

Luento 4

Aliohjelmien toteutus

Tyypit
Parametrit
Aktivointitietue (AT)
AT-pino
Rekursio

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

1

Aliohjelmatyypit (2)

- Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet
 - aliohjelma, proseduuri
 - parametrit
 - funktio
 - parametrit, paluuarvo
 - metodi
 - parametrit, ehkä paluuarvo
- Konekielen tason vastaavat käsitteet
 - aliohjelma
 - parametrit ja paluuarvo(t)

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

2

Parametrit ja paluuarvo (2)

- Muodolliset parametrit
 - määritelty aliohjelmassa ohjelmointitietueella `Tulosta (int x, y)`
 - tietty järjestys ja tyyppi `Laske(int x): int`
 - paluuarvot
 - käsittelee hyvin samalla tavalla kuin parametreillekin
- Todelliset parametrit ja paluuarvo
 - todelliset parametrit sijoitetaan muodollisten parametrien paikalle kutsuhetkellä suoritusaikana `Tulosta (5, apu); x = Laske(y+234);`
 - paluuarvo saadaan paluuhetkellä ja sitä käytetään kuten mitä tahansa arvoa

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

3

Parametryypit (3)

- Arvoparametri
 - välitetään parametrin arvo kutsuhetkellä
 - arvoa ei voi muuttaa
- Viiteparametri
 - välitetään parametrin osoite
 - arvo voidaan lukea, arvoa voi muuttaa
- Nimiparametri
 - välitetään parametrin nimi
 - nimi (merkkijono) kuvataan arvoksi kutsuhetkellä
 - semantiikka määräytyy vasta kutsuhetkellä

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

4

Arvoparametri (10)

- Välitetään todellisen parametrin arvo `Tulosta (A+3, B)`
 - muuttuja, vakio, lauseke, pointeri, olioviite `arvon kopio`
- Aliohjelma ei voi muuttaa mitenkään todellisen parametrina käytettyä muuttujaa `Laske (int y, *ptrX);`
 - muuttujan (esim. y) arvo
 - olioviitteen arvo
 - lausekkeen arvo
 - muuta arvoparametrin arvoa aliohjelmassa ⇒ muutetaan todellisen parametrin arvon kopiota!
 - todellisen parametrin ptrX arvoa ei voi muuttaa
 - osoitinmuuttujan osoittamaa arvoa voidaan muuttaa
- Javassa ja C:ssä vain arvoparametreja

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

5

Viiteparametri (5)

- Välitetään todellisen parametrin osoite `Summaa (54, Sum)`
 - muuttujan osoite `pointeri`
- Aliohjelma voi muuttaa parametrina annettua muuttujan arvoa
- Pascalin var parametri `Summaa (x: int; var cum_sum: int)`
 - `Summaa (x: int; var cum_sum: int)`
 - `var` C:ssä arvoparametrina välitetyn osoitinmuuttujan osoittaman arvon (PtrX, ed. kalvo) muuttaminen
 - `cum_sum = cum_sum + x;`
 - `Summaa (6, Kok_lkm)`

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

6

Nimiparametri (6)

- Välitetään todellisen parametrin nimi

- merkkijono!
- Algol 60
- yleensä makrot
- sivuvaikutuksia
- nimiparametri korvataan todellisella parametrilla joka viittauskohdassa tekstuaalisesti

```
void swap (name int x, y)
{
  int t;
  t := x; x := y; y := t;
}

swap(i,j)
t := i, i := j; j := t;
```

Ei käsitellä enää jatkossa.

```
entä: swap (n, A[n]) % n ↔ A[n]
t := n; n := A[n]; A[n] := t;
```

"väärä" n

Aliohjelmien toteutuksen osat (5)

