# Luento 3
# Konekielinen ohjelmointi (TTK-91, KOKSI)

Muuttujat

Tietorakenteet

Kontrolli

Optimointi

Tarkistukset

 Copyright Teemu Kerola 2002 

## Tiedon sijainti suoritusaikana (3)

- Muistissa (=keskusmuistissa)
  - iso — Esim. 256 MB, tai 64 milj. 32 bitin sanaa
  - hidas — Esim. 10 ns
  - data-alueella vai konekäskyssä vakiona?
- Rekisterissä
  - pieni — Esim. 256 B, tai 64 kpl 32 bitin sanaa
  - nopea — Esim. 1 ns — TTK-91: 8 kpl + PC + ...
- Probleemi: milloin muuttujan X arvo pidetään muistissa ja milloin rekisterissä?
  - missä päin muistia? miten siihen viitataan?

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Miten tietoon viitataan? (4)

- Tieto muistissa
  - muistiosoitteen (esim. 0x6F123456 tai 3459321) avulla
  - symbolin (esim. HenkTunn tai X) avulla symbolista konekieltä käytettäessä – symbolin arvo on muistiosoite
    - HenkTunn = 0x6F123456, X = 3459321
- Tieto välimuistissa
  - samalla tavalla kuin jos tieto olisi muistissa
  - viittaushetkellä ei tiedetä, kummasta paikasta tieto lopulta löytyy tai kauanko viittaamiseen kuluu aikaa!
- Tieto rekisterissä
  - rekisterin osoitteen (esim. 6 tai 18) avulla
- Tieto konekäskyssä (vakiona)
  - oletusarvoisesti, käskyssä on vain yksi paikka tiedolle



# ieto ja sen osoite (3)

```
X  DC    12
   ....
   LOAD  R1, =X
   LOAD  R2, X
```

int x =12;

muut-tujan X osoite on sym-bolin X arvo

symbolin X arvo muuttujan X osoite?

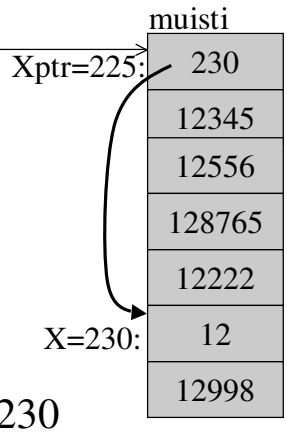
muuttujan X arvo

- Muuttujan X osoite on 230
- Muuttujan X arvo on 12
- Symbolin X arvo on 230
  - symbolit ovat yleensä olemassa vain käännösaikana!
  - Virheilmoituksia varten symbolitaulua pidetään joskus yllä myös suoritusaikana

| muisti | |
|---|---|
| 230 | |
| 12345 | |
| 12556 | |
| 128765 | |
| 12222 | |
| X=230: | 12 |
| 12998 | |

# Tieto ja sen osoite (6)

```
Xptr  DC   0
X     DC   12
      LOAD  R1, =X       ; R1 ← 230
      STORE R1, Xptr
      LOAD  R2, X        ; R2 ← 12
      LOAD  R3, @Xptr    ; R3 ← 12
```




- Muuttujan X osoite on 230
- Muuttujan X arvo on 12
- Osoitinmuuttujan (pointterin) Xptr osoite on 225
- Osoitinmuuttujan Xptr arvo on 230
- Osoitinmuuttujan Xptr osoittaman kokonaisluvun arvo on 12

C-kieli: Y = *ptrX

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 5

# Osoitinmuuttujat (5)

- Muuttujia samalla tavoin kuin kokonaislukuarvoiset muuttujatkin
  - muistissa olevalla osoitinmuuttujalla on osoite
- Arvo on jonkun tiedon osoite muistissa
  - globaalin yksi- tai monisanaisen tiedon osoite
    - muuttuja, taulukko, tietue, olio
  - keosta (heap, joskus ”kasa”) dynaamisesti (suoritusaikana) varatun tiedon osoite
    - Pascalin tai Javan ”new” operaatio palauttaa varatun muistialueen osoitteen (tai virhekoodin, jos operaatiota ei voi toteuttaa)
  - aliohjelman tai metodin osoite
    - osoite ohjelmakoodiin

