

Luento 7

Tiedon esitysmuodot (jatk)

Tiedon muuttumattomuuden tarkistus

Järjestelmän sisäinen muisti

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

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

1

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

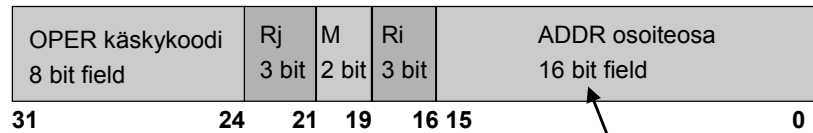
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

2

TTK-91 konekäskyn rakenne

- Käskyn esitys bittitasolla on aina:



Rj = käskyn ensimmäinen operandi

Ri = indeksirekisteri ($R0 \equiv 0$)

M = muistinoutojen määrä toiseen operandiin
(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)

muistiosoite tai
(pienekkö) vakio

(addressing
mode)

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

Kone-
kielen
tiedon
osoitus-
moodit

- 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 vektoriopeatioita varten)
- Indeksoitu tiedonosoitusmoodi tukee 1-ulotteisten taulukoiden käyttöä

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

5

Tietueiden esitysmuoto

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

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

6

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?

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

11

Bittitason tarkistukset ⁽⁵⁾

- Muistipiirit, levyt, väylät, tiedonsiirrot 120464-121C
- Monenko bitin muuttuminen Hetu: 1
havaitaan?
- 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

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

12

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

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

13

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?

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

14

Hamming koodi ⁽⁴⁾

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

[Tane99]

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

(b) Tarvitaan 3 ”ylimääräistä” bittia!

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

Täsmälleen 1 databitti identifioituu kerrallaan!

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 15

Hamming koodi ⁽⁹⁾

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

Data + parit. 100 1100 4 bittiä dataa,
3 pariteettibittiä

Bitti nro: 765 4321

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

07/01/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 16

Virheen korjaava Hamming koodi ⁽⁸⁾ (ECC)

Data: 1000 1100 100 1100

Bitti nro: 765 4321 765 4321

| | |
|---|---------|
| Pariteettibitti 1 tarkistaa bittejä 1, 3, 5, 7 | 1 = 001 |
| Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7 | 2 = 010 |
| Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7 | 3 = 011 |
| Tapahtuu virhe: bitti 6 muuttuu (flips) | 4 = 100 |
| Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7: VIRHE | 5 = 101 |
| Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7: VIRHE | 6 = 110 |
| $2+4 = 6 \Rightarrow$ <u>korjaa</u> bitti nro 6 | 7 = 111 |

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

| | |
|---|---------|
| Pariteettibitti 1 tarkistaa bittejä 1, 3, 5, 7 | 1 = 001 |
| Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7 | 2 = 010 |
| Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7 | 3 = 011 |
| Tapahtuu virhe: bitti 6 muuttuu (flips) | 4 = 100 |
| Pariteettibitti 2 tarkistaa bittejä 2, 3, 6, 7: VIRHE | 5 = 101 |
| Pariteettibitti 4 tarkistaa bittejä 4, 5, 6, 7: VIRHE | 6 = 110 |
| $2+4 = 6 \Rightarrow$ <u>korjaa</u> bitti nro 6 | 7 = 111 |

07/01/2002
Copyright Teemu Kerola 2002
18

CRC - Cyclic Redundancy Code ⁽⁷⁾

- Tiedonsiirrossa käytetty tarkistusmenetelmä
- Tarkistussumma (16 bittiä) isolle tietojoukolle
 - laske $CRC = f(\text{viesti}) \% 2^{16}$
 - 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
 - uudelleenlähetysten 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

