Aliohjelmien toteutus

- Aliohjelmatyypit
- Parametrien tyypit
- Aktivointitietue
- Aktivointitietuepino
- Rekursio
- Käyttöjärjestelmäpalvelut

Tässä luennossa tutustutaan aliohjelmien toteutukseen konekielitasolla. Esittelemme ensin erilaiset aliohjelmatyypit ja aliohjelmien parametrityypit. Käymme sitten läpi aliohjelmien toteutusmekanismin aktivointitietueen avulla ja näytämme, kuinka aliohjelmien kutsu/paluu -hierarkia on toteutettu aliohjelmapinon avulla. Käymme myös läpi rekursion vaatimukset aliohjelmien toteutukseen ja miten käyttöjärjestelmäpalvelujen käyttö eroaa tavallisten aliohjelmien käytöstä ja mitä yhteistä niillä on.

Aliohjelmatyypit

Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit (sisäänmenoparametrit, ulostuloparametrit)

```
procedure  P(x : integer);
Q (int x; char s[ ])
```

funktio
- parametrit, paluuarvo

```
int F (int x; float y)
function Comp ( x: real, var y: int) : int ;
```

metodi
- parametrit, ehkä paluuarvo

```
private static void F(int x)
```

Konekielitason vastaavat käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit ja paluuarvo (paluuarvot)

```
int F (float y)
void Fun (int z, char c, char [ ] s)
```


Korkean tason kielissä aliohjelmia on useampaa eri tyyppiä, vaikka ne perusidealtaan ovatkin hyvin samankaltaisia. Aliohjelmahan tarkoittaa kerran määriteltyä, mutta mahdollisesti useasta eri kohtaa kutsuttavaa rutiinia, jonka toimintaa voidaan ohjata parametreilla ja joka voi myös palauttaa arvoja ulostuloparametrien avulla. Aliohjelmaan voi sisältyä paikallisia muuttujia, mutta siinä voi myös viitata globaaleihin ja ehkä myös muiden kutsupolulla olevien aliohjelmien tietorakenteisiin. Suurimmat erot eri ohjelmointikielien aliohjelmissa on juuri aliohjelmien omien tietorakenteiden näkyvyysalueet.

Aliohjelmatyypit

Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit (sisäänmenoparametrit, ulostuloparametrit)

```
procedure  P(x : integer);
Q (int x; char s[ ])
```

funktio
- parametrit, paluuarvo

```
int F (int x; float y)
function Comp ( x: real, var y: int) : int ;
```

metodi
- parametrit, ehkä paluuarvo

```
private static void F(int x)
```

Konekielitason vastaavat käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit ja paluuarvo (paluuarvot)

```
int F (float y)
void Fun (int z, char c, char [ ] s)
```


Otaksumme nyt jatkossa, että aliohjelmassa voi viitata ainoastaan sen omiin paikallisiin tietorakenteisiin tai globaaleihin, pääohjelmatasolla määriteltyihin tietorakenteisiin. Monimutkaisemmat tunnusten näkyvyysalueet käsitellään sitten myöhemmillä ohjelmointikielten kursseilla. Perustapaus aliohjelmasta sisältää sen nimen ja parametrit. Joissakin kielissä (osa) parametreista voi olla ulostuloparametreja eli niiden arvo voi muuttua aliohjelman suorituksen aikana, mutta esimerkiksi C'ssa ja Javassa parametrina annettu muuttuja ei voi vaihtaa arvoaan aliohjelman suorituksen aikana.