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 6

# Globaali, kaikkialla näkyvä data (2)

- Globaalit muuttujat ja muut globaalit tietorakenteet sijaitsevat ttk-91 koneen muistissa ohjelmakoodin jälkeen
  - muuttujat

```
int  X = 25;
short Y;
float   Ft;
```

```
char Ch;
char Str[] = ”Pekka”;
boolean fBig;
```

  - tilan varaus

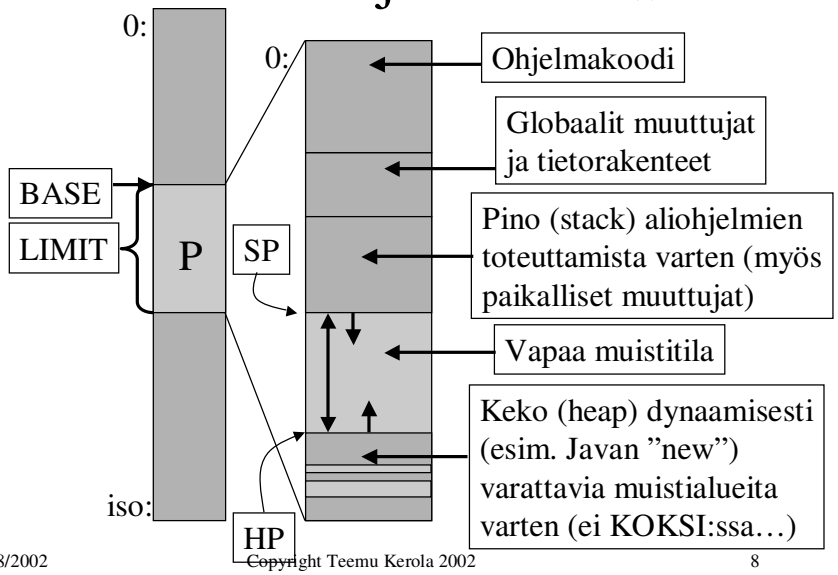
```
X       DC      15  ; alkuarvo 15
Taulu   DS      20  ; 20 sanaa
fBig    DC      1   ; 1=true, 0=false
```

  - viittaaminen

```
        LOAD        R1, X
        STORE       R2, Taulu(R1)
```

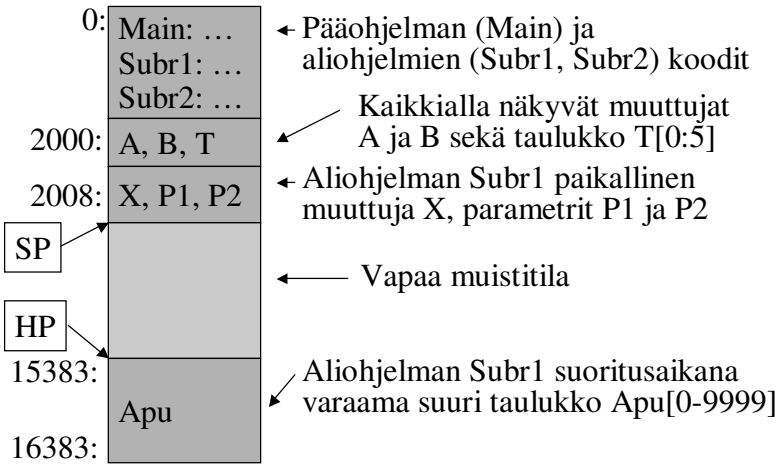
 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Muistitilan käyttö yhdelle ttk-91 ohjelmalle P (6)




 Copyright Teemu Kerola 2002 

## Esimerkki: ohjelman muistin (osoiteavaruuden) käyttö aliohjelman Subr1 suorituksen aikana




09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 9

## Muistissa oleva data (3)

- Globaali data — int X; function Print();
  - varataan ohjelman latauksen yhteydessä
  - kaikkialla viitattavissa nimen (osoitteen) avulla
- Dynaaminen data — Mach m = new Mach();
  - varataan tarvittaessa keosta suorituksen aikana
  - vapautetaan kun ei enää tarvita (ei Koksissa)
  - viittaus varauksen jälkeen osoitteen avulla
- Aliohjelmien paikallinen data — parametrit, paik. muuttuja
  - varataan pinosta kutsuhetkellä
  - vapautetaan rutiinista paluun yhteydessä
  - viittaus aliohjelman sisällä osoitteen avulla

