Luento 4 (verkkoluento 4)

# Aliohjelmien toteutus

Tyypit, Parametrit

Aktivaatiotietue (AT)

AT-pino, rekursio

# Aliohjelmatyypit

- Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet
  - aliohjelma, proseduuri
    - Parametrit (sisäänmeno- ja ulostuloparametrit)
  - funktio
    - parametrit, paluuarvo
  - metodi
    - parametrit, ehkä paluuarvo
- Konekielitason vastaava käsite
  - aliohjelma
    - parametrit ja paluuarvo(t)

# Parametrit ja paluuarvo

- Muodolliset parametrit
  - määritelty aliohjelmassa <u>ohjelmointihetkellä</u>
  - tietty <u>järjestys ja tyyppi</u>
  - paluuarvot
    - käsittely hyvin samalla tavalla kuin parametreillekin

```
Tulosta (int x, y)
void Tulosta (int x, y)

Laske(int x): int
int Laske(int x)
```

- Todelliset parametrit ja paluuarvo
  - todelliset parametrit sijoitetaan muodollisten parametrien paikalle <u>kutsuhetkellä suoritusaikana</u>
  - paluuarvo saadaan <u>paluuhetkellä</u> ja sitä käytetään, kuten mitä tahansa arvoa

```
Tulosta (5, apu+1);
x = Laske( y+234);
```

# Parametrityypit

- Arvoparametri
  - Välitetään todellisen parametrin arvo (eli sen kopio) kutsuhetkellä
  - Arvo voidaan lukea
  - Alkuperäistä arvoa ei voi muuttaa, mutta arvon kopiota voi muuttaa
- Viiteparametri
  - Välitetään todellisen parametrin osoite
  - Arvo ja osoite voidaan lukea, arvoa voi muuttaa osoitteen avulla
  - Aliohjelma voi muuttaa pääohjelman dataa
- Nimiparametri *(yleensä vain tulkittavissa skriptikielissä)*
  - Välitetään todellisen parametrin nimi (merkkijono)
  - Nimi (merkkijono) kuvataan arvoksi kutsuhetkellä
  - Semantiikka määräytyy vasta kutsuhetkellä

swap(i, j) -- makro, nimiparametrit

```
tmp = i;
i = j;
j = tmp;
```

```
swap(x, y);
```

```
tmp = x;
x = y;
y = tmp;
```

```
swap(k, T[k]);
```

```
tmp = k;
k = T[k];
T[k] = tmp;
```




Keskustele

# Aliohjelmien toteutuksen osat

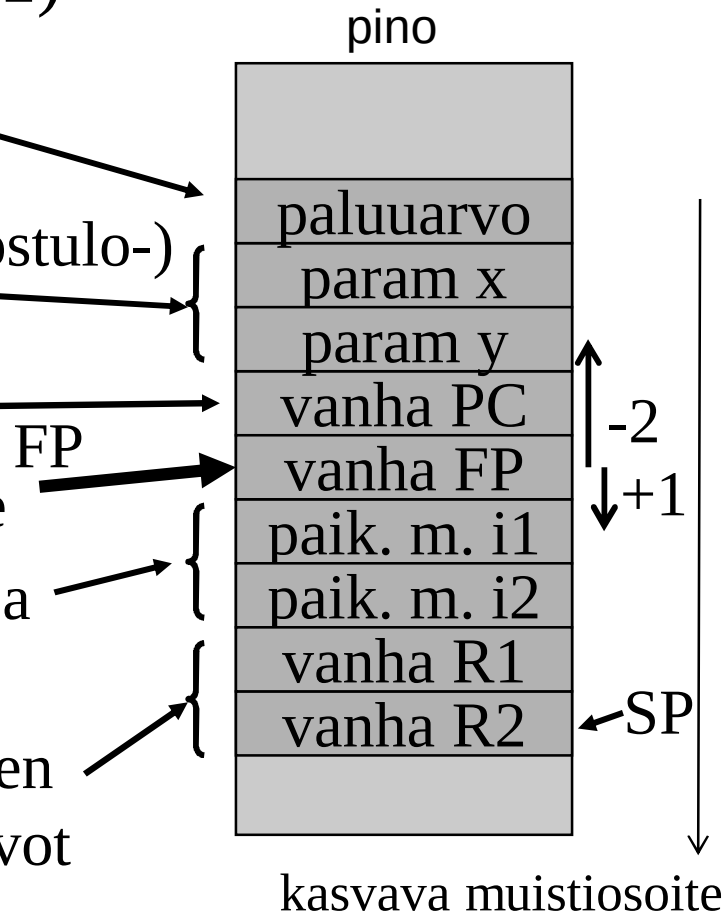
- Paluuosoite
  - kutsukohtaa seuraavan käskyn osoite
- Parametrien välitys
- Paluuarvon välitys
- Paikalliset muuttujat
- Rekisterien varaus (allokointi)
  - Kutsuva ohjelman osa haluaa säilyttää käyttämiensä rekisterien arvot!
    - pääohjelma, toinen aliohjelma, sama aliohjelma, metodi, …
  - <u>Aliohjelman</u> pitää aluksi tallettaa (muistiin) käytettävien rekisterien arvot ja lopuksi palauttaa ne ennalleen