Aliohjelmatyypit

Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit (sisäänmenoparametrit, ulostuloparametrit)

```
procedure  P(x : integer);
Q (int x; char s[ ])
```

funktio
- parametrit, paluuarvo

```
int F (int x; float y)
function Comp ( x: real, var y: int) : int ;
```

metodi
- parametrit, ehkä paluuarvo

```
private static void F(int x)
```

Konekielitason vastaavat käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit ja paluuarvo (paluuarvot)

```
int F (float y)
void Fun (int z, char c, char [ ] s)
```


Funktio on erikoismuoto geneerisestä aliohjelmasta. Se eroaa aliohjelmasta sinä, että se palauttaa aina jonkin arvon. Yleensä tämä arvo voi olla vain yksinkertaista yhteen sanaan mahtuvaa tietotyyppiä (esim. kokonaisluku tai liukuluku), mutta jotkut ohjelmointikielet sallivat myös monimutkaisten tietotyyppien (esim. tietue) arvon palauttamisen. Voidaan myös ajatella, että aliohjelma on erikoistapaus funktiosta, jossa paluuarvoa ei ole. Joissakin ohjelmointikielissä on vain funktioita, ja aliohjelmat ovat tällöin funktioita, joiden paluuarvo puuttuu eli on 'void'.

Aliohjelmatyypit

Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit (sisäänmenoparametrit, ulostuloparametrit)

```
procedure  P(x : integer);
Q (int x; char s[ ])
```

funktio
- parametrit, paluuarvo

```
int F (int x; float y)
function Comp ( x: real, var y: int) : int ;
```

metodi
- parametrit, ehkä paluuarvo

```
private static void F(int x)
```

Konekielitason vastaavat käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit ja paluuarvo (paluuarvot)

```
int F (float y)
void Fun (int z, char c, char [ ] s)
```


Olioperustaisissa kielissä aliohjelman korvaa metodi. Metodille määritellään näkyvyysalue, mutta muuten se on hyvin samankaltainen aliohjelmien ja funktioiden kanssa. On myös 'tavallisia' lohkorakenteisia ohjelmointikieliä, joissa voidaan määritellä aliohjelmien ja funktioiden näkyvyysalueita.

Aliohjelmatyypit

Korkean tason ohjelmointikielen käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit (sisäänmenoparametrit, ulostuloparametrit)

```
procedure  P(x : integer);
Q (int x; char s[ ])
```

funktio
- parametrit, paluuarvo

```
int F (int x; float y)
function Comp ( x: real, var y: int) : int ;
```

metodi
- parametrit, ehkä paluuarvo

```
private static void F(int x)
```

Konekielitason vastaavat käsitteet

aliohjelma, proseduuri
- parametrit ja paluuarvo (paluuarvot)

```
int F (float y)
void Fun (int z, char c, char [ ] s)
```


Konekielen tasolla nämä kaikki korkean tason kielen aliohjelmatyypit ovat hyvin samankaltaisia. Meillä on vain aliohjelma (proseduuri), jolla voi olla useita parametreja ja joka voi palauttaa jonkin arvon. Parametrien ja paluuarvon tyyppi voi konekielen tasolla olla mitä vain, mutta kääntäjät tietenkin rajaavat ne kyseisen korkean tason ohjelmointikielen syntaksiin ja semantiikkaan sopiviksi. Jatkossa puhumme vain aliohjelmista, oli vastaava korkean tason kielen käsite sitten aliohjelma, funktio tai metodi.

Muodolliset ja todelliset parametrit

Muodolliset parametrit ja paluuarvo

- määritelty aliohjelmassa ohjelmointihetkellä
- ohjelmoijan valitsemat nimet, järjestys ja tyyppi
- paluuarvon nimi on sama kuin funktion nimi, sillä on annettu tyyppi

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

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

Todelliset parametrit ja paluuarvo

```
Tulosta (5, apu)
```

- todelliset parametrit sijoitetaan muodollisten parametrien paikalle suoritusaikana kutsuhetkellä
- sijoitus muodollisten parametrien paikalle usein järjestyksen perusteella, joskus myös annetun muodollisen parametrin nimen perusteella
- paluuarvo saadaan suoritusaikana paluuhetkellä ja sitä käytetään kuin mitä tahansa arvoa

```
Tulosta (y=>apu, x=>5)
```

```
x = Laske (y+234)
```


Aliohjelmien parametrit määritellään ohjelmointihetkellä, jolloin ohjelmoija antaa ne jossakin järjestyksessä ja antaa parametreille aliohjelman toteutuskoodissa käytettävän nimen ja tyypin. Muodolliset parametrit ovat aliohjelman koodissa hyvin samanlaisessa asemassa kuin paikalliset muuttujatkin. Merkittävä ero on kuitenkin, että niiden alkuarvo määräytyy vasta kutsuhetkellä.