- Paluuosoite
 - kutsukohtaa seuraava käskyn osoite
- Parametrien välitys
- Paluuarvon välitys
- Paikalliset muuttujat
- Rekistereiden allokointi (varaus)
 - kutsuvalla ohjelman osalla voi olla käytössä rekistereitä, joiden arvon halutaan säilyä!
 - pääohjelma, toinen aliohjelma, sama aliohjelma, metodi, ...
 - käytettyjen rekistereiden arvot pitää aluksi tallettaa muistiin ja lopuksi palauttaa ennalleen

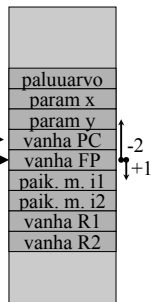
Aktivointitietue (7)

(activation record, activation frame)

```
int funcA (int x,y);
```

- Aliohjelman toteutusmuoto (ttk-91)

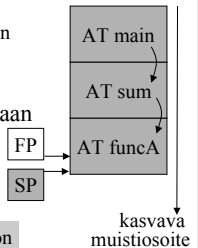
- funktion paluuarvo (tai kaikki paluuarvot)
- kaikkien (sisäänmeno- ja ulostulo-) parametrien arvot
- paluuosoite
- kutsukohdan aktivointitietue FP
- kaikki paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- aliohjelman ajaksi talletettujen rekistereiden alkuperäiset arvot



Aktivointitietueiden hallinta (4)

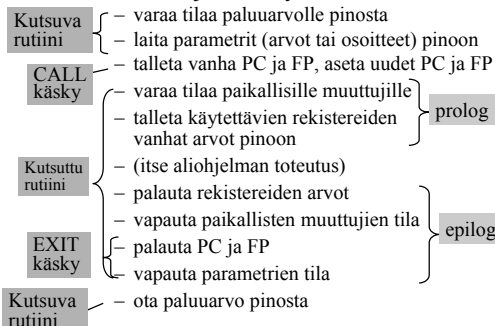
- Aktivointitietueet (AT) varataan ja vapautetaan dynaamisesti (suoritusaikana) pinosta (muistista)
 - SP (=R6) osoittaa pinon pinnalle
- Aktivointitietuepino
 - FP (R7) osoittaa voimassa olevan AT:n sovittuun kohtaan (ttk-91: vanhan FP:n osoite)
- Pinossa olevaa AT:tä rakennetaan ja puretaan käskyillä:
 - PUSH, POP, PUSHR, POPR
 - CALL, EXIT

Talleta R0-R5 pinoon

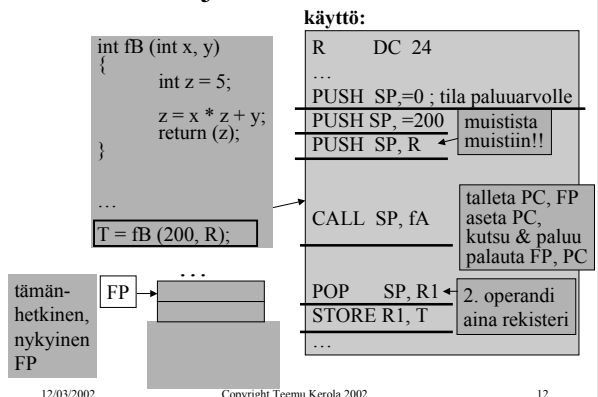


Aliohjelman käytön toteutus (12)

- Toteutus jaettu eri yksiköille



Aliohjelmaesimerkki (13)



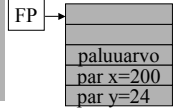
Aliohjelmaesimerkki (ei anim)

```
int fB (int x, y)
{
    int z = 5;
    z = x * z + y;
    return (z);
}
...
T = fB (200, R);
```

käyttö:

```
R      DC 24
...
PUSH SP,=0 ; ret. value space
PUSH SP,=200
PUSH SP, R
CALL SP, fA
POP  SP, R1
STORE R1, T
```

tämänhetkinen, nykyinen FP



muistista muistiin!!
talleta PC, FP aseta PC, kutsu & paluu palauta FP, PC
2. operandi aina rekisteri

