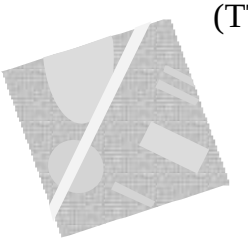
Jakso 3
Konekielinen ohjelmointi (TTK-91, KOKSI)



Muuttujat
Tietorakenteet
Kontrolli
Optimointi
Tarkistukset

Tiedon sijainti suoritusaikana

- Muistissa (=keskusmuisti)
  - iso — Esim. 256 MB tai 64 milj. 32 bitin sanaa
  - hidas — Esim. 10 ns
- Rekisterissä
  - pieni — Esim. 256 B tai 64 kpl 32 bitin sanaa
  - nopea — Esim. 1 ns — TTK-91: 8 kpl +PC + ..
- Ongelma: milloin X:n arvo pidetään muistissa, milloin rekisterissä
  - Missä kohtaa muistissa? Miten siihen viitataan?

Tieto ja sen osoite (3)

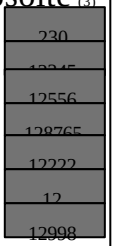
Muuttujan x osoite on symbolin X arvo

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

symbolin X arvo

muuttujan X arvo

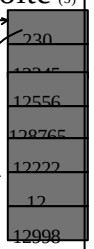
```
int x =12;
```



- 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

Tieto ja sen osoite (5)

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



- 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

Osoitinmuuttujat

- Muuttujia samalla tavoin kuin kokonaislukuarvoiset muuttujatkin
- Arvo on jonkun tiedon osoite muistissa
  - globaalin monisanaisen tiedon osoite
    - taulukot, tietueet, oliot
  - kasasta (heap) 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!

Globaali, kaikkialla näkyvä data (2)

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

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

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

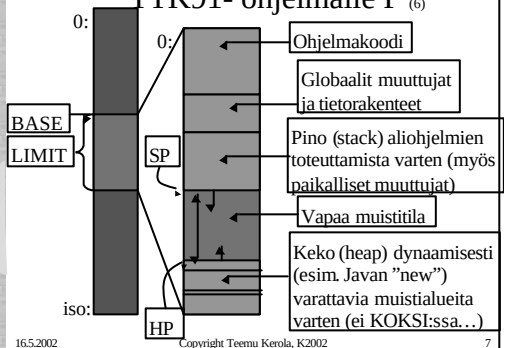
  - tilan varaus

```
X     DC    25 ; alkuarvo = 25
Y     DC    0
fBig  DC    1 ; 1=true, 0=false
```

  - viittaaminen

```
      LOAD    R1, X
      STORE   R2, Y
```

Muistitilan käyttö yhdelle TTK91- ohjelmalle P (6)



16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 7

Muistissa oleva data

- Globaali data
  - varataan ohjelman latauksen yhteydessä
  - kaikkialla viitattavissa nimen (osoitteen) avulla
- Dynaaminen data
  - varataan tarvittaessa keosta suorituksen aikana
  - vapautetaan, kun ei enää tarvita
  - viittaus varauksen jälkeen osoitteen avulla
- Aliohjelmien paikallinen data
  - varataan pinosta kutsuhetkellä
  - vapautetaan rutiinista poistuttaessa
  - viittaus aliohjelman sisällä osoitteen avulla

Int X; function Print();

Mach M = new Mach();

Ei KOKSIssa!

Parametrit, paik. muuttujat

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 8

Tiedon sijainti suoritusaikana

- Rekisteri
  - nopein, kääntäjä varaa/vapauttaa
- Välimuisti
  - nopea, laitteisto hoitaa automaattisesti
- Muisti
  - ohjelma varaa/vapauttaa
    - aliohjelmien paikalliset muuttujat, parametrit
  - käyttöjärj. varaa/vapauttaa (pyydettäessä)
    - globaali data ohjelman latauksen yhteydessä
    - dynaaminen data keosta suorituksen aikana
- Levy, levypalvelin (verkon takana)
  - liian hidasta, ei voi käyttää

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 9

Ohjelmoinnin peruskäsitteet

- 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

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 10

Aritmeettinen lauseke (2)

```
int  a, b, c;
…
b = 34;

a = b + 5 * c;
```

tilan varaus

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

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
```

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 11

Globaalin taulukon tilan varaus ja käyttö (2)

```
int X, Y;
intTaulu  [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
```

X:
Y:
Taulu:

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

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 12

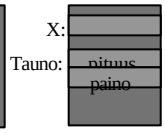
Globaalien tietueiden tilan varaus ja käyttö (3)

```
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



Kontrolli - valinta konekielellä (4)

- Ehdoton hyppy
  - JUMP, CALL ja EXIT, SVC ja IRET
- Hyppy perustuen laiterekisterin arvoon (verrataan 0:aan)
  - 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
```


If-then-else -valinta (1)

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

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


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

Vai olisiko tämä parempi?

Case lauseke (1)

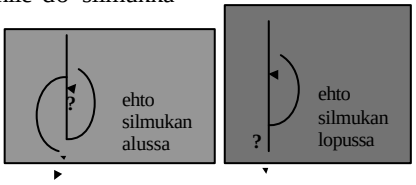
```
Switch (lkm) {
  case 4:  x = 11;
           break;

  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
```


Toistolausekkeet (2)

- For-step-until -silmukka
- Do-until -silmukka
- Do-while -silmukka
- While-do -silmukka
- …



For lauseke (1)

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

```
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
```

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

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

While-do -lauseke (1)

```
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?

Koodin generointi (9)

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

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 muistiviittettä

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 ADD   R2, Taulu(R1) ; R1 = 12 345 000 ??
```


Taulukon indeksitarkistus

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

```
I       DC    0

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

```
        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
```

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

Taulukon alaindeksi ei ala nollasta (2)

```
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  R1, I
        ADD   R1, =1
        STORE R1, I

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

Moniulotteiset taulukot

- Ohjelmointikieli voi tukea suoraan moniulotteisia taulukoita

```
X= Tbl[i,j];   Y = Arr[k][6][y+2];
```

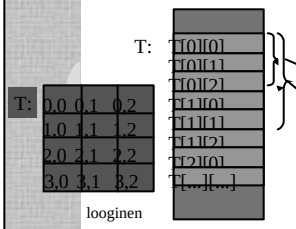
- Toteutus konekielitasolla aina (useimmissa arkkitehtuureissa) yksiulotteinen taulukko
  - konekäskyissä vain yksi indeksirekisteri!
- Moniosainen toteutus
  - laske alkion osoite yksiulotteisessa taulukossa
  - käytä indeksoitua osoitusmoodia tiedon viittaukseen

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
R1    MULT R1, Tcols
      ADD  R1, J
R1
      LOAD R2, T(R1)
      STORE R2, Y
```

Esimerkki I: 1, J: 2



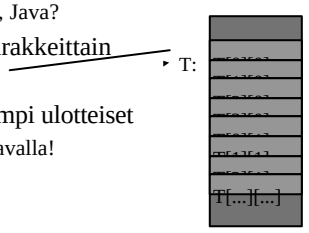
looginen

fyysinen

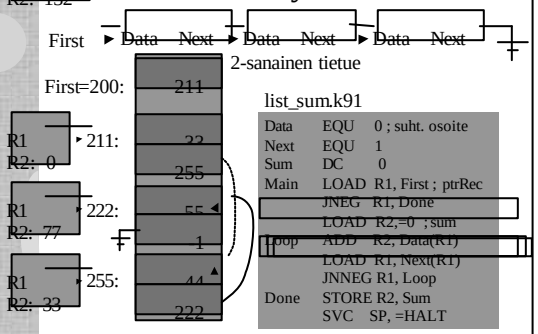
Tarkistukset…. ?

Moniulotteiset taulukot (3)

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



Linkitetty lista (6)



list_sum.k91

```
Data    EQU  0 ; suht. osoite
Next    EQU  1
Sum     DC   0
Main    LOAD R1, First ; ptrRec
        JNEG R1, Done
        LOAD R2,=0 ;sum
Loop    ADD  R2, Data(R1)
        LOAD R1, Next(R1)
        JNNEG R1, Loop
Done    STORE R2, Sum
        SVC  SP, =HALT
```


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];
```

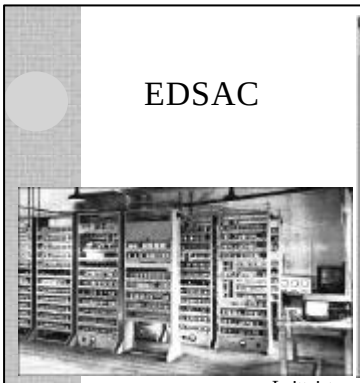
- Tarkistukset?

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

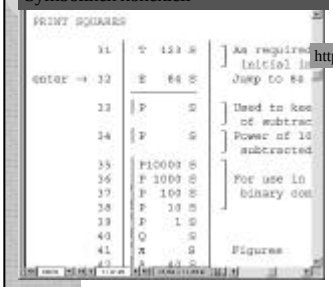


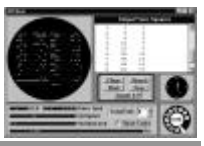
Laitteisto Muisti

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 31

EDSAC Simulator

Symbolinen konekieli





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

Konekieli

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 32

-- Jakson 3 loppu --

Konekielen operandien lukumäärän vaikutus käskyjen lukumäärään

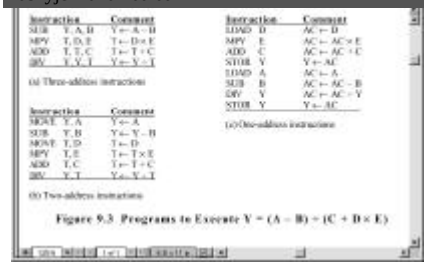


Figure 9.3 Programs to Execute Y = (A – B) + (C + D × E)

Fig. 9.3 [Stal99]

16.5.2002 Copyright Teemu Kerola, K2002 33