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 10

# Tiedon sijainti suoritusaikana (4)

- Rekisteri (nopein)
  - kääntäjä päättää milloin muuttujan arvo on rekisterissä
- Välimuisti (nopea)
  - laitteisto hoitaa automaattisesti joillekin muistialueille
- Muisti (hidas)
  - kääntäjä/lataaja valitsee sijaintipaikan
    - globaali data ohjelman latauksen yhteydessä
    - vakiot konekäskyssä
  - ohjelma sijoittaa suoritusaikana
    - aliohjelmien paikalliset muuttujat, parametrit
  - käyttöjärjestelmä sijoittaa suoritusaikana
    - dynaaminen data keossa suorituksen aikana
- Levy, levypalvelin (liian hidas, ei mahdollista)
  - vaatii käyttöjärjestelmän varusohjelmien apua



# Ohjelmoinnin peruskäsitteet (4)

- Aritmeettinen lauseke
  - miten tehdä laskutoimitukset?
- Yksinkertaiset tietorakenteet
  - yksiulotteiset taulukot, tietueet
- Kontrolli – mistä seuraava käsky?
  - valinta: if-then-else, case
  - toisto: for-silmukka, while-silmukka
  - aliohjelmat, virhetilanteet
- Monimutkaiset tietorakenteet
  - listat, moniulotteiset taulukot

# Aritmeettinen lauseke (3)

tilan varaus

```
A       DC      0
B       DC      0
C       DC      0
```

```
int  a, b, c;
…
b = 34;


a = b + 5 * c;
```

koodi

```
        LOAD    R1, =34
        STORE   R1, B
        ....
        LOAD    R1, B
        LOAD    R2, C
        MUL     R2, =5
        ADD     R1, R2
        STORE   R1, A
```

tai:

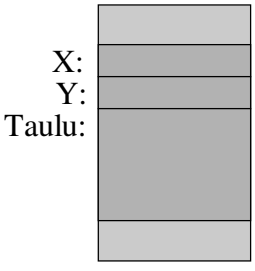
```
LOAD R1,=5
MUL  R1,C
ADD  R1, B
STORE R1,A
```



# Globaalin taulukon tilan varaus ja käyttö (3)

```
int X, Y;
int Taulu[30];
…
X = 5;
Y = Taulu[X];
```

```
X       DC      0
Y       DC      0
Taulu   DS      30
        …
        LOAD    R1, =5
        STORE R1, X
        LOAD    R1, X
        LOAD    R2, Taulu(R1)
        STORE R2, Y
```




Optimoiva kääntäjä osaisi jättää pois jälkimmäisen ”LOAD R1,X” käskyn

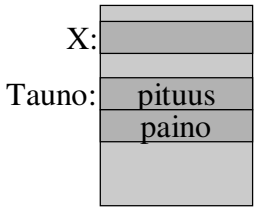
# Globaalien tietueiden tilan varaus ja käyttö (3)

```
int X;
struct Tauno {
        int Pituus;
        int Paino;
        }
…
X = Tauno.Paino
```

Kentän ”Paino” suhteellinen osoite tietueen Tauno sisällä

```
X       DC    0
Tauno   DS    2
Pituus  EQU   0
Paino   EQU   1
…
LOAD R1,=Tauno
LOAD R2, Paino(R1)
STORE R2, X
```

