Luento 7
Tiedon esitysmuodot (jatk)
Tiedon muuttumattomuuden tarkistus
Järjestelmän sisäinen muisti

Ohjelman esitysmuoto
Rakenteellinen tieto
Pariteetti
Hamming-koodi
Välimuisti
Tavallinen muisti
Muistien historiaa

 Copyright Teemu Kerola 2002

Konekäskyjen esitysmuoto muistissa (4)

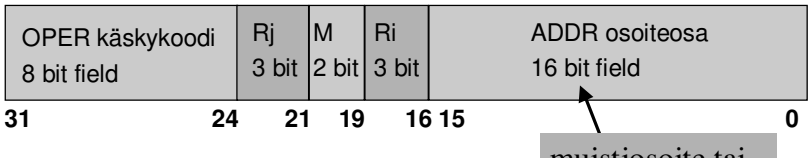
- Konekohtainen, jokaisella omansa
- Käskyt ovat 1 tai useamman tavun mittaisia
  - SPARC, kaikki käskyt: 1 sana eli 4 tavua
  - PowerPC, kaikki käskyt: 1 sana eli 4 tavua
  - Pentium II: 1-16 tavua, paljon variaatioita
- Käskyillä on yksi tai useampi muoto, kussakin tietty määrä erilaisia kenttiä
  - opcode, Ri, Rj, Rk, osoitusmoodi
  - pitkä tai lyhyt vakio

TTK-91, kaikki käskyt: 1 sana, 1 muoto

 Copyright Teemu Kerola 2002

TTK-91 konekäskyn rakenne

- Käskyn esitys bittitasolla on aina:



muistiosoite tai (pienehkö) vakio

Rj = käskyn ensimmäinen operandi

Ri = indeksirekisteri (R0 ≡ 0)

M = muistinoutojen määrä toiseen operandiin (addressing mode)
(ennen mahdollista muistiin talletusta)
00 eli 0 kpl, välitön osoitus (STORE: suora osoitus)
01 eli 1 kpl, suora osoitus (STORE: epäsuora osoit.)
10 eli 2 kpl, epäsuora osoitus (STORE: epäkelpo arvo)
(11 eli 3 kpl, epäkelpo arvo → poikkeustilanne)

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 3

Konekäskyn operandit ja tulos

- Tulos: rekisteri Rj
  - paitsi WRITE- tai PUSH-käskyissä muistipaikan sisältö
- Ensimmäinen operandi: rekisteri Rj
- Toinen operandi
  - laske ensin arvo Ri+ADDR ja käytä sitä sellaisenaan tai käytä sitä muistisoitteena

Konekielen tiedon osoitusmoodit

- arvo: Ri + ADDR
- muistipaikan M[Ri+ADDR] sisältö
- muistipaikan M[M[Ri+ADDR]] sisältö

jos Ri = R0, niin pelkkä ADDR

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 4

Taulukkojen esitysmuoto

- Peräkkäisrakenteena, kuten esimerkit aikaisemmin
- Riveittäin tai sarakeittain
- Ei omia konekäskyjä, manipulointi aliohjelmilla tai loopeilla
  (paitsi ns. vektorikoneet, joilla on omia konekäskyjä vektorioperaatioita varten)
- Indeksoitu tiedonosoitusmoodi tukee 1-ulotteisten taulukoiden käyttöä

 Copyright Teemu Kerola 2002

Tietueiden esitysmuoto

- Peräkkäisrakenteena
- Osoite on jonkin osoitemuuttujan arvo
- Ei omia konekäskyjä, manipulointi aliohjelmilla tai kääntäjän generoimien vakiolisäysten avulla
- Indeksoitu tiedonosoitusmoodi tukee tietueiden käyttöä

 Copyright Teemu Kerola 2002

Olioiden esitysmuoto

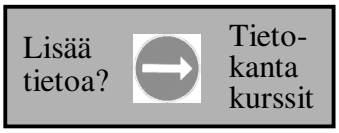
- Kuten tietueet, yleensä varattu keosta (heap)
- Useat olion kentistä sisältävät vuorostaan osoitteen keosta suoritusaikana varattuun toiseen olioon
- Metodit ovat aliohjelmien osoitteita
- Ei omia konekäskyjä, manipulointi aliohjelmilla

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 7

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 8

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!