Aliohjelmaesimerkki (11)

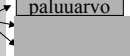
aliohjelman toteutus:

```
retfA EQU -4 # params
parX EQU -3
parY EQU -2
locZ EQU 1 # local vars
ks. fA.k91

fA PUSH SP,=0 ; alloc Z
   PUSH SP, R1 ; save R1
   LOAD R1,=5; init Z
   STORE R1, locZ (FP)
   LOAD R1, parX (FP)
   MUL  R1, locZ (FP)
   ADD  R1, parY (FP)
   STORE R1, locZ (FP)
   STORE R1, retfA (FP)
   POP  SP, R1; recover R1
   SUB  SP, =1 ; free Z
   EXIT SP, =2 ; 2 param.
```

```
int fA (int x, y)
{
    int z = 5;
    z = x * z + y;
    return (z);
}
...
T = fA (200, R);
```

Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen



Aliohjelmaesimerkki (ei anim)

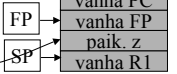
```
int fA (int x, y)
{
    int z = 5;
    z = x * z + y;
    return (z);
}
...
T = fA (200, R);
```

aliohjelman toteutus:

```
retfA EQU -4
parX EQU -3
parY EQU -2
locZ EQU 1
ks. fA.k91

fA PUSH SP,=0 ; alloc Z
   PUSH SP, R1 ; save R1
   LOAD R1,=5; init Z
   STORE R1, locZ (FP)
   LOAD R1, parX (FP)
   MUL  R1, locZ (FP)
   ADD  R1, parY (FP)
   STORE R1, locZ (FP)
   STORE R1, retfA (FP)
   POP  SP, R1; recover R1
   SUB  SP, =1 ; free Z
   EXIT SP, =2 ; 2 param.
```

Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen



Viiteparametri esimerkki (2)

(Pascal)

```
procB (x, y: int, var pZ:int)
{
    pZ = x * 5 + y;
    return;
}
...
procB (200, R, T);
```

käyttö:

```
...
PUSH SP, =200
PUSH SP, R
PUSH SP, =T ; T's address!
CALL SP, procB
... ; T has new value
```

Ei välitetä arvoa T, vaan T:n osoite. Ainoa tapa monisanaiselle parametrille (taulukko, tietue) tai ulostuloparametreille

Ero C-kieleen: *pZ = x * 5 + y; ?????

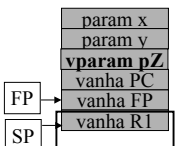
Viiteparam. (jatk) (1)

```
procB (x, y: int, var pZ:int)
{
    pZ = x * 5 + y;
    return;
}
...
procB (200, R, T);
```

aliohjelman toteutus:

```
parX EQU -4 ; relative to FP
parY EQU -3
parpZ EQU -2

procB PUSH SP, R1 ; save R1
      LOAD R1, parX (FP)
      MUL  R1, =5
      ADD  R1, parY (FP)
      STORE R1, @parpZ (FP)
      POP  SP, R1; restore R1
      EXIT SP, =3 ; 3 param.
```



ks. procB.k91

Aliohjelma kutsuu funktiota (1)

itse aliohjelman käyttö kuten ennen:

```
procC (x, y: int, var pZ:int)
{
    pZ = fA(x,y);
    return;
}
...
procC (200, R, T);
```

```
...
PUSH SP, =200
PUSH SP, R
PUSH SP, =T ; T's address
CALL SP, procC
... ; T has new value
```

Aliohjelma kutsuu funktiota (2)

```
procC (x, y: int, var pZ:int)
{
    pZ = fA(x,y);
    return;
}
...
procC (200, R, T);
```