Tietueen osoite on sen ensimmäisen sanan osoite




09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 15

# Kontrolli - valinta konekielellä (3)

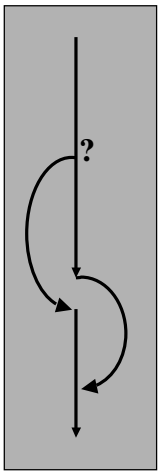
- Ehdoton hyppy
  - JUMP, CALL ja EXIT, SVC ja IRET
- Hyppy perustuen laiterekisterin arvoon (vrt. 0)
  - JZER, JPOS, ...
- Hyppy perustuen aikaisemmin asetetun tilarekisterin arvoon
  - COMP
  - JEQU, JGRE, …
  - Ongelma vai etu: ttk-91:ssä kaikki ALU käskyt asettavat tilarekisterin
    - ADD, SUB, MUL, DIV, NOT, AND, OR, XOR, SHL, SHR

```
COMP  R2, LIMIT
JEQU  LOOP
```

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 16

# If-then-else -valinta (2)

```
if (a<b)
    x = 5;
else
    x = y;
```




```
        LOAD   R1, A
        COMP   R1, B
        JNLES  Else
        LOAD   R1, =5
        STORE  R1, X
        JUMP   Done
Else    LOAD   R1, Y
        STORE  R1, X
Done    NOP
```

vai olisiko tämä parempi:

```
        LOAD   R2, Y
        LOAD   R1, A
        COMP   R1, B
        JNLES  Else
        LOAD   R2, =5
ELSE    STORE  R2, X
```

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 17

# Case lauseke (2)

```
switch (lkm) {
  case 4:  x = 11;
           break;

  case 0:  break;

  default: x = 0;
           break;
  }
```

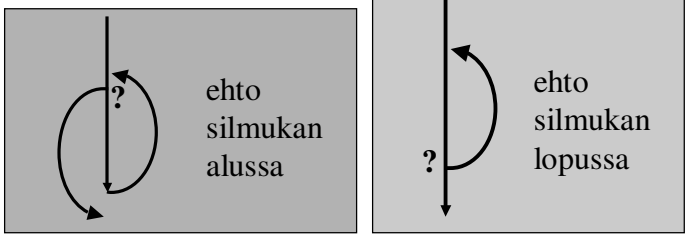
Onko case-tapausten järjestyksellä väliä?

```
Swi     LOAD R1, Lkm

Vrt4    COMP  R1,=4
        JNEQ  Vrt0
        LOAD  R2, =11
        STORE R2, X
        JUMP  Cont

Vrt0    COMP  R1, =0
        JNEQ  Def
        JUMP  Cont

Def     LOAD  R2,=0
        STORE R2, X

Cont    NOP
```

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 18

# Toistolausekkeet (2)

- For-step-until -silmukka
- Do-until -silmukka
- Do-while -silmukka
- While-do –silmukka
- ...




09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 19

# For lauseke (3)

```
I       DC     0
        …
        LOAD  R1, =20
        STORE R1, I
for (int i=20; i < 50; ++i)
      T[i] = 0;
Loop    LOAD  R2, =0
        LOAD  R1, I
        STORE R2, T(R1)
        LOAD  R1, I
        ADD   R1, =1
        STORE R1, I
        LOAD  R3, I
        COMP  R3, =50
        JLES  Loop
```

Olisiko parempi pitää i:n arvo rekisterissä? Miksi? Milloin?

Mikä on i:n arvo lopussa? Onko sitä olemassa?

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 20

# While-do -lauseke (2)

```
X = 14325;
Xlog = 1;
Y = 10;
while (Y < X) {
        Xlog++;
        Y = 10*Y
        }
```

```
        LOAD   R1, =14325
        STORE R1, X
        LOAD  R1, =1   ; R1=Xlog
        LOAD  R2, =10 ; R2=Y
While   COMP  R2, X
        JNLES  Done
        ADD     R1, =1
        MUL     R2, =10
        JUMP    While
Done    STORE  R1, Xlog ; talleta tulos
        STORE  R2, Y
```

Mitä kannattaa pitää muistissa?

Mitä kannattaa pitää rekisterissä ja milloin?

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Koodin generointi (9)

- Kääntäjän viimeinen vaihe
  - voi olla 50% käännösajasta
- Tavallisen koodin generointi
  - alustukset, lausekkeet, kontrollirakenteet
- Optimoidun koodin generointi
  - käännös kestää (paljon) kauemmin
  - suoritus tapahtuu (paljon) nopeammin
  - milloin globaalin/paikallisen muuttujan X arvo kannattaa pitää rekisterissä ja milloin ei?
  - Missä rekisterissä X:n arvo kannattaa pitää?