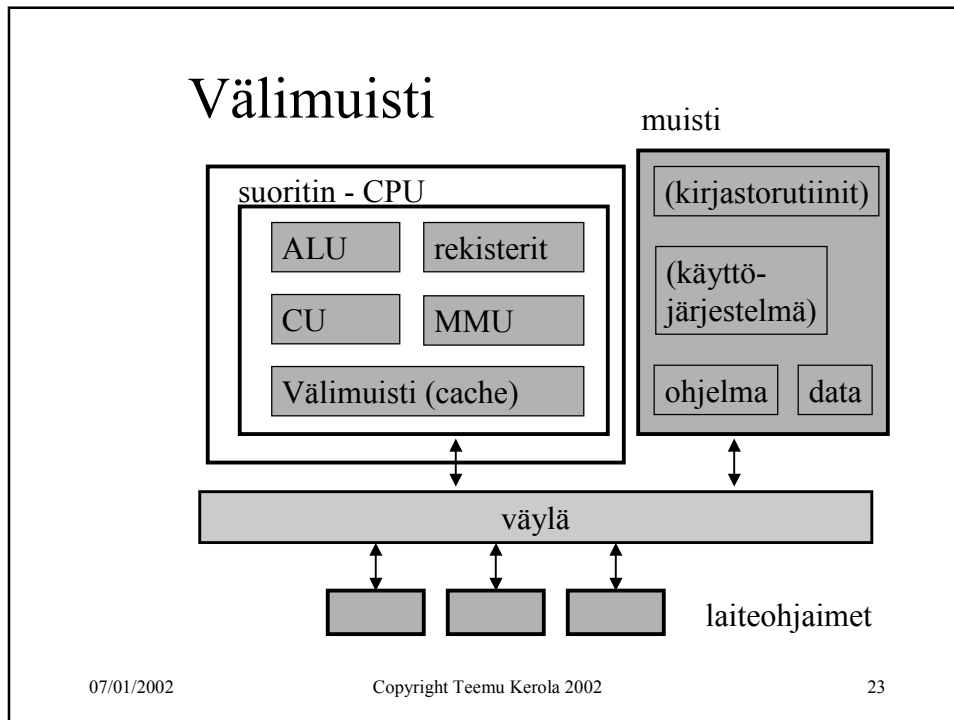
Copyright Teemu Kerola 2002

21

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

22



Välimuisti (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 \Rightarrow tiedot häviävät (volatile memory)

Huom: kaikki nykyiset muistit ovat ”random access”

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

27

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)

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

28

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 päivitetty tiedot voidaan ladata
- EEPROM - Electronically Erasable PROM
 - tietojen pyyhkiminen tavukohtaisesti elektronisesti
- FLASH EEPROM memory
 - tietojen pyyhkiminen nopeasti kerralla elektronisesti
 - normaalijännitteellä
 - nopeampi kuin EEPROM BIOS, CIH-virus

read-mostly memory

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

30

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

31

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

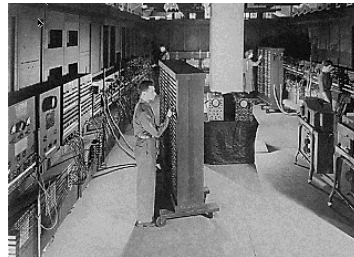
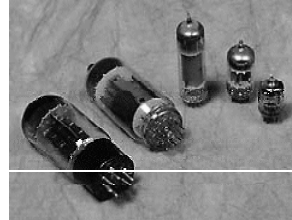
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

32

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



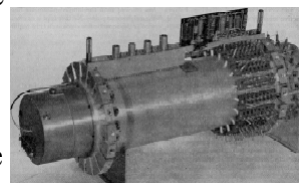
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

33

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)



Univac memory

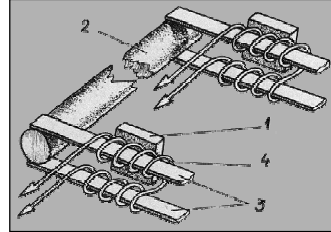
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

34

Muistien historiaa

- Akustinen nikkeliviiveputki
 - magneettikenttä aiheuttaa pituussuuntaisen muodonmuutoksen 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



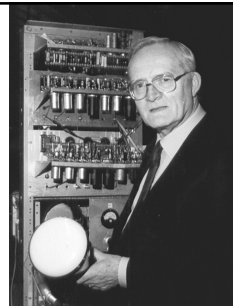
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