# Aktivaatiotietue (Aktivointitietue)

(activation record, activation frame)

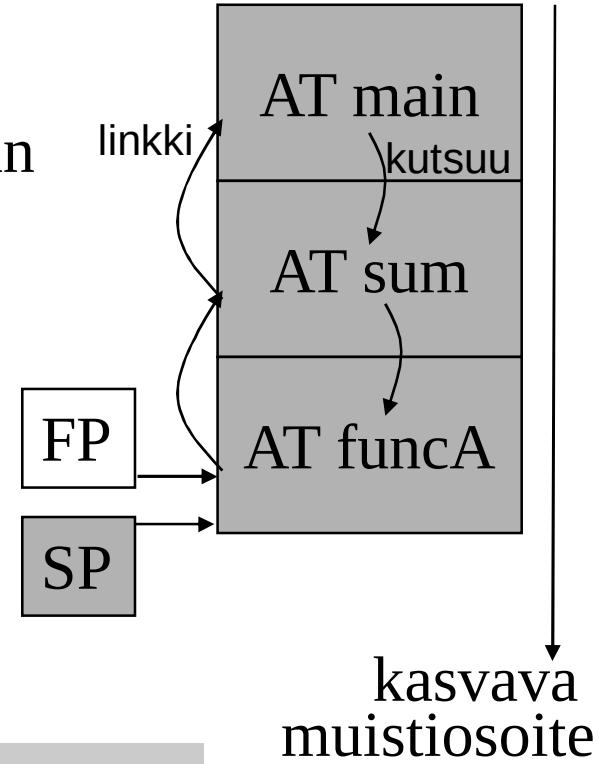
int funcA (int x,y);

- Aliohjelman toteutus (ttk-91)
  - funktion paluuarvo (tai kaikki paluuarvot)
  - kaikkien (sisäänmeno- ja ulostulo-) parametrien arvot
  - paluuosoite
  - kutsukohdan aktivaatiotietue
  - kaikki paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
  - aliohjelman ajaksi talletettujen rekistereiden alkuperäiset arvot



# Aktivaatiotietuepino muistissa

- Aktivaatiotietueet (AT) varataan ja vapautetaan dynaamisesti (suoritusaikana) pinosta (muistista)
  - SP (eli R6) osoittaa pinon pinnalle
- Aktivaatiotietuepino
  - FP (R7) osoittaa voimassa olevan AT:n <u>sovittuun kohtaan</u> (ttk-91: vanhan FP:n osoite)
- Pinossa olevaa AT:tä raken-netaan ja puretaan käskyillä:
  - PUSH, POP, PUSHR, POPR
  - CALL, EXIT (SVC, IRET)




Talleta arvo pinoon

Talleta R0-R5 pinoon

# Aliohjelmakutsun toteutus

- Toteutus jaettu eri yksiköille

Kutsuva rutiini

- varaa tilaa paluuarvolle pinosta
- laita parametrit (arvot tai osoitteet) pinoon
- talleta vanha PC ja FP, aseta uudet PC ja FP