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Optimoitu For lauseke (3)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)
        T[i] = 0;
```

```
        LOAD  R1, =20 ; i
        LOAD  R2, =0  ; 0
Loop    STORE R2, T(R1)
        ADD   R1, =1
        COMP  R1, =50
        JLES  Loop
```

Mitä eroja? Onko tämä OK?

122 vs. 272 suoritettua käskyä!
muuttujan i arvo lopussa?
152 vs. 452 muistiviitettä!

alkuperäinen koodi

```
I       DC    0
        …
        LOAD  R1, =20
        STORE R1, I

Loop    LOAD  R2, =0
        LOAD  R1, I
        STORE R2, T(R1)

        LOAD  R1, I
        ADD   R1, =1
        STORE R1, I

        LOAD  R3, I
        COMP  R3, =50
        JLES  Loop
```



# Virhetilanteisiin varautuminen (3)

- Suoritin tarkistaa käskyn suoritusaikana
  - ”automaattinen”
  - integer overflow, divide by zero, ...

```
ADD   R1, R2  ; overflow??
DIV   R4, =0  ; divide-by-zero
```

- Generoidut konekäskyt tarkistavat ja explisiittisesti aiheuttavat keskeytyksen tai käyttöjärjestelmän palvelupyynnön tarvittaessa
  - ”manuaalinen”
  - index out of bounds, bad method, bad operand
  - ihan mitä vain haluat testata!

```
                COMP  R1, Tsize      ; indeksin rajatarkistus
                JLES  IndexOK
                SVC   SP, =BadIndex ; käyttöjärj. huolehtii
IndexOK         STORE R2, Taulu(R1) ; R1 = 12 345 000 ??
```

# Taulukon indeksitarkistus (1)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)
        T[i] = 0;
```

```
I       DC    0

T       DS    50  ; data
Tsize   DC    50  ; koko
        …
```

Voisiko loopin kontrollia ja indeksin tarkistusta yhdistää? Optimoiva kääntäjä osaa!

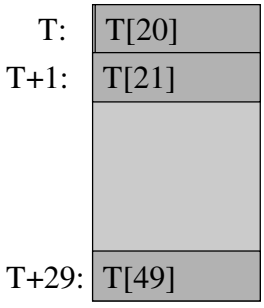
```
        LOAD  R1, =20
        STORE R1, I
Loop    LOAD  R2, =0
        LOAD  R1, I
        JNNEG R1, ok1
        SVC   SP,=BadIndex
ok1     COMP  R1, Tsize
        JLES  ok2
        SVC   SP, =BadIndex
ok2     STORE R2, T(R1)
        LOAD  R1, I
        ADD   R1, =1
        STORE R1, I ; 50 OK!
        LOAD  R3, I
        COMP  R3, =50
        JLES  Loop
```



# Taulukon alaindeksi ei ala nollasta (ei animoitu)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)
        T[i] = 0;
```

```
I       DC    0

T       DS  30 ; 30 alkiota
Tlow    DC  20 ;alaraja
Thigh   DC  50 ;yläraja+1
        …
```




indeksitarkistukset...

# Taulukon alaindeksi ei ala nollasta (3)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)
        T[i] = 0;
```

```
I       DC    0

T       DS  30 ; 30 alkiota
Tlow    DC  20 ;alaraja
Thigh   DC  50 ;yläraja+1
        …
```

indeksitarkistukset...

```
        LOAD  R1, =20
        STORE R1, I

Loop    LOAD  R2, =0
        LOAD  R1, I
        SUB   R1, Tlow
        STORE R2, T(R1)

        LOAD  R4, I
        ADD   R4, =1
        STORE R4, I

        LOAD  R3, I
        COMP  R3, =50
        JLES  Loop
```

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 27

# Moni-ulotteiset taulukot (3)

- Ohjelmointikieli voi tukea suoraan moni-ulotteisia taulukoita

```
X = Tbl[i, j];
```

```
Y = Arr[k][6][y+2];
```

