Luento 4
Aliohjelmien toteutus

Tyypit
Parametrit
Aktivointitietue (AT)
AT-pino
Rekursio

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)

Parametrit ja paluuarvo (2)

- Muodolliset parametrit
  - määritelty aliohjelmassa ohjelmointihetkellä
  - tietty järjestys ja tyyppi
  - paluuarvot
    - käsittely hyvin samalla tavalla kuin parametreillekin
- Todelliset parametrit ja paluuarvo
  - todelliset parametrit sijoitetaan muodollisten parametrien paikalle kutsuhetkellä suoritusaikana
  - paluuarvo saadaan paluuhetkellä ja sitä käytetään kuten mitä tahansa arvoa

```
Tulosta (int x, y)
Laske(int x): int
```

```
Tulosta (5, apu);
x = Laske( y+234);
```


Parametrityypit (4)

- Arvoparametri
  - välitetään parametrin arvo (eli sen kopio) kutsuhetkellä
  - arvo voidaan lukea
  - alkuperäistä arvoa ei voi muuttaa, mutta arvon kopiota voi muuttaa
- Viiteparametri
  - välitetään parametrin osoite
  - arvo ja osoite voidaan lukea, arvoa voi muuttaa
- Nimiparametri
  - välitetään parametrin nimi
  - nimi (merkkijono) kuvataan arvoksi kutsuhetkellä
  - semantiikka määräytyy vasta kutsuhetkellä

```
Swap(i, k);    Swap(i, T[i]);
```


Arvoparametri (10)

```
Tulosta (A+3, B)
```

arvon kopio

- Välitetään todellisen parametrin arvo
  - muuttuja, vakio, lauseke, pointteri, olioviite
- Aliohjelma ei voi muuttaa mitenkään todellisena parametrina käytettyä muuttujaa
  - 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 (osoitinmuuttuja ptrX on siis välitetty arvoparametrina)
- Javassa ja C:ssä vain arvoparametreja

```
Laske (int y, *ptrX);
{       …
        y = 5;
        *ptrX = 10
}
```


Viiteparametri (5)

```
Summaa (54, Sum)
```

- Välitetään todellisen parametrin osoite
  - muuttujan osoite (tai koodin osoite)

pointteri

- Aliohjelma voi muuttaa parametrina annettua muuttujan arvoa
- Pascalin *var* parametri

```
Summaa (x: int; var cum_sum: int)
{       …
        cum_sum = cum_sum + x;
        …
}
```

vrt. C:ssä arvoparametrina välitetyn osoitinmuuttujan osoittaman arvon (PtrX, ed. kalvo) muuttaminen

```
Summaa (6, Kok_lkm)
```

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. STOP

entä: swap (n, A[n]) % n ↔ A[n]

t := n; n := A[n]; A[n] := t;

”väärä” n

Aliohjelmien toteutuksen osat (5)

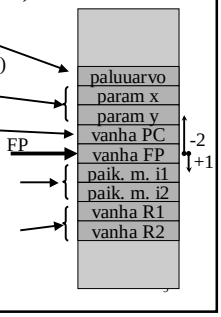
- Paluuosoite
  - kutsukohtaa seuraava käskyn osoite
- Parametrien välitys
- Paluuarvon välitys
- Paikalliset muuttujat
- Rekistereiden allokointi (varaus)
  - kutsuvalla ohjelman osalla voi olla käytössä rekistereitä, joiden arvon halutaan säilyä!
    - pääohjelma, toinen aliohjelma, sama aliohjelma,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

Aktivointitietue (7)

(activation record, activation frame)

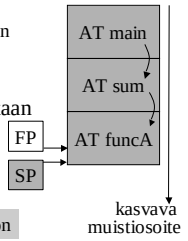
int funcA (int x,y);

- Aliohjelman toteutusmuoto (ttk-91)
  - funktion paluuarvo (tai kaikki paluuarvot)
  - kaikkien (sisäänmeno- ja ulostulo-) parametrien arvot
  - paluuosoite
  - kutsukohdan aktivointitietue
  - 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 (SVC, IRET)



Talleta R0-R5 pinoon

Aliohjelman käytön toteutus (12)

- Toteutus jaettu eri yksiköille

Kutsuva rutiini
- varaa tilaa paluuarvolle pinosta
- laita parametrit (arvot tai osoitteet) pinoon

CALL käsky
- talleta vanha PC ja FP, aseta uudet PC ja FP

prolog
- varaa tilaa paikallisille muuttujille
- talleta käytettävien rekistereiden vanhat arvot pinoon

Kutsuttu rutiini
- (itse aliohjelman toteutus – varsinainen työ)

epilog
- palauta rekistereiden arvot
- vapauta paikallisten muuttujien tila

EXIT käsky
- palauta PC ja FP
- vapauta parametrien tila

Kutsuva rutiini
- ota paluuarvo pinosta

Aliohjelmaesimerkki (13)

```
int fA (int x, y)
{
        int z = 5;

        z = x * z + y;
        return (z);
}

…

T = fA (200, R);
```

käyttö:

```
R       DC  24
…
PUSH  SP,=0 ; tila paluuarvolle
PUSH SP, =200
PUSH  SP, R

CALL  SP, fA

POP     SP, R1
STORE R1, T
…
```