07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 9

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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 10

Esimerkki ohjelmistotason tarkistusmerkistä (2)

- Henkilötunnus: 120464-121C

120464121 % 31 = 12

0123456789 ABCDEFHJKLMNPRSTUVWXY

10 11 12 30

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

Bittitason tarkistukset (5)

- Muistipiirit, levyt, väylät, tiedonsiirrot — 120464-121C
- Monenko bitin muuttuminen havaitaan? — Hetu: 1
- Monenko bitin muuttuminen voidaan automaattisesti korjata? — Hetu: 0
- Havaitsemiseen ja/tai korjaamiseen tarvitaan enemmän (ylimääräisiä) bittejä
  - lisämuistitilan tai levytilan tarve? — Hetu: +10%
  - lisäpiuhojen tarve väylällä?
- 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.

´A' = 0x41 = 0100 0001
2 bittiä
´B' = 0x42 = 0100 0010
1 bittiä
´C' = 0x43 = 0100 0011

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

Hamming koodi (4)

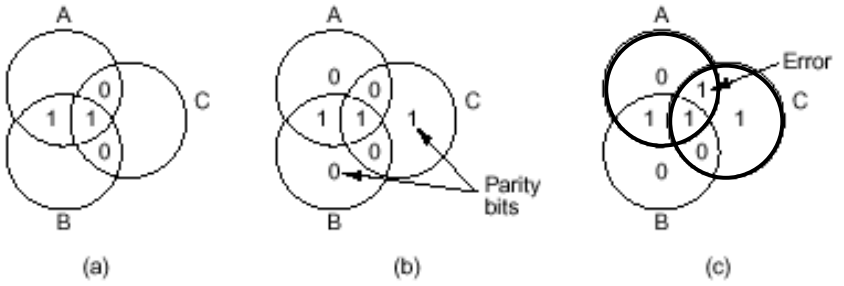


Figure 2-14. (a) Encoding of 1100. (b) Even parity added. (c) Error in *AC*.

[Tane99]

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

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

Täsmälleen 1 databitti identifioituu kerrallaan!

(b) Tarvitaan 3 ”ylimääräistä” bittiä!

 Copyright Teemu Kerola 2002

Hamming koodi (9)

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

Data + parit. 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 ⇒ databittiä 6 tarkistavat par. bitit 4 ja 2

 Copyright Teemu Kerola 2002

Virheen korjaava Hamming koodi (8)

(ECC)

Data: 100 1100 → 100 1100

Bitti nro: 765 4321 → 765 4321

1 = 00**1**
2 = 0**1**0
3 = 0**11**
4 = **1**00
5 = **1**0**1**
6 = **11**0
7 = **111**

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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 17

Virheen korjaava Hamming koodi (ilman animaatioita)

Data: 100 1100 → 110 1100

Bitti nro: 765 4321 → 765 4321

1 = 00**1**
2 = 0**1**0
3 = 0**11**
4 = **1**00
5 = **1**0**1**
6 = **11**0
7 = **111**

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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 18

CRC - Cyclic Redundancy Code (7)

- Tiedonsiirrossa käytetty tarkistusmenetelmä
- Tarkistussumma (16 bittiä) isolle tietojoukolle
  - laske CRC = f (viesti) % 2^{16}
  - lähetä viesti ja CRC
  - vastaanota viesti ja CRC
  - laske CRC ja tarkista, oliko se sama kuin viestissä
  - 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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 19

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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 20

Laitteiden monistaminen (6)

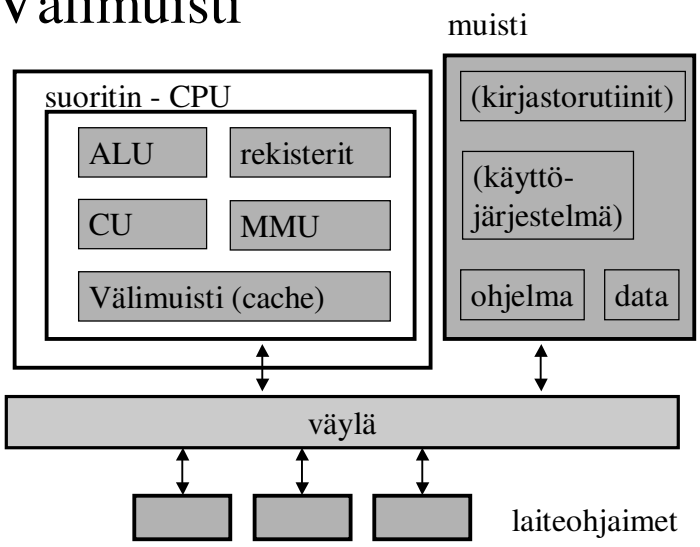
- Monta muistipiiriä, samat tiedot monistettu
- Monta suoritinta, samat käskyjen suoritukset monistettu
- Monta laitteistoa, samat ohjelmat monistettu
- Eri tyyppiset laitteistot, samankaltaiset ohjelmat
  - samat speksit, samat syötteet, eri ohjelmoijat
- Äänestysmenettely: enemmistö voittaa
  - monimutkainen,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