CALL käsky

Kutsuttu rutiini

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

prolog

- (itse aliohjelman toteutus – varsinainen työ)
- palauta rekistereiden arvot
- vapauta paikallisten muuttujien tila
- palauta PC ja FP
- vapauta parametrien tila

epilog

EXIT käsky

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:**

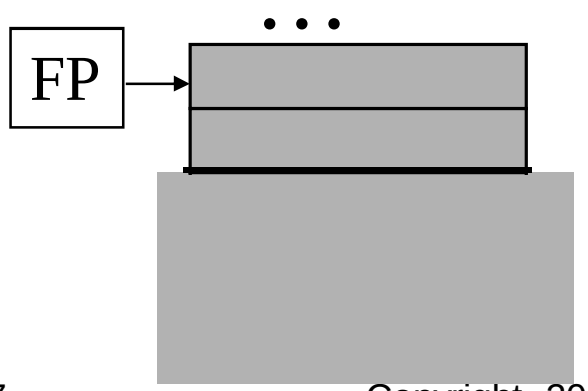
```
R        DC  24
…
PUSH  SP,=0 ; tila paluuarvolle
PUSH SP, =200
PUSH  SP, R
CALL  SP, fA
POP      SP, R1
STORE R1, T
…
```

muistista muistiin!!

talleta PC, FP
aseta PC,
kutsu & paluu
palauta FP, PC
vapauta par tila

2. operandi aina rekisteri

tämän-hetkinen, nykyinen FP







Keskustele

# Aliohjelmaesimerkki

(ei animointia)

```
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 ; ret. value space
PUSH SP, =200
PUSH  SP, R

CALL  SP, fA

POP      SP, R1
STORE R1, T
…
```

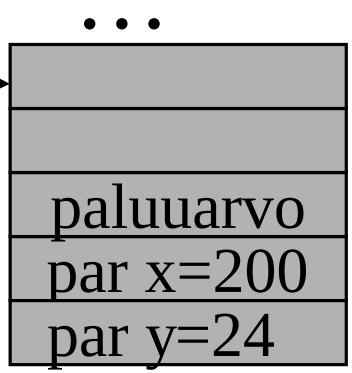
muistista muistiin!!

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

2. operandi aina rekisteri

tämän-hetkinen, nykyinen FP

FP



# Aliohjelma-esimerkki (12)

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

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

…

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

aliohjelman toteutus:

```
retfA   EQU  -4 # return value
parX    EQU  -3 # params
parY    EQU  -2
locZ    EQU  1   # local vars

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.
```

prolog

epilog

Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen

paluuarvo





Keskustele

# Aliohjelma-esimerkki

(ei animointia)

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

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

…

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

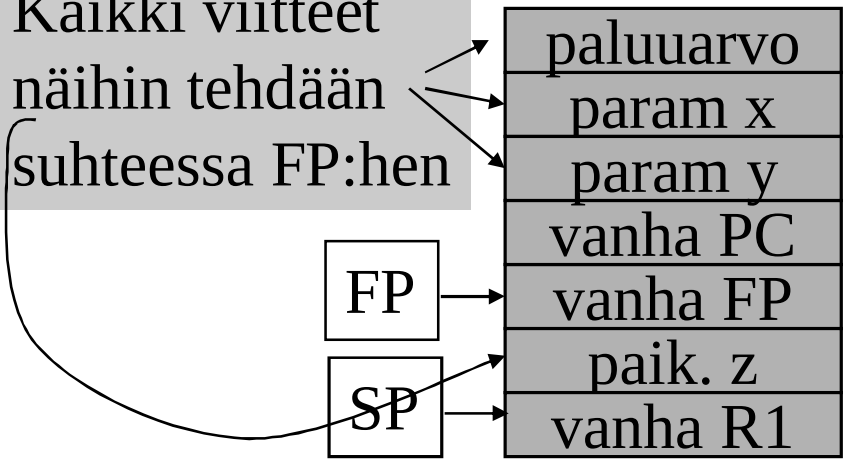
aliohjelman toteutus:

```
retfA   EQU  -4
parX    EQU  -3
parY    EQU  -2
locZ    EQU  1

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.
```