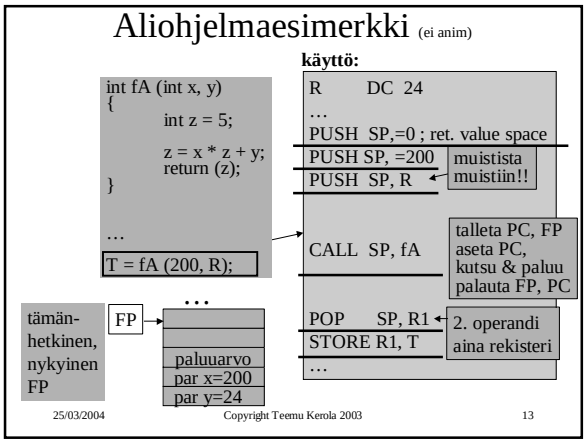
muistista muistiin!!

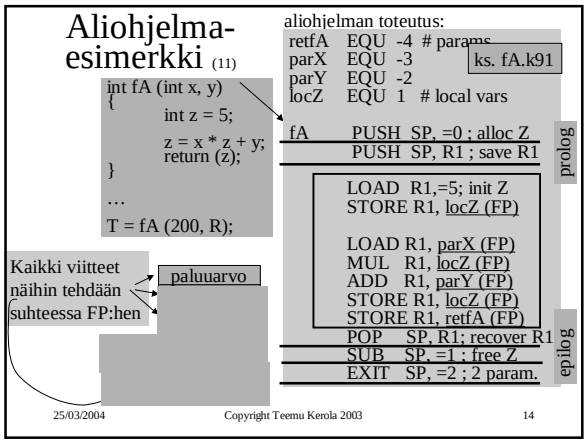
talleta PC, FP aseta PC, kutsu & paluu palauta FP, PC