Muodolliset ja todelliset parametrit

Muodolliset parametrit ja paluuarvo

- määritelty aliohjelmassa ohjelmointihetkellä
- ohjelmoijan valitsemat nimet, järjestys ja tyyppi
- paluuarvon nimi on sama kuin funktion nimi, sillä on annettu tyyppi

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

Todelliset parametrit ja paluuarvo

- todelliset parametrit sijoitetaan muodollisten parametrien paikalle suoritusaikana kutsuhetkellä
- sijoitus muodollisten parametrien paikalle usein järjestyksen perusteella, joskus myös annetun muodollisen parametrin nimen perusteella
- paluuarvo saadaan suoritusaikana paluuhetkellä ja sitä käytetään kuin mitä tahansa arvoa

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


Todelliset parametrit ovat tietenkin ne parametrit, jotka aliohjelmalle annetaan sitä kutsuttaessa. Useimmiten todelliset parametrit annetaan samassa järjestyksessä, kuin mitä muodollisetkin parametrit annettiin, mutta esimerkiksi Ada-ohjelmointikielessä todelliset parametrit voidaan antaa myös mielivaltaisessa järjestyksessä, mutta tällöin niiden vastaavuus muodollisiin parametreihin pitää sitten antaa eksplisiittisesti. Funktion paluuarvo määräytyy vasta aliohjelmasta paluuhetkellä, mutta senkin tulee tietenkin olla funktion määrittelyssä sovittua tyyppiä.

Parametrityypit

Arvoparametri

lausekkeella on arvo

```
Laske (5, y, x+43);
```

- välitetään (todellisen) parametrin arvo kutsuhetkellä
- todellisen parametrin arvoa ei voi muuttaa, koska vain arvo (kopio) välitettiin

Viiteparametri

- välitetään (todellisen) parametrin osoite
- välitettävällä parametrilla pitää olla osoite
- arvoa voidaan muuttaa, voi olla ulostuloparametri

```
Päivitä (X, 7, Summa);
Päivitä (Y+2, K, Osasumma);
```

Nimiparametri

- välitetään (todellisen) parametrin nimi, muodollinen parametri on merkkijono
- mikä tahansa merkkijono kelpaa todelliseksi parametriksi
- käsitteellisesti monimutkainen, vaatii aliohjelman (uudelleen)käännöksen tai tulkitsemisen

```
Swap( i, k );
Swap( 5.3, T[i] );
Swap( i, Y := R+6 );
```


Parametreja on kolmea eri perustyyppiä. Yleisin käytetty on arvoparametri, jossa muodollinen parametri kutsun yhteydessä alustetaan todellisen parametrin arvolla. Todellinen parametri on turvassa muutoksilta, koska aliohjelmalle välitetään ainoastaan sen arvon kopio. Arvoksi sopii mikä tahansa, joten todellinen parametri voi olla myös aritmeettisen lausekkeen arvo.

Parametrityypit

Arvoparametri

- välitetään (todellisen) parametrin arvo kutsuhetkellä
- todellisen parametrin arvoa ei voi muuttaa, koska vain arvo (kopio) välitettiin

```
Laske (5, y, x+43);
```

Viiteparametri

- välitetään (todellisen) parametrin osoite
- välitettävällä parametrilla pitää olla osoite
- arvoa voidaan muuttaa, voi olla ulostuloparametri

ei saa muuttaa!

```
Päivitä (X, 7, Summa);
Päivitä (Y+2, K, Osasumma);
```

ei osoitetta!