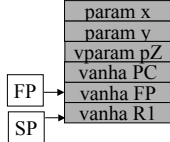
aliohjelman toteutus:

```
parXc EQU -4 ; relative to FP
parYc EQU -3
parpZ EQU -2      ks. procC.k91

procC PUSH SP, R1 ; save R1
      ; call fA(parXc, parYc)
      PUSH SP,=0 ; ret. value
      PUSH SP, parXc(FP)
      PUSH SP, parYc(FP)
      CALL SP, fA
      POP SP, R1
      STORE R1, @parpZ (FP)

      POP SP, R1; restore R1
      EXIT SP, =3 ; 3 param.
```

AT kuten ennen:



12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

19

Rekursiivinen aliohjelma (5)

- Aliohjelma, joka kutsuu itseään
- Ei mitään erikoista muuten
- Aktivointitietue hoitaa tilanvarauksen automaattisesti paikallisille muuttujille joka kutsukerralla
- Rekursio ei onnistu, jos paikallisten muuttujien tilanvaraus aliohjelman ohjelmakoodin yhteydessä – jotkut Fortran versiot
- Joka kutsukerralla suoritetaan sama koodialue (aliohjelman koodi), mutta dataa varten on käytössä oma aktivointitietue

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

20

Rekursio esimerkki (1)

```
fPow (n: int)
{
    if (n=1)
        return (1);
    else
        return (n * fPower (n-1));
}
...
k = fPow (4);
```

kutsu:

```
K DC 0

; k = fPow (4)
PUSH SP,=0
PUSH SP,=4
CALL SP, fPow
POP SP, R1
STORE R1, K
```

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

21

Rekursiivinen aliohjelma (2)

```
fPow (n: int)
{
    if (n=1)
        return (1);
    else
        return (n * fPow (n-1));
}
...
k = fPower (4);
```

```
parRet EQU -3      ks. fPow.k91
parN EQU -2

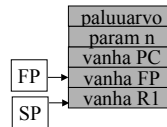
fPow PUSH SP, R1 ; save R1

LOAD R1, parN(FP)
COMP R1,=1
JEQU One ; return 1 ?

; return fPow(N-1) * N
SUB R1, =1 ; R1 = N-1
PUSH SP,=0 ; ret. value space
PUSH SP, R1
CALL SP, fPow
POP SP, R1 ; R1 = fPow(N-1)

One MUL R1, parN(FP)
STORE R1, parRet(FP)

POP SP, R1; restore R1
EXIT SP, =1 ; 1 param.
```



12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

22

KJ-palvelun kutsu (7)

- Samalla tavalla kuin aliohjelman kutsu
 - CALL käskyn asemesta SVC
- Tila paluuarvolle?
- Parametrit pinnoon
- SVC kutsu
- IRET paluu
- Paluuarvo (OK, virhe) pois pinosta tarkistusta varten

```
fOK = ReadBlock (fp, 64)
...
PUSH SP, =0 ;paluuarvo
PUSH SP, =FileBuffer
PUSH SP, CharCnt
PUSH SP, FilePtr

SVC SP, =ReadFile

POP SP, R1
JNZER R1, =FileTrouble
...
```

12/03/2002

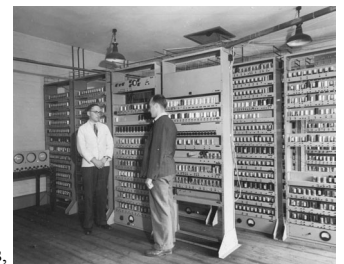
Copyright Teemu Kerola 2002

23

-- Luennon 4 loppu --

M. Wilkes:
EDSAC I (1949)

- rekisterit (6W), tyhjiöputkilla
- käsky- ja datamuisti, 32 elohopea-viiveputkea, 512W à 36b
- kertolasku 5.4ms, 650 IPS
- ensimmäinen "stored program" –tietokone
- 3000 tyhjiöputkea, sähkökulutus 12 kW, tila 5x4m



http://www.cl.cam.ac.uk/Relics/archive_photos.html

12/03/2002

Copyright Teemu Kerola 2002

24