Lentokoneet, avaruussukkula, ydinvoimala, …

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 21

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 22

Välimuisti



07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 23

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, laitteistototeutus!
  - tee viittaus dataan (käskyyn) välimuistissa
  - (talleta muutettu tieto keskusmuistiin)

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 24

Välimuisti (6)

- Tuntumaton suorittimelle

Fig. 4.13 [Stal99]

  - jos viitattu tieto ei saatavilla, niin suoritin vain odottaa muutaman kellopulssin ajan…
- Toteutettu usein nopeammalla teknologialla kuin keskusmuisti (tavallinen muisti)
- Toteutettu nykyään usein samalla mikropiirillä kuin suoritin
- Silti iso aikaero: välimuisti 2X, muisti 10X
- TTK-91 koneessa ei ole välimuistia

Lisää tietoa? → tietokoneen rakenne -kurssi

Lisää tietoa? → käyttö-järjestelmä-kurssit

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 25

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 26

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”

 Copyright Teemu Kerola 2002

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: staattinen RAM, kalliimpi (~10-20x), 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)

 Copyright Teemu Kerola 2002

ROM teknologia (8)

- 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)

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 29

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

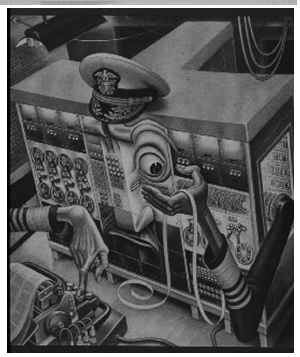
07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 30

 Copyright Teemu Kerola 2002

Muistien historiaa

- Kondensaattorirumpu
  - 1939, ABC, Atanasoff-Berry Computer, Iowa State College.
    - lähinnä laskin, ei toiminut
  - kondensattorit pyörivän rummun pinnalla

32 numeroa á 50 bittiä

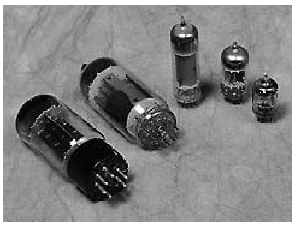


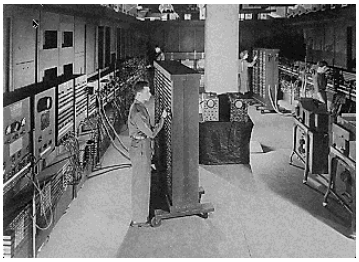
Artzybasheff
Time cover
1951

 Copyright Teemu Kerola 2002

Muistien historiaa

- Elektroniputki
  - logiikka, muisti
- ENIAC, 1945
  - Electronic Numerical Integrator and Computer
  - J.W. Mauchly, J.P. Eckert, J. von Neumann
  - 18,000 elektr. putkea
  - 70,000 vastusta
  - 5 milj. juotettua liitosta
  - tykinammusten ja pommien radanlaskenta



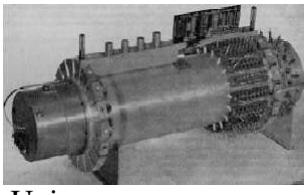


 Copyright Teemu Kerola 2002

Muistien historiaa

- Akustinen elohopeaviiveputki
  - kvartsikide muutti sähkövirran akustiseksi signaaliksi (ja päin vastoin) pietsosähköisen ilmiön avulla
  - 1000 bittiä per 1.45m putki
  - W. Shockley & J.P. Eckert, 1946
  - M. Wilkes, EDSAC – Electronic Delay Storage Automatic Calculator, 1949
  - Mauchly & Eckert, UNIVAC, 1951 (ens. kaupallinen tietokone USA:ssa)