Nimiparametri

- välitetään (todellisen) parametrin nimi, muodollinen parametri on merkkijono
- mikä tahansa merkkijono kelpaa todelliseksi parametriksi
- käsitteellisesti monimutkainen, vaatii aliohjelman (uudelleen)käännöksen tai tulkitsemisen

```
Swap( i, k );
Swap( 5.3, T[i] );
Swap( i, Y := R+6 );
```


Toinen yleisesti käytetty parametrityyppi on viiteparametri, jossa välitetään todellisen parametrin osoite. Jos todellinen parametri on esimerkiksi muuttuja Summa, niin aliohjelma Päivitä voi muuttaa muuttujan Summa arvoa, koska sillä on käytössään muuttujan Summa osoite. Olisi vaarallista välittää esimerkiksi vakion 7 osoite, koska emme halua antaa aliohjelmalle mahdollisuutta vaihtaa vakion 7 arvoa! Todellinen parametri täytyy kuitenkin olla sellainen olio, jolla on osoite. Esimerkiksi aritmeettinen lauseke ei kelpaa tässä kohtaa yleensä, koska siihen liittyy käsitteellisesti ainoastaan arvo, mutta ei osoitetta.

Parametrityypit

Arvoparametri

- välitetään (todellisen) parametrin arvo kutsuhetkellä
- todellisen parametrin arvoa ei voi muuttaa, koska vain arvo (kopio) välitettiin

```
Laske (5, y, x+43);
```

Viiteparametri

- välitetään (todellisen) parametrin osoite
- välitettävällä parametrilla pitää olla osoite
- arvoa voidaan muuttaa, voi olla ulostuloparametri

```
Päivitä (X, 7, Summa);
Päivitä (Y+2, K, Osasumma);
```

Nimiparametri

- välitetään (todellisen) parametrin nimi, muodollinen parametri on merkkijono
- mikä tahansa merkkijono kelpaa todelliseksi parametriksi
- käsitteellisesti monimutkainen, vaatii aliohjelman (uudelleen)käännöksen tai tulkitsemisen

```
Swap( i, k );          Swap( 5.3, T[i] );      Swap( i, Y := R+6 );
```

kokonaisluku liukuluku taulukko lause

Kolmas parametrityyppi on nimiparametri, jossa parametrin arvon tai osoitteen asemesta välitetään sen nimi. Tämä on oikeastaan aika monimutkaista, koska edes parametrin arvotyyppiä ei välttämättä tarvitse ilmaista, vaikka näin usein tehdäänkin. Todellinen parametri on nyt mikä tahansa merkkijono, joka sijoitetaan aliohjelman koodiin muodollisen parametrin joka esiintymiskohtaan. Tämä voi muuttaa koodin rakennetta, joten koko koodi täytyy kääntää tai tulkita uudelleen joka kutsukerralla. Tämä tekee nimiparametrin käytännön toteutuksen aika monimutkaiseksi.

Arvoparametri

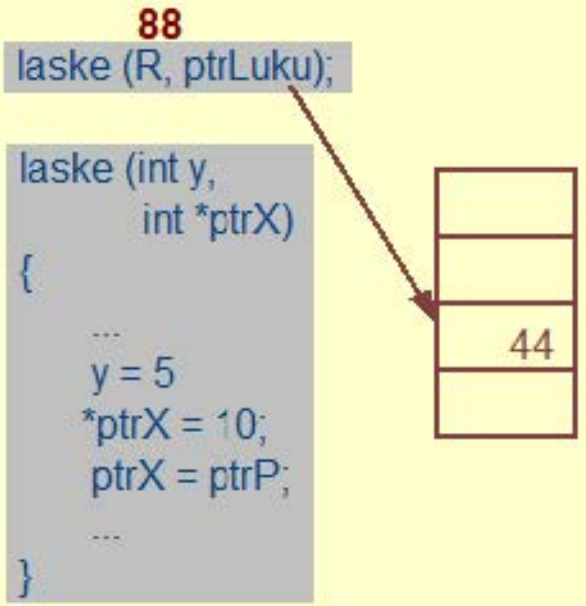
Välitetään todellisen parametrin arvo (eli arvon kopio)