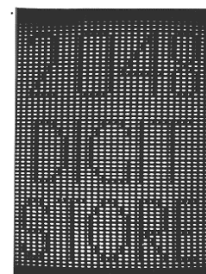
35

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

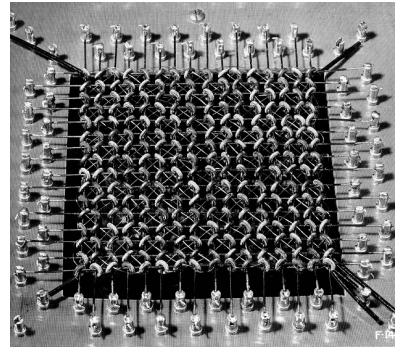
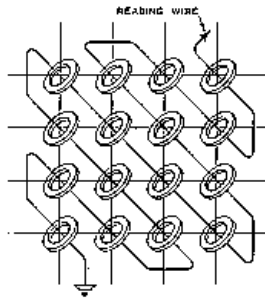
07/01/2002

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'ltä



07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

37

Muistien historiaa

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



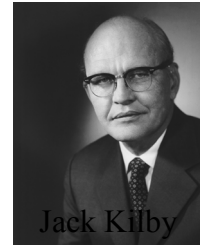
07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

38

Muistien historiaa

- Integroitu piiri (ei enää johtoja)
 - Jack Kilby, Texas Instruments, 1958
 - Nobel 2000
 - ensimmäinen käsikäyttöinen laskin
 - Robert Noyce, Fairchild Semiconductor, 1959
 - ”planar process” valmistusmenet.
 - perusti Intelin G. Mooren kanssa
 - IBM S/360, 1964



Jack Kilby



Robert Noyce

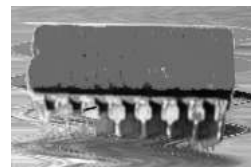
39

07/01/2002

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 ferriittirengasmuisteilta 1972
- SRAM
 - 1970, Fairchild Corp