Wilkes

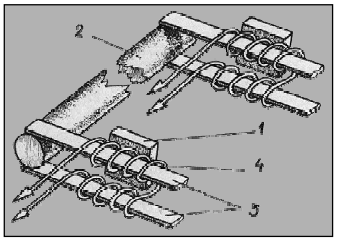


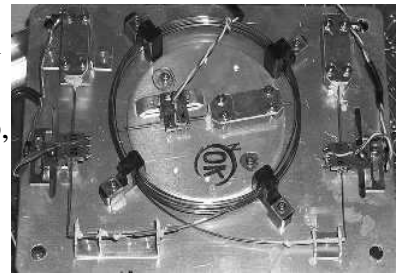
Univac memory

 Copyright Teemu Kerola 2002

Muistien historiaa

- Akustinen nikkeliviiveputki
  - magneettikenttä aiheuttaa pituussuuntaisen muodon-muutoksen tankoon ja siten vääntöpulssin johtimeen
  - vähän ajan päästä muutos tuntuu toisessa päässä ja aiheuttaa magneettikentän muutoksen siellä
  - Hazeltine Electronic Corp, 1950?
  - Elliot 401, 1953
  - Canon 141 laskin, 1969

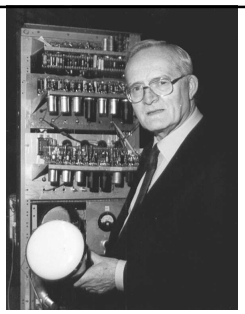




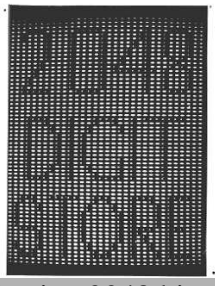
07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 35

Muistien historiaa

- Williams Tube
  - 1946, Williams & Kilburn
  - katodisädeputki
  - ensimmäinen suuri ”RAM” muisti
  - kallis: $1000 / 1 kk / putki
  - Small Scale Experimental Machine (”Baby”), 1947
  - Ferranti Mark I, ensimmäinen yleiskäyttöinen kaupallinen tietokone, 1951 (10000 bitin muisti)



Tom Kilburn holding a Cathode Ray Tube

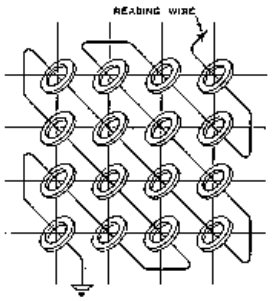


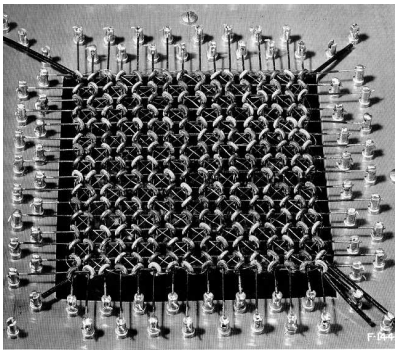
Storing 2048 bits on a CRT in 1947

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 36

Muistien historiaa

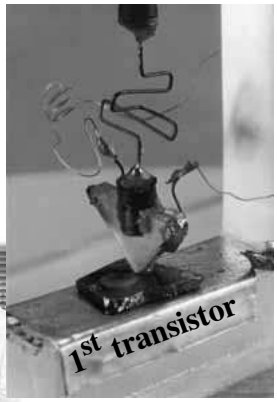
- Ferriittirengas (core) teknologia
  - 1952, Jay Forrester & Bob Everett, MIT (Whirlwind)
  - tieto säilyy ilman virtaa
  - ei häiriinny säteilystä (avaruus, sotilasteknologia)
  - 1955, valtaa muistimarkkinat Williams Tube'lta



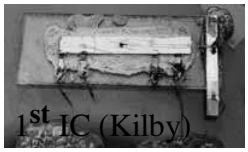


Muistien historiaa

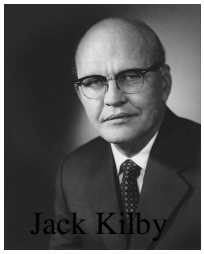
- Transistori
  - J. Bardeen, W.B. Shockley ja W. Brattain, ATT Bell Labs, 1948
    - Nobel 1956
  - MIT TX-0, 1957, ensimmäinen transistoroitu tietokone



Muistien historiaa


1st IC (Kilby)

- Integroitu piiri (ei enää johtoja)
  - Jack Kilby, Texas Instruments, 1958
    - Nobel 2000
    - ensimmäinen käsikäyttöinen laskin


Jack Kilby

  - Robert Noyce, Fairchild Semiconductor, 1959
    - ”planar process” valmistusmenet.
    - perusti Intelin G. Mooren kanssa
  - IBM S/360, 1964