Tulosta (A+3, B)

- muuttuja, vakio, lauseke, olioviite (olion osoite), data- tai koodiosoitin

Aliohjelma ei voi mitenkään muuttaa todellisena parametrina käytettyä muuttujaa tai arvoa

- muutetaan alkuperäisen parametrin arvon kopiota
- jos todellinen parametri on osoitin (pointteri), niin todellista parametria (osoitinta) ei voi muuttaa, mutta sen osoittamaa tietoa voi tietenkin muuttaa



Javassa ja C'ssä vain arvoparametreja

- parametrina voi silti olla osoittimen tai osoitinmuuttujan arvo

Arvoparametri on helpointa ymmärtää. Yleisesti ottaen muodollinen parametri vastaa jonkin tyypin muuttujaa, joka sitten alustetaan kutsuhetkellä todellisen parametrin arvolla. Parametri itse voi tietenkin olla mitä tahansa arvotyyppiä, esimerkiksi kokonaisluku, merkkijono, liukuluku tai osoitin mihin tahansa tietoon. Arvoparametrin käyttö osoittimien välitykseen antaa niille huomattavan määrää voimaa, mutta se on myös jonkin verran vaarallista, koska kutsuvan ohjelman täytyy nyt luottaa siihen, että aliohjelma ei käytä väärin saamaansa osoitetta.

Arvoparametri

Välitetään todellisen parametrin arvo (eli arvon kopio)

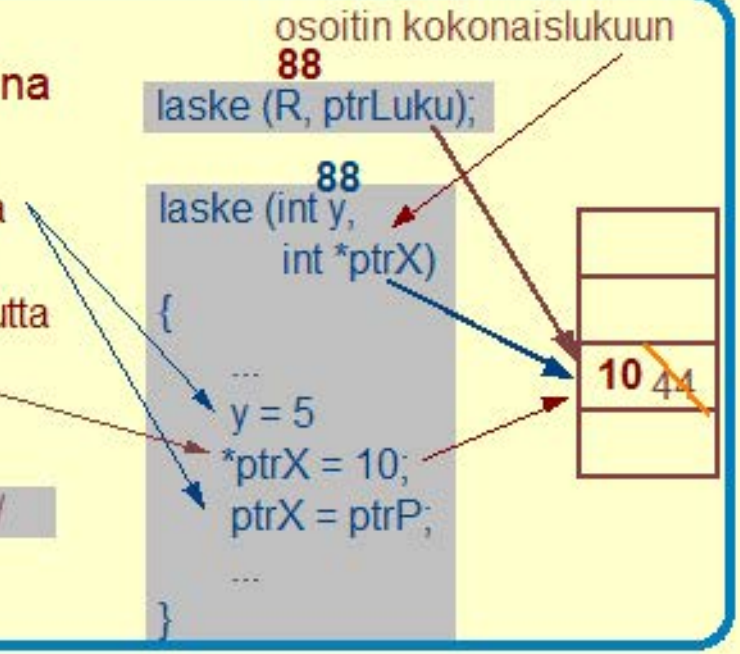
Tulosta (A+3, B)

- muuttuja, vakio, lauseke, olioviite (olion osoite), data- tai koodiosoitin

Aliohjelma ei voi mitenkään muuttaa todellisena parametrina käytettyä muuttujaa tai arvoa

- muutetaan alkuperäisen parametrin arvon kopiota
- jos todellinen parametri on osoitin (pointteri), niin todellista parametria (osoitinta) ei voi muuttaa, mutta sen osoittamaa tietoa voi tietenkin muuttaa

```
*ptrX = 10;  /* muuta ptrX'n osoittamaa arvoa */
```



