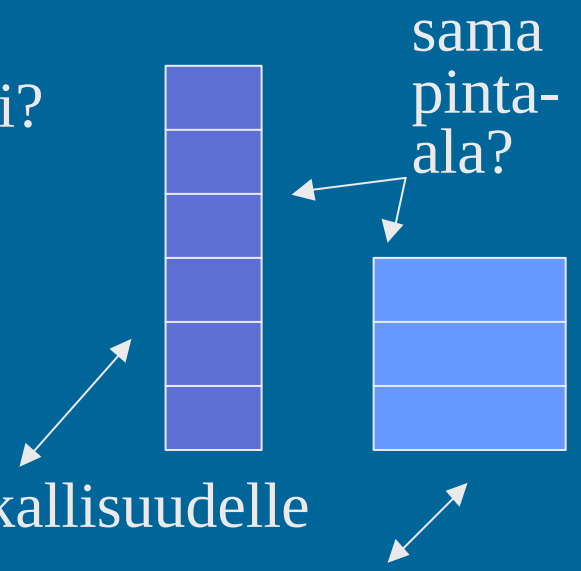
(cache block
cache line)

- 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

Välimuistin ominaisuuksia (5)

- Koko
  - isommasta löytyy enemmän dataa, mutta se voi olla hitaampi
- 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

Fig. 4.13 [Stal99]



Muistin toteutus (6)

- Eri teknologioita eri tasoisiin 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”

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 logiikkaporteilla (gate) kuin prosessorikin
  - CMOS valmistusteknologia (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

Muistin toteutus (7)

- ROM - Read-Only Memory
  - tieto säilyy virran katkettua (non-volatile)
  - 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)

Kirjoitettavia ROM-muisteja (6)

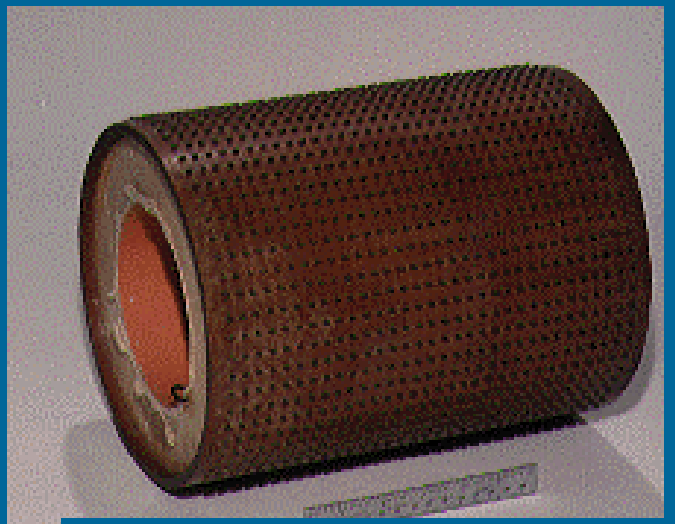
- PROM - Programmable ROM
  - kerran kirjoitettava
  - tiedon päivitys: ”polta” tiedot tyhjään PROM:iin
- EPROM - Erasable PROM
  - tietoja ei voi päivittää sana kerrallaan
  - vanhat tiedot voidaan (kaikki!) poistaa 20 min. UV-säteilyllä, jonka jälkeen päivitetyt tiedot voidaan ladata
- EEPROM - Electronically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