- Toteutus konekielitasolla aina (useimmissa arkkitehtuureissa) yksiulotteinen taulukko
  - vain yksi indeksirekisteri konekäskyssä
- Moniosainen toteutus
  - laske alkion osoite yksi-ulotteisessa taulukossa
  - käytä indeksoitua osoitusmoodia tiedon viittaukseen

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 28

# 2-ulotteiset taulukot (6)

```
int[][]  T = new int[4] [3];
…
Y = T[i][j];
```

```
T       DS      12
Trows   DC      4
Tcols   DC      3
        …
        LOAD    R1, I

        MUL     R1, Tcols
        ADD     R1, J

        LOAD    R2, T(R1)
        STORE R2, Y
```

Esimerkki I=1, J=2 ?

R1

R1

T:

| | | |
|---|---|---|
| 0,0 | 0,1 | 0,2 |
| 1,0 | 1,1 | 1,2 |
| 2,0 | 2,1 | 2,2 |
| 3,0 | 3,1 | 3,2 |

looginen

T:

| |
|---|
| T[0][0] |
| T[0][1] |
| T[0][2] |
| T[1][0] |
| T[1][1] |
| T[1][2] |
| T[2][0] |
| T[...][...] |

fyysinen

Tarkistukset…. ?

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 29

# Moni-ulotteiset taulukot (3)

- Talletus riveittäin
  - C, Pascal, Java?
- Talletus sarakkeittain
  - Fortran
    - 3- tai useampi ulotteiset
      - vastaavalla tavalla!

T:

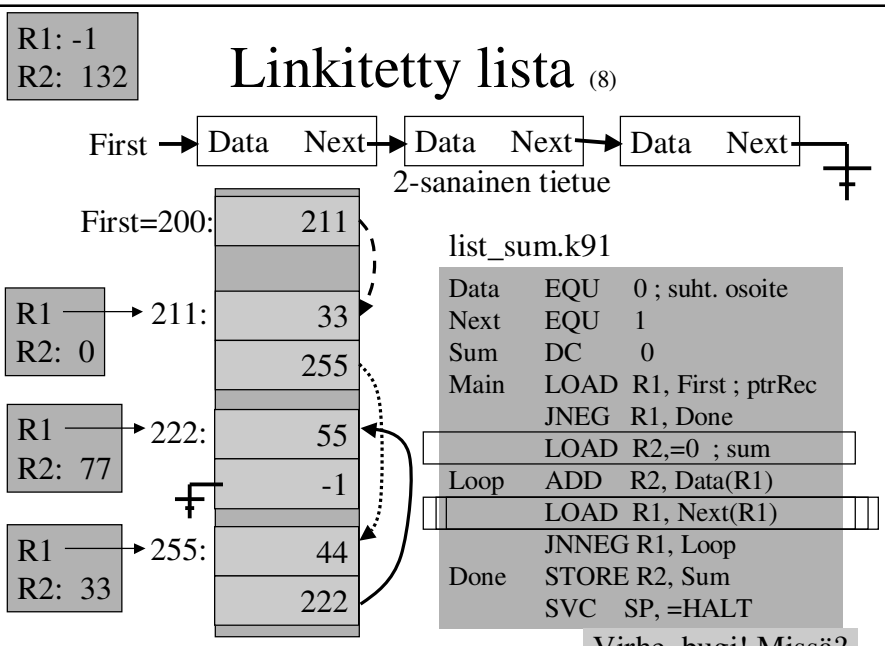
| |
|---|
| T[0][0] |
| T[0][1] |
| T[0][2] |
| T[1][0] |
| T[1][1] |
| T[1][2] |
| T[2][0] |
| T[...][...] |

T:

| |
|---|
| T[0][0] |
| T[1][0] |
| T[2][0] |
| T[3][0] |
| T[0][1] |
| T[1][1] |
| T[2][1] |
| T[...][...] |

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 30

# Linkitetty lista (8)




09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 31

# Monimutkaiset tietorakenteet

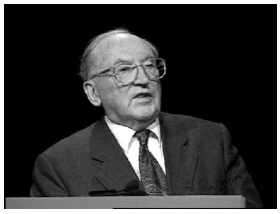
- 2-ulotteinen taulukko T, jonka jokainen alkio on tietue, jossa neljä kenttää:
  - pituus
  - ikä
  - viime vuoden palkka kunakin kuukautena
  - viime vuoden töissäolopäivien lukumäärä kunakin kuukautena
- Talletustapa?
- Viitteet? `X = T[yliopNum][opNum].palkka[kk];`
- Tarkistukset?