Robert Noyce

 Copyright Teemu Kerola 2002

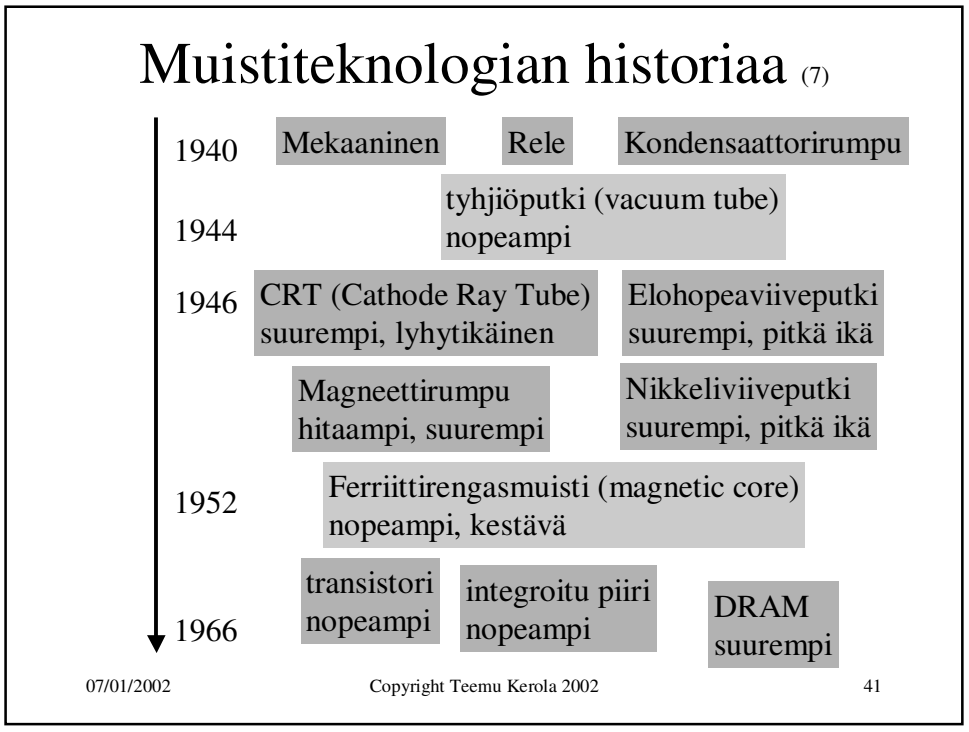
Muistien historiaa

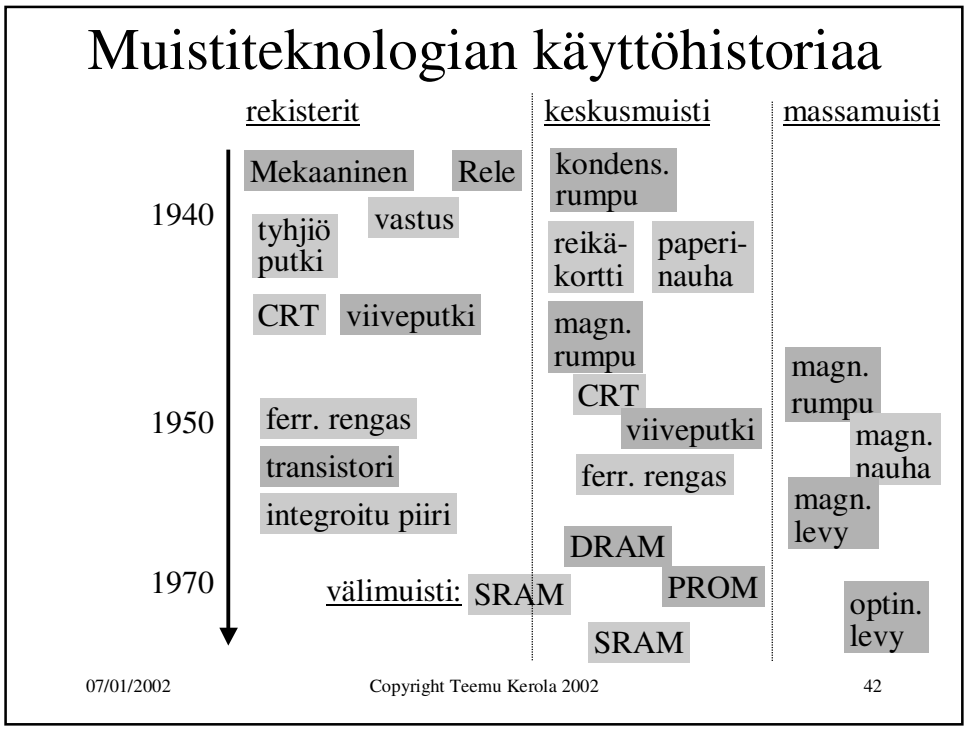
- DRAM
  - Robert Dennard, IBM, 1966
    - (US) National Medal of Technology 1988
  - Intel 1103 (1970)
    - John Reed
    - 1 Kbit
  - valtaa markkinat ferriitti-rengasmuisteilta 1972