read-mostly memory

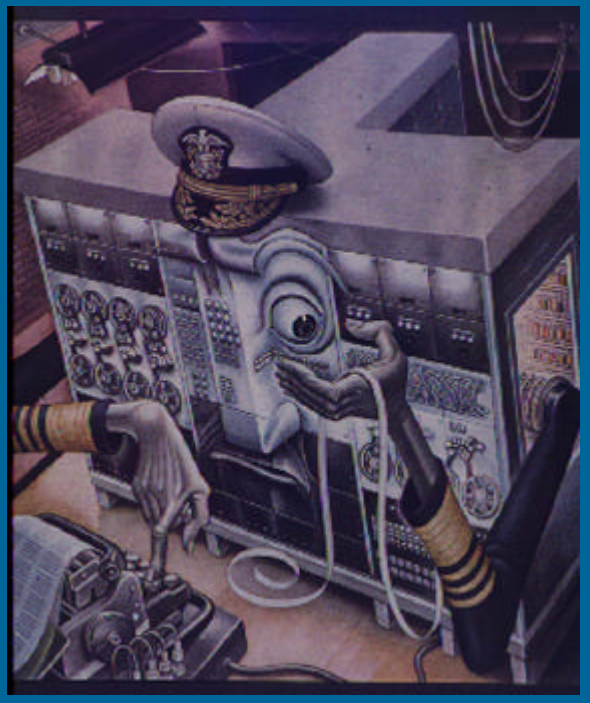
BIOS, CIH-virus

Muistien historiaa

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



30 numeroa á 50 bittiä

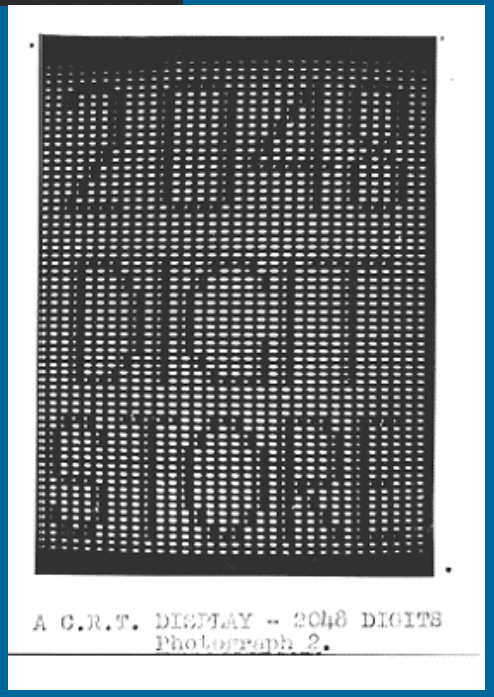


Artzybasheff
Time cover
1951

Muistien historiaa

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

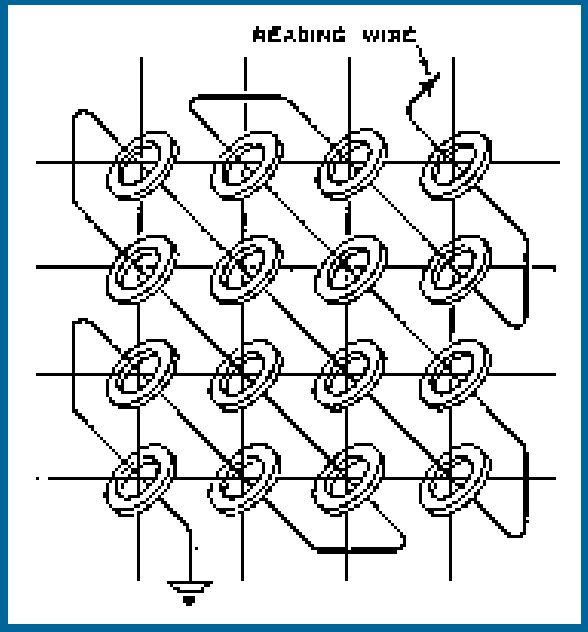
Tom Kilburn holding a Cathode Ray Tube

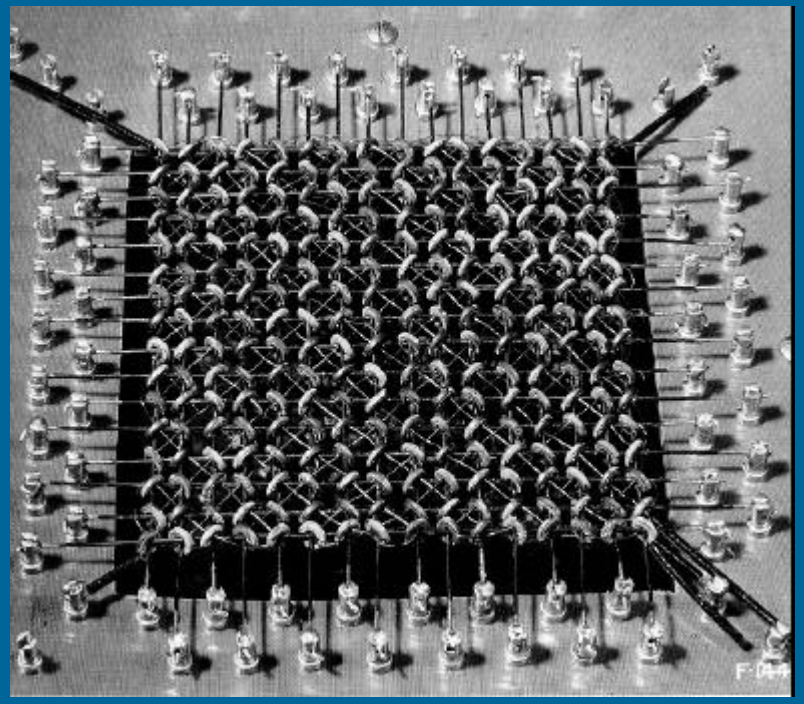


Storing 2048 bits on a CRT in 1947

Muistien historiaa

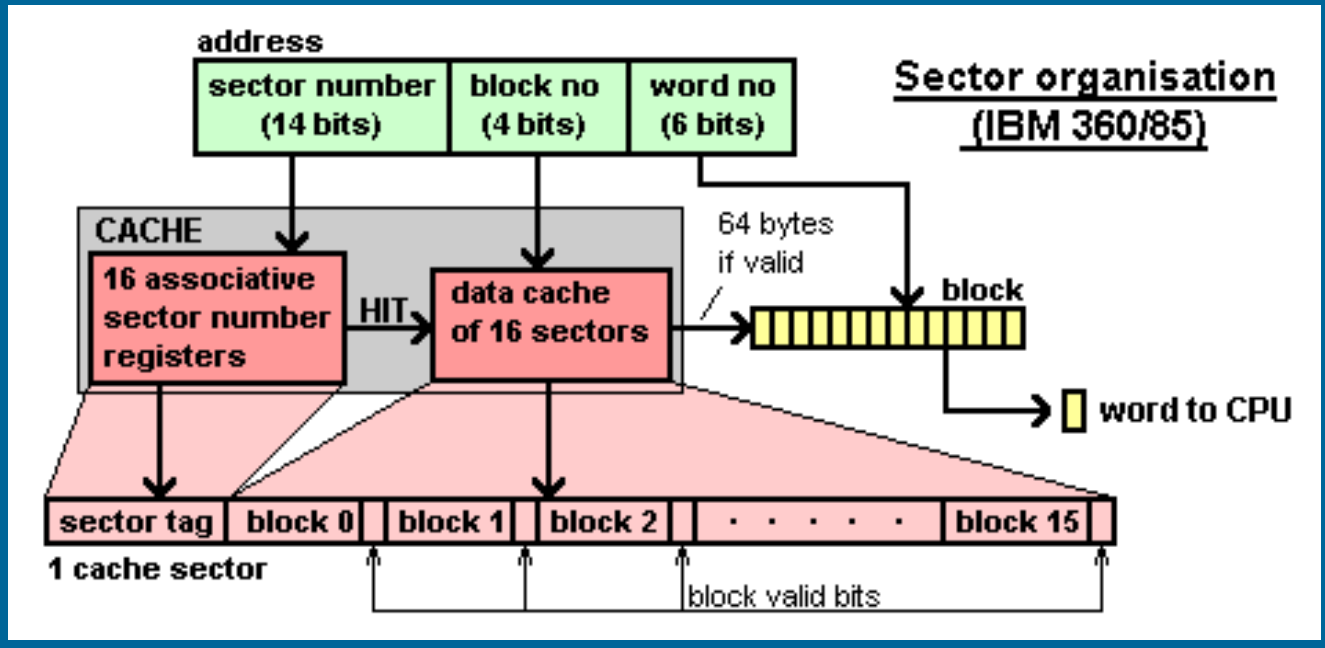
- Ferriittirengas (core) teknologia
  - 1952, Jay Forrester & Bob Everett, MIT (Whirlwind)