Javassa ja C'ssä vain arvoparametreja

- parametrina voi silti olla osoittimen tai osoitinmuuttujan arvo

Koska arvoparametri on alustettu todellisen parametrin arvon kopiolla, todellinen parametri on täysin turvassa muutoksilta. Esimerkissä aliohjelma 'laske' ei voi muuttaa todellisen parametrin 'R' arvoa 88, mutta voi muuttaa sillä alustetun kopion 'y' arvoa. Osoitinparametri 'ptrX' osoittaa alkuaan samaan muuttujaan kuin osoitinmuuttuja 'ptrLuku', joten sen kautta voidaan muuttaa osoitinmuuttujan 'ptrLuku' osoittamaa arvoa, mutta itse osoitinmuuttuja 'ptrLuku' on turvassa muutoksilta. Se osoittaa aliohjelmasta 'laske' paluun jälkeen samaan muistipaikkaan, vaikka kyseisen muistipaikan sisältö onkin muuttunut.

Arvoparametri

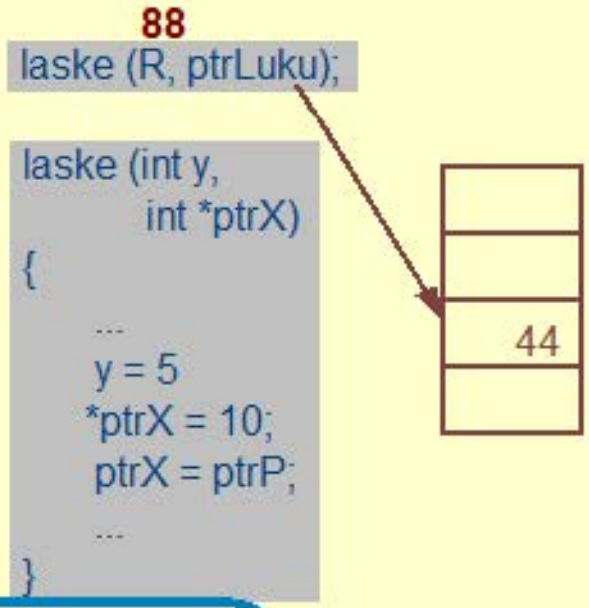
Välitetään todellisen parametrin arvo (eli arvon kopio)

Tulosta (A+3, B)

- muuttuja, vakio, lauseke, olioviite (olion osoite), data- tai koodiosoitin

Aliohjelma ei voi mitenkään muuttaa todellisena parametrina käytettyä muuttujaa tai arvoa

- muutetaan alkuperäisen parametrin arvon kopiota
- jos todellinen parametri on osoitin (pointteri), niin todellista parametria (osoitinta) ei voi muuttaa, mutta sen osoittamaa tietoa voi tietenkin muuttaa



Javassa ja C'ssä vain arvoparametreja

- parametrina voi silti olla osoittimen tai osoitinmuuttujan arvo

C- ja Java-kielissä on vain arvoparametreja ja kaikkien parametrien tulee olla yksinkertaista tietotyyppiä. Esimerkiksi 10-alkioinen taulukko ei voi olla parametri, mutta sen osoite voi olla parametri. Osoitteethan ovat aina yksinkertaista tietotyyppiä ja ne mahtuvat aina yhteen tai kahteen sanaan. Tämä yksinkertaistaa näitä kieliä huomattavasti, mutta rajaa myös pois mahdollisuuden, että parametrina annettua osoitetta voisi käyttää vain tiedon lukemiseen. Javassa ja C'ssä ei ole erikseen määrettä sisäänmeno- ja ulostuloparametreille, kuten esimerkiksi Pascal- tai Ada-kielissä.