Robert Dennard

- SRAM
  - 1970, Fairchild Corp

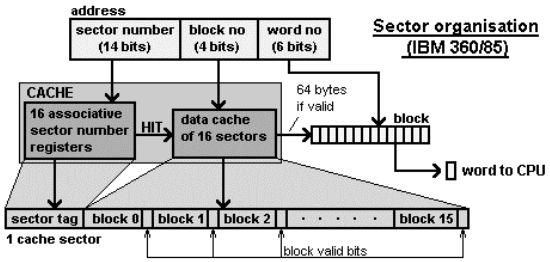
 Copyright Teemu Kerola 2002


Muistiteknologian historiaa (7)
1940
Mekaaninen
Rele
Kondensaattorirumpu
1944
tyhjiöputki (vacuum tube)
nopeampi
1946
CRT (Cathode Ray Tube)
suurempi, lyhytikäinen
Elohopeaviiveputki
suurempi, pitkä ikä
Magneettirumpu
hitaampi, suurempi
Nikkeliviiveputki
suurempi, pitkä ikä
1952
Ferriittirengasmuisti (magnetic core)
nopeampi, kestävä
transistori
nopeampi
integroitu piiri
nopeampi
DRAM
suurempi
1966
07/01/2002
Copyright Teemu Kerola 2002
41


Muistiteknologian käyttöhistoriaa
rekisterit
keskusmuisti
massamuisti
1940
Mekaaninen
Rele
vastus
tyhjiö
putki
CRT
viiveputki
kondens.
rumpu
reikä-
kortti
paperi-
nauha
magn.
rumpu
1950
ferr. rengas
transistori
integroitu piiri
CRT
viiveputki
ferr. rengas
magn.
rumpu
magn.
nauha
magn.
levy
1970
DRAM
välimuisti:
SRAM
PROM
SRAM
optin.
levy
07/01/2002
Copyright Teemu Kerola 2002
42

Muistien historiaa

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



Muistien historiaa

- PROM
  - ???
- EPROM
  - 1971, Dov Frohman, Intel 1701
- EEPROM,
  - 1980, Intel 2816
- Flash EEPROM
  - 1984, Fujio Masuoka, Toshiba

Fujio Masuoka

Muistien historiaa

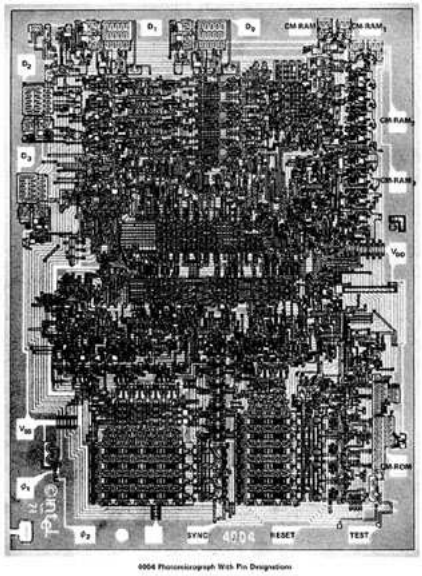
- OROM - optical ROM
  - 1990, James Russell
    (Russell keksi myös CD-ROM:n)
  - 1998, Wond-OROM-a
    - 128 MB/kortti plus lukulaite
    - ei liikkuvia osia
    - sama nopeus kuin CD-ROM:lla
      (siis aika hidas!)
    - pieni virrankulutus
    - sopii kannettaviin laitteisiin

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 45

-- Luennon 7 loppu --

Intel 4004, 1971

- Faggin, Hoff, Mazor
- Ens. suoritin lastulla
  3x4 mm, $200
- 2300 transistoria
- 4 bitin sana
- Laskinta varten
- Sama laskentateho kuin
  Eniacilla
  (18000 tyhjiöputkea)



07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 46