prolog

epilog

Kaikki viitteet näihin tehdään suhteessa FP:hen



# Viiteparametri

Kutsu T = fB(R, S, T)

```
R        DC  24
S        DC 56
T        DC 77
pT       DC  0     ; pointer
…
LOAD   R1, =T    ; initialize pT
STORE  R1, pT
…
PUSH  SP,=0 ; tila paluuarvolle
PUSH SP, R  ; arvoparametri
PUSH  SP, =S ; viiteparametri
PUSH  SP, pT; viiteparametri
CALL  SP, fB
POP       SP, R1
STORE    R1, T
…
```

Muuttujan S osoite

Osoitinmuuttujan pT arvo on muuttujan T osoite

Y ja Z ovat viiteparametreja:

```
retfB    EQU  -5  ; paluuarvo
parX     EQU  -4  ; arvoparametri
vparY EQU  -3  ; viiteparam
vparZ EQU  -2  ; viiteparam

fB       PUSH  SP, R1 ; save R1

         LOAD R1, parX (FP)
         MUL   R1, @vparY (FP)
         ADD   R1, @vparZ (FP)
         STORE R1, retfB (FP)
         POP     SP, R1; recover R1
         EXIT   SP, =3 ; 3 param.
```

# KJ-palvelun kutsu (proseduraalisesti)

- (Esim.) samalla tavalla kuin aliohjelman kutsu
  - CALL käskyn asemesta SVC (SuperVisor Call)
- Tila paluuarvolle?
- Parametrit pinossa vai rekistereissä? (palvelukohtaisesti)
- SVC kutsu
  - Kutsuttavan rutiinin <u>numero</u> operandina
- 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, =ReadBlock

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




Keskustele

# Aliohjelmakutsu

- Toteutus jaettu eri yksiköille
  - varaa tilaa paluuarvolle pinosta
  - laita parametrit (arvot tai osoitteet) pinoon
  - talleta vanha PC ja FP, aseta uudet PC ja FP
  - varaa tilaa paikallisille muuttujille
  - talleta käytettävien rekistereiden vanhat arvot pinoon
  - (itse aliohjelman toteutus – varsinainen työ)
  - palauta rekistereiden arvot
  - vapauta paikallisten muuttujien tila
  - palauta PC ja FP
  - vapauta parametrien tila
  - ota paluuarvo pinosta