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 32

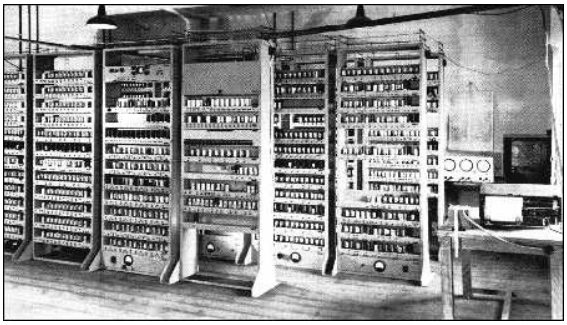
# EDSAC

(Electronic Delay Storage Automatic Computer)

- Ensimmäinen toimiva ”todellinen” tietokone
  - ohjelma ja data samassa muistissa
  - Maurice Wilkes, Cambridge University
  - 1949
  - 256 sanan muisti
    - elohopeasäiliöteknologia
  - 35-bitin sanat



# EDSAC



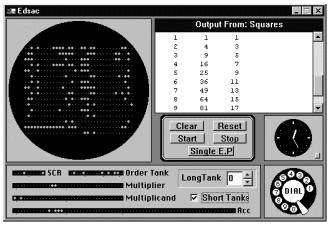
Laitteisto Muisti



# EDSAC Simulator

Symbolinen konekieli

```
PRINT SQUARES

          31 |  T  123 S |  ] As required
             |           |    initial in
enter →   32 |  E   84 S |    Jump to 84
          ---+-----------+
          33 |  P      S |  ] Used to kee
             |           |    of subtrac
          34 |  P      S |  ] Power of 10
             |           |    subtracted
          35 |  P10000 S |  ]
          36 |  P 1000 S |  ] For use in
          37 |  P  100 S |  ]  binary con
          38 |  P   10 S |  ]
          39 |  P    1 S |
          40 |  Q      S |
          41 |  π      S |    Figures
          42 |  A   40 S |
```




http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/

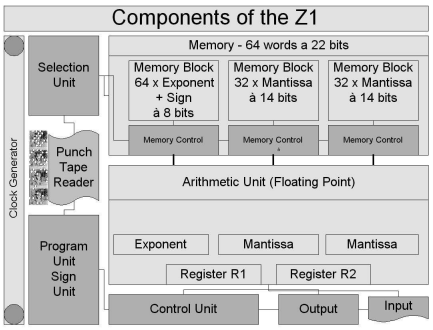
Konekieli

```
[Squares]
T123SE84SPSPSP10000SP1000SP100SP10SP1S
QS#SA40S!SaS@S043S033SPSA46S
T65ST129SA35ST34SE61ST48SA47ST65SA33SA40S
T33SA48SS34SE55SA34SPST48ST33SA5ZSA4S
U5ZSS4ZSG5lSAll7ST5ZSPSPSPSPSPS
E110SE118SP100SE95S041ST129S044S045SA76SA4S
U76ST48SA83ST75SE49S043S043SH76SV76SL64S
L32SU77SS78ST79SA77SU78ST48SA80ST75SE49S
043S043SA79ST48SA81ST75SE49SA35SA76SS8ZS
G8SS041SZS
```

# -- Luennon 3 loppu --

Konrad Zuse: Z1 (1938)

- mekaaninen ”laskin”, kellotaajuus 1 Hz (käännä kampea!)
- kertolasku 5 s
- datamuisti 64W à 24b
- ohjelma reikänauhalta (filmiltä)



http://irb.cs.tu-berlin.de/~zuse/Konrad_Zuse/en/Rechner_Z1.html

09/08/2002 Copyright Teemu Kerola 2002 37