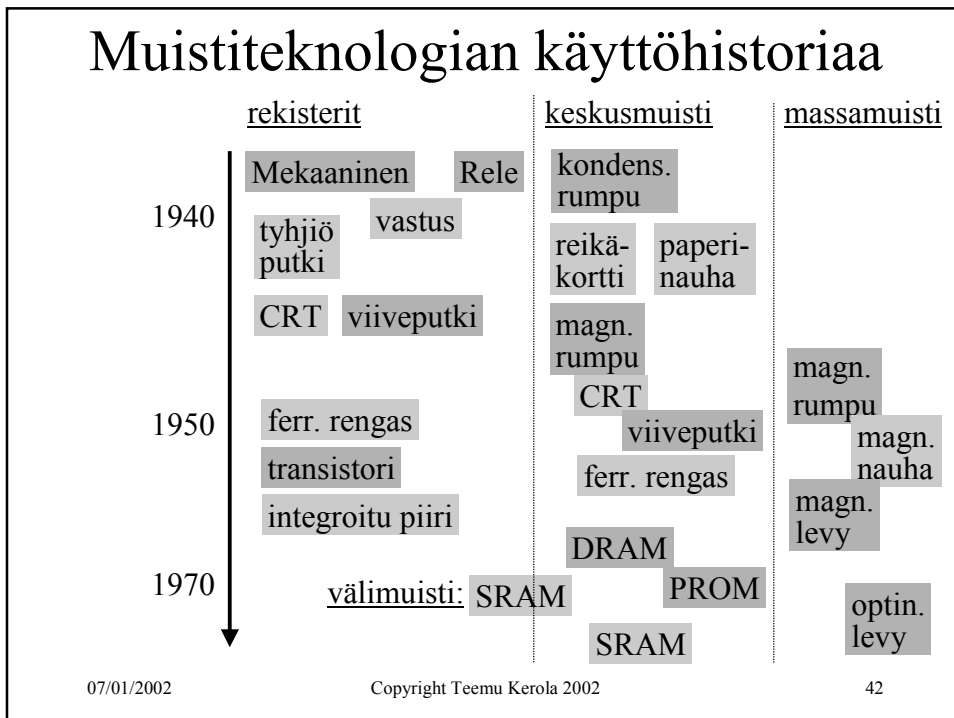
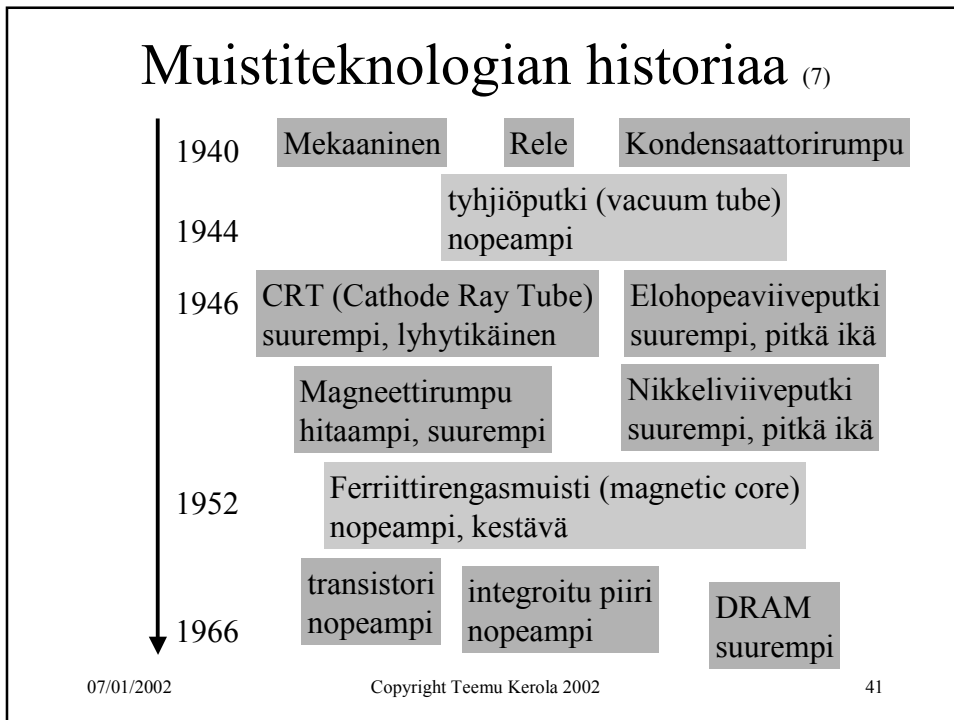


Robert Dennard

07/01/2002

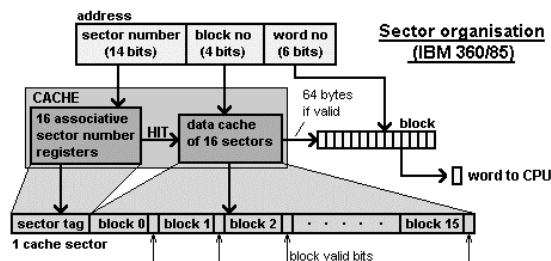
Copyright Teemu Kerola 2002

40



Muistien historiaa

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



07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

43

Muistien historiaa

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



Fujio
Masuoka

07/01/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

44

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

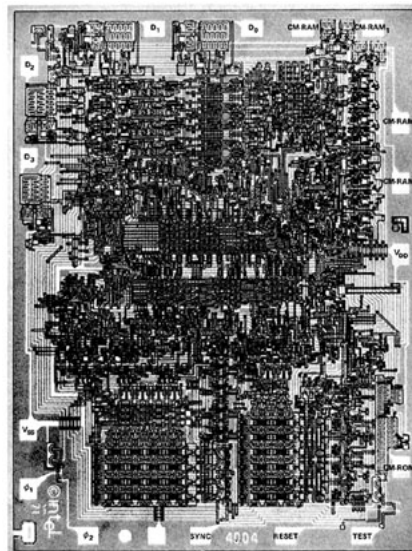
Copyright Teemu Kerola 2002

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