Viiteparametri

muuttujan sum osoite, ei arvo

```
Psummaa (54, sum)
```

Välitetään todellisen parametrin osoite

- muuttujan osoite, osoitinmuuttujan osoite, tietueen osoite, aliohjelman osoite, ...
- ero selvemmin näkyvissä korkean tason kielen tasolla
- konekielen tasolla eri viiteparametrin ja arvoparametrina välitetyn osoitteen välillä on aika pieni

Aliohjelma voi muuttaa parametrina annetun muuttujan arvoa

C-kielen arvoparametrina osoite

```
Csummaa (int x,  int *cum_sum)
{
      ...
      *cum_sum = *cumsum + x
      ...
}
```

```
Csummaa (6, &kok_lkm);
```

Pascal-kielen *var*-parametri

```
Psummaa  (x: int; var cum_sum: int)
{
      ...
      cum_sum := cum_sum + x;
      ...
}
```

```
Psummaa (6, kok_lkm);
```


Viiteparametrissa välitetään nimetyn muuttujan arvon asemesta sen osoite. Todellisen parametrin täytyy nyt olla jokin rakenne, jolla on osoite. Konekielen tasolla tämä on hyvin samankaltainen tilanne, kuin jos arvoparametrina välitetään jonkun tiedon osoite, mutta korkean tason kielen tasolla ero on suuri.

Viiteparametri

muuttujan sum osoite, ei arvo

```
Psummaa (54, sum)
```

Välitetään todellisen parametrin osoite

- muuttujan osoite, osoitinmuuttujan osoite, tietueen osoite, aliohjelman osoite, ...
- ero selvemmin näkyvissä korkean tason kielen tasolla
- konekielen tasolla eri viiteparametrin ja arvoparametrina välitetyn osoitteen välillä on aika pieni

Aliohjelma voi muuttaa parametrina annetun muuttujan arvoa

C-kielen arvoparametrina osoite

```
Csummaa (int x,  int *cum_sum)
{
    ...
    *cum_sum = *cumsum + x
    ...
}
```

```
Csummaa (6, &kok_lkm);
```

Pascal-kielen *var*-parametri

```
Psummaa  (x: int; var cum_sum: int)
{
    ...
    cum_sum := cum_sum + x;
    ...
}
```

```
Psummaa (6, kok_lkm);
```


Viiteparametria käytettäessä kutsuvasta rutiinista annetaan aliohjelmalle aina pointteri kutsuvan rutiinin käytössä olevaan tietorakenteeseen, jota kutsuttu aliohjelma voi mielin määrin muuttaa. Tämä vaatii hyvin paljon luottamusta kutsuttavaan aliohjelmaan, joka voi sijaita jossakin ulkopuolisessa kirjastomoduulissa. Tämän vuoksi useissa ohjelmointikielissä ei ole toteutettu viiteparametreja ja osoittimen käyttö pitää aina koodata ekplisiittisesti näkyville. Toisaalta, e tämäkään tapa ole yhtään sen turvallisempi, mutta voi itse asiassa olla vielä virhealttiimpi.

Viiteparametri

muuttujan sum osoite, ei arvo

```
Psummaa (54, sum)
```

Välitetään todellisen parametrin osoite

- muuttujan osoite, osoitinmuuttujan osoite, tietueen osoite, aliohjelman osoite, ...
- ero selvemmin näkyvissä korkean tason kielen tasolla
- konekielen tasolla eri viiteparametrin ja arvoparametrina välitetyn osoitteen välillä on aika pieni

Aliohjelma voi muuttaa parametrina annetun muuttujan arvoa

C-kielen arvoparametrina osoite

```
Csummaa (int x,  int *cum_sum)
{
    ...
    *cum_sum = *cumsum + x
    ...
}
```

```
Csummaa (6, &kok_lkm);
```

Pascal-kielen *var*-parametri

```
Psummaa  (x: int; var cum_sum: int)
{
    ...
    cum_sum := cum_sum + x;
    ...
}
```

```
Psummaa (6, kok_lkm);
```