Kutsuva rutiini

CALL käsky

Kutsuttu rutiini

prolog

epilog

EXIT käsky

Kutsuva rutiini

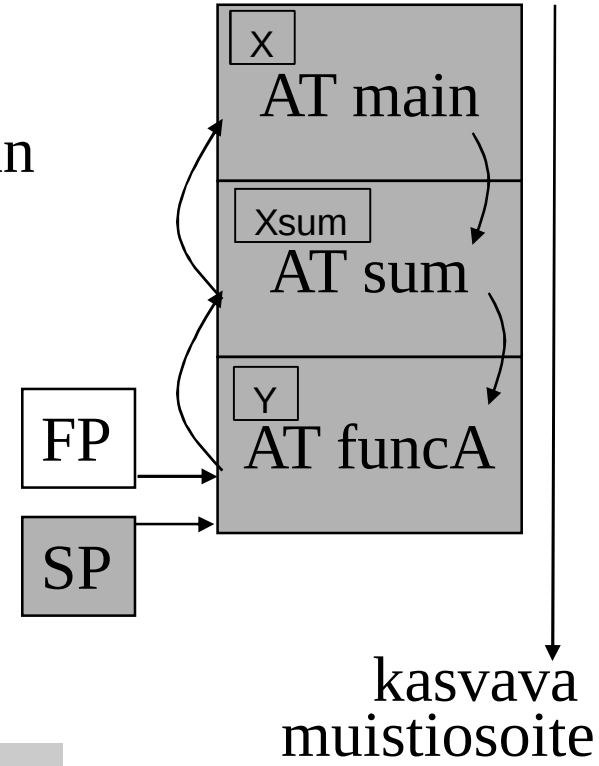




Keskustele

# Aktivaatiotietuepino muistissa

- Aktivaatiotietueet (AT) varataan ja vapautetaan dynaamisesti (suoritusaikana) pinosta (muistista)
  - SP (=R6) osoittaa pinon pinnalle
- Aktivaatiotietuepino
  - FP (R7) osoittaa voimassa olevan AT:n <u>sovittuun kohtaan</u> (ttk-91: vanhan FP:n osoite)
- Pinossa olevaa AT:tä raken-netaan ja puretaan käskyillä:
  - PUSH, POP, PUSHR, POPR
  - CALL, EXIT (SVC, IRET)



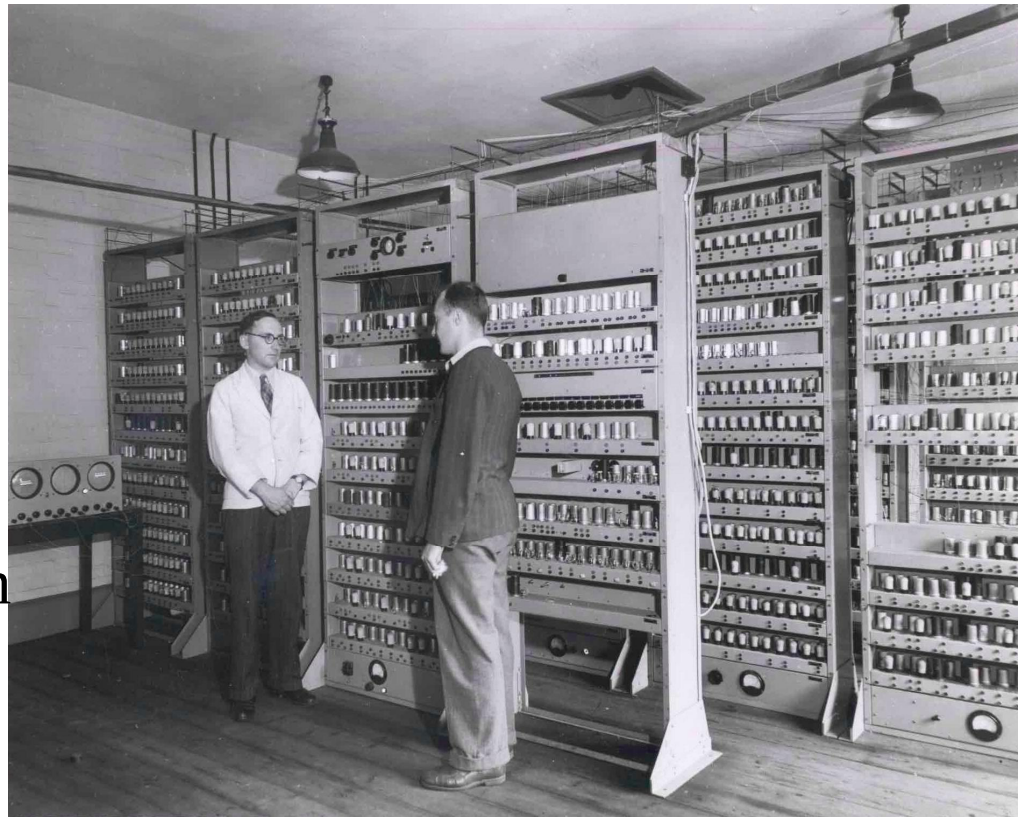

Talleta R0-R5 pinoon




Keskustele

# -- Loppu --

M. Wilkes:
EDSAC (1949)



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

- rekisterit (6 kpl), tyhjiöputkilla
- käsky- ja datamuisti, 32 elohopea-viiveputkea, kukin 32 kpl 18b sanaa (n. 2 Kb)
- kertolasku 5.4ms, 650 IPS
- ensimmäinen ”stored program” –tietokone
- 3000 tyhjiöputkea, sähkökulutus 12 kW, tila 5x4m