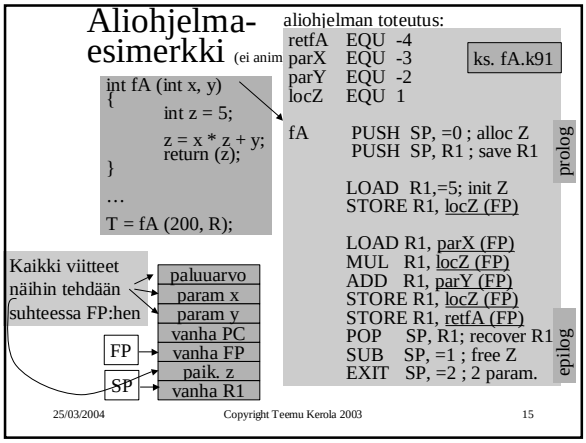
2. operandi aina rekisteri

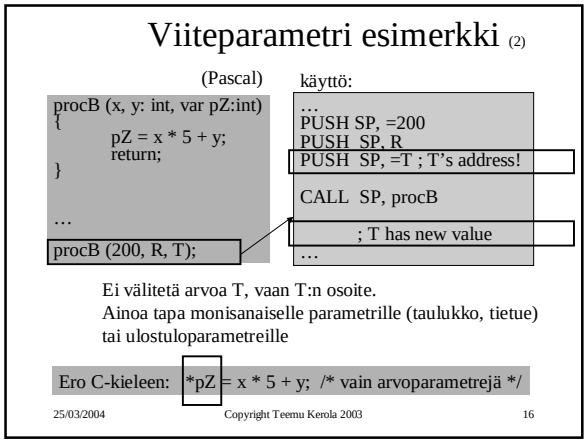
FP

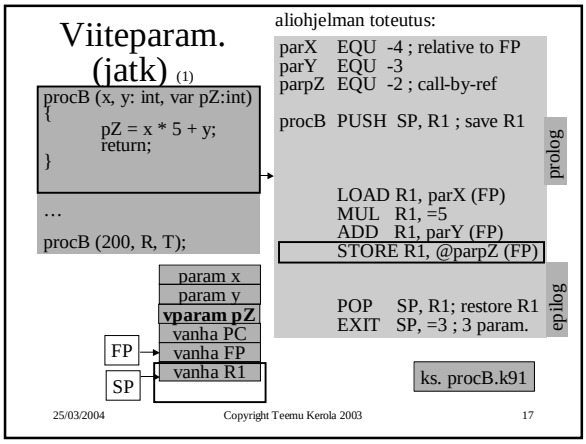
tämän-hetkinen, nykyinen FP

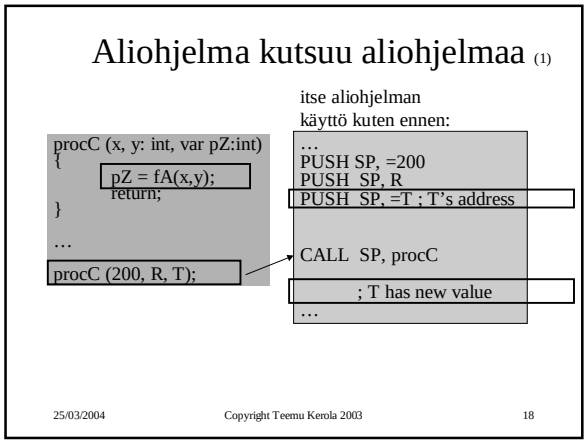

Aliohjelmaesimerkki (ei anim)
käyttö:
int fA (int x, y)
{
int z = 5;
z = x * z + y;
return (z);
}
…
T = fA (200, R);
R DC 24
…
PUSH SP,=0 ; ret. value space
PUSH SP, =200
PUSH SP, R
muistista muistiin!!
CALL SP, fA
talleta PC, FP aseta PC, kutsu & paluu palauta FP, PC
POP SP, R1
STORE R1, T
2. operandi aina rekisteri
…
tämän-hetkinen, nykyinen FP
FP
paluuarvo
par x=200
par y=24
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
13


Aliohjelma-esimerkki (11)
aliohjelman toteutus:
retfA EQU -4 # params
parX EQU -3
parY EQU -2
locZ EQU 1 # local vars
ks. fA.k91
int fA (int x, y)
{
int z = 5;
z = x * z + y;
return (z);
}
…
T = fA (200, R);
fA PUSH SP, =0 ; alloc Z
PUSH SP, R1 ; save R1
prolog
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.
epilog
Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen
paluuarvo
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
14


Aliohjelma-esimerkki (ei anim
aliohjelman toteutus:
retfA EQU -4
parX EQU -3
parY EQU -2
locZ EQU 1
ks. fA.k91
int fA (int x, y)
{
int z = 5;
z = x * z + y;
return (z);
}
…
T = fA (200, R);
fA PUSH SP, =0 ; alloc Z
PUSH SP, R1 ; save R1
prolog
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.
epilog
Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen
paluuarvo
param x
param y
vanha PC
vanha FP
paik. z
vanha R1
FP
SP
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
15


Viiteparametri esimerkki (2)
(Pascal)
käyttö:
procB (x, y: int, var pZ:int)
{
pZ = x * 5 + y;
return;
}
…
procB (200, R, T);
…
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; /* vain arvoparametrejä */
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
16

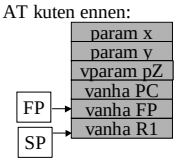

Viiteparam. (jatk) (1)
aliohjelman toteutus:
procB (x, y: int, var pZ:int)
{
pZ = x * 5 + y;
return;
}
…
procB (200, R, T);
parX EQU -4 ; relative to FP
parY EQU -3
parpZ EQU -2 ; call-by-ref
procB PUSH SP, R1 ; save R1
prolog
LOAD R1, parX (FP)
MUL R1, =5
ADD R1, parY (FP)
STORE R1, @parpZ (FP)
POP SP, R1; restore R1
EXIT SP, =3 ; 3 param.
epilog
ks. procB.k91
param x
param y
vparam pZ
vanha PC
vanha FP
vanha R1
FP
SP
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
17


Aliohjelma kutsuu aliohjelmaa (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
…
25/03/2004
Copyright Teemu Kerola 2003
18

Aliohjelma kutsuu funktiota (2)

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

AT kuten ennen:



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.
```


Rekursiivinen aliohjelma (5)

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

Rekursio esimerkki (1)

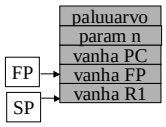
```
int fPow (n: int)
{
   if (n=1)
      return (1);
   else
      return (n * fPower (n-1));
}
…
k = fPow (4);
```

kutsu:

```
K       DC   0

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


Rekursion toteutus (2)

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




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

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)

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

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


KJ-palvelun kutsu (proseduraalisesti) (7)

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

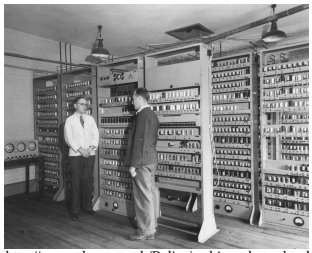
fOK = ReadBlock (fp, 64)

```
...
PUSH  SP, =0 ;paluuarvo
PUSH  SP, =FileBuffer
PUSH  SP, CharCnt
PUSH  SP, FilePtr

SVC   SP, =ReadFile

POP     SP, R1
JNZER  R1, FileTrouble
…
```


-- 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



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

- ensimmäinen ”stored program” –tietokone
- 3000 tyhjiöputkea, sähkökulutus 12 kW, tila 5x4m