  - tieto säilyy ilman virtaa
  - ei häiriinny säteilystä (avaruus, sotilasteknologia)
  - 1955, valtaa markkinat Williams Tube’lta





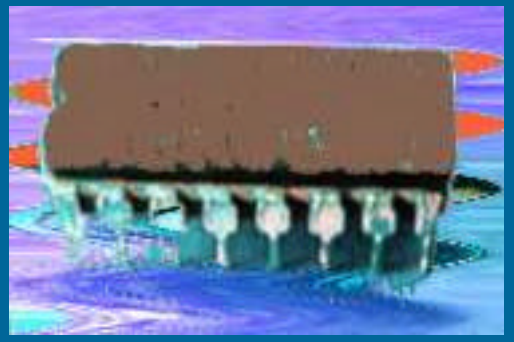
Muistien historiaa

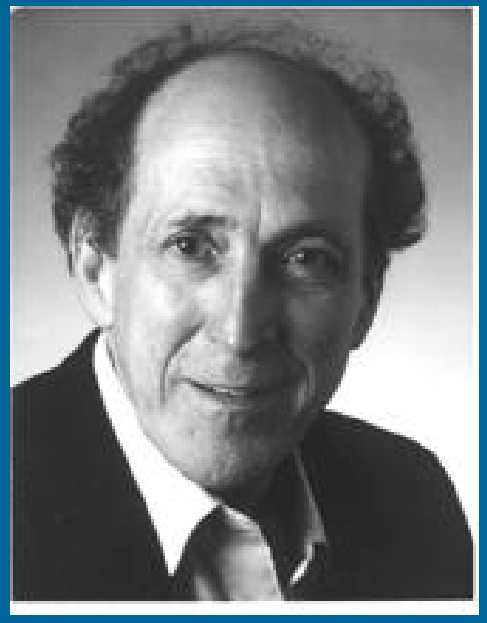
- Välimuisti (1965, Maurice Wilkes)
  - IBM S/360 Model 85
    - 1968
    - 256 lohkoa á 64 tavua



Muistien historiaa

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





Robert Dennard

Muistien historiaa

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

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

--

Jakson

7

loppu

--

Whirlwind Project, MIT, 1946- ...