Pascal-kielessä on viiteparametreja ja ne merkitään var-etuliitteellä aliohjelman määrittelyssä. Aliohjelmaa käytettäessä ei kuitenkaan ole mitenkään näkyvissä, että kyseinen parametri onkin viite- eikä arvoparametri. Se pitää vain ohjelmoijan muistaa. Toisaalta on kätevää, kun esimerkissä annettu viiteparametri 'kok_lkm' voidaan antaa ihan samalla tavalla kuin samassa kutsussa oleva arvoparametri 6.

Viiteparametri

muuttujan sum osoite, ei arvo

```
Psummaa (54, sum)
```

Välitetään todellisen parametrin osoite

- muuttujan osoite, osoitinmuuttujan osoite, tietueen osoite, aliohjelman osoite, ...
- ero selvemmin näkyvissä korkean tason kielen tasolla
- konekielen tasolla eri viiteparametrin ja arvoparametrina välitetyn osoitteen välillä on aika pieni

Aliohjelma voi muuttaa parametrina annetun muuttujan arvoa

C-kielen arvoparametrina osoite

```
Csummaa (int x,  int *cum_sum)
{
      ...
      *cum_sum = *cumsum + x
      ...
}
```

```
Csummaa (6, &kok_lkm);
```

Pascal-kielen *var*-parametri

```
Psummaa  (x: int; var cum_sum: int)
{
      ...
      cum_sum := cum_sum + x;
      ...
}
```

```
Psummaa (6, kok_lkm);
```


Ero C-kieleen on suuri. C'ssä pitää aliohjelman määrittelyssä kertoa, että parametri cum_sum on osoitin. Tämä vastaa hyvin paljon viiteparametrin määrittelyä, mutta eroaa siinä kohtaa, että parametri cum_sum on ihan tavallinen osoitin-tyyppinen arvoparametri. C-kielessä pitää joka kerta cum_sum'iin viitattaessa erikseen koodata näkyville, että viittaus tapahtuu osoitinmuuttujan osoittamaan tietoon, kun Pascal-kielessä tämä on täysin automaattista var-määrittelyn ansiosta. C- ja Pascal-kielissä on siis merkittäviä semanttisia eroja.

Nimiparametri

Välitetään todellisen parametrin nimi

- merkkijono, jolla korvataan nimiparametri jokaisessa viittauskohdassa
- Algol 60
- yleensä nykyisin makroissa
- 'sivuvaikutuksia'

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

vaihda i, j ?

```
swap (i, j)
```

```
{
    int t;
    t := i;  i := j; j := t;
}
```


Kolmas parametrityyppi on siis nimiparametri. Nimen välittäminen parametrina on hyvin erilainen tilanne kuin arvon tai osoitteen välittäminen. Aliohjelman koodi voi muuttua hyvinkin paljon nimiparametrin yhteydessä, joten se pitää oikeastaan kääntää uudelleen joka kutsukerralla. Tämä monimutkaistaa korkean tason kieltä yleensä liikaa, joten nimiparametreja ei niissä juurikaan käytetä. Ohjelmointikielissä on kuitenkin ohjelmointia helpottavia makroja, jotka käsitellään ennen varsinaista kääntämistä ja näissä makrokielissä parametrit ovat tyypillisesti juuri nimiparametreja.

Nimiparametri

Välitetään todellisen parametrin nimi

- merkkijono, jolla korvataan nimiparametri jokaisessa viittauskohdassa
- Algol 60
- yleensä nykyisin makroissa
- 'sivuvaikutuksia'

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

```
vaihda i, j ?
swap (i, j)
```

→

```
{
    int t;
    t := i;  i := j; j := t;
}
```


Tässä esimerkissä meillä on rutiini swap(), joka vaihtaa kahden parametrina annetun alkion arvot keskenään, käyttäen apