Luento 3
Konekielinen ohjelmointi (TTK-91, KOKSI)

Muuttujat

Tietorakenteet

Kontrolli

Optimointi

Tarkistukset

Tiedon sijainti suoritusaikana (3)

- Muistissa (=keskusmuistissa)
  - 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 + ...
- Probleemi: milloin muuttujan X arvo pidetään muistissa ja milloin rekisterissä?
  - missä päin muistia? miten siihen viitataan?

Tieto ja sen osoite (3)

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

int x =12;

muuttujan X osoite on symbolin X arvo

symbolin X arvo

muuttujan X arvo

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

- 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 (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
```

muisti	
Xptr=225: 230	
12345	
12556	
128765	
12222	
X=230: 12	
12998	

- 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

Osoitinmuuttujat (5)

- Muuttujia samalla tavoin kuin kokonaislukuarvoiset muuttujatkin
- 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

Globaali, kaikkialla näkyvä data (2)

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

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

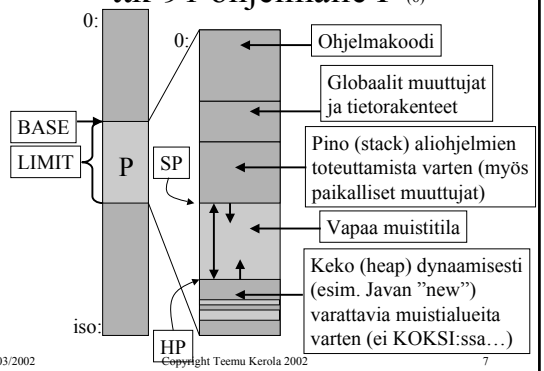
```
char Ch;
char Str[] = ”Pekka”;
boolean fBig;
```

```
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 ttk-91 ohjelmalle P (6)



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

Tiedon sijainti suoritusaikana (4)

- Rekisteri
  - nopein, kääntäjä varaa/vapauttaa
- Välimuisti
  - nopea, laitteisto hoitaa automaattisesti
- Muisti
  - ohjelma varaa/vapauttaa
    - aliohjelmien paik. 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

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
```

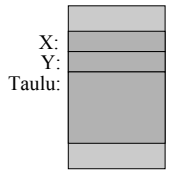
tai:

```
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

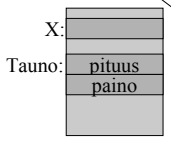
Globaalien tietueiden tilan varaus ja käyttö (3)

```
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



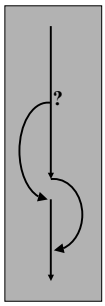
Kontrolli - valinta konekielellä (3)

- 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
```


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
```


Case lauseke (2)

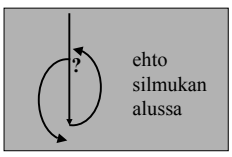
```
Switch (lkm) {
 case 4:  x = 11;
          break;

 case 0:  break;

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

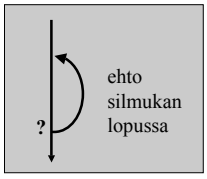
Onko case-tapausten järjestyksellä väliä?

```
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
```


Toistolausekkeet (2)

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





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?

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?

Koodin generointi (9)

- Kääntäjän viimeinen vaihe
  - voi olla 50% käännösajasta
- Tavallisen koodin generointi
  - alustukset, lausekkeet, kontrollirakenteet
- Optimoidun koodin generointi
  - käännös kestää kauemmin
  - suoritus tapahtuu nopeammin
  - milloin globaalin/paikallisen 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 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 ADD   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 (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
```

Moni-ulotteiset taulukot (3)

- Ohjelmointikieli voi tukea suoraan moni-ulotteisia taulukoita

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

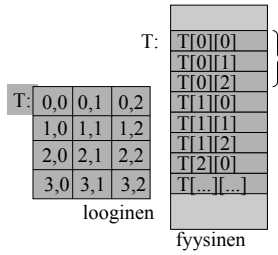
- Toteutus konekielitasolla aina (useimmissa arkkitehtuureissa) yksiulotteinen taulukko
  - vain yksi indeksirekisteri konekäskyssä
- Moniosainen toteutus
  - laske alkion osoite yksi-ulotteisessa taulukossa
  - käytä indeksoitua osoitusmoodia tiedon viittaukseen

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 ?



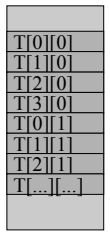
looginen

fyysinen

Tarkistukset…. ?

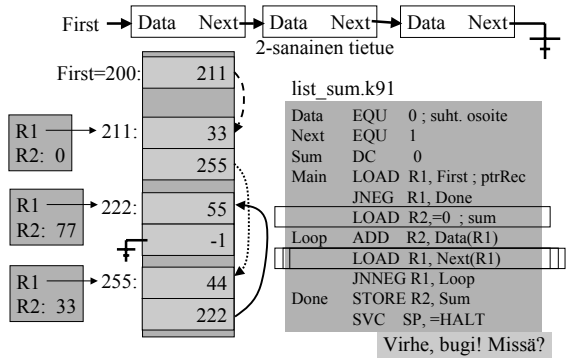
Moni-ulotteiset taulukot (4)

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



Linkitetty lista (8)

R1: -1
R2: 132



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
```

Virhe, bugi! Missä?

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?
- Tarkistukset?

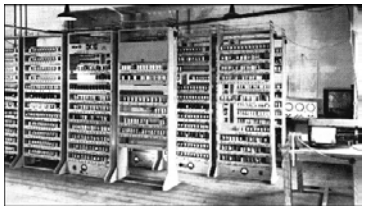
```
X = T[yliopNum][opNum].palkka[kk];
```


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

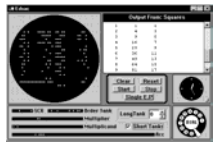


Laitteisto Muisti

EDSAC Simulator

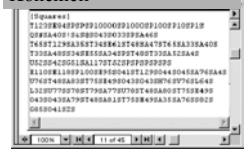
Symbolinen konekieli

```
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/

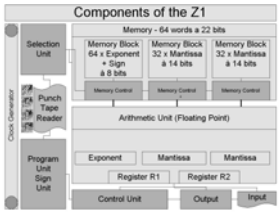
Konekieli



-- Luennon 3 loppu --

Konrad Zuse: Z1 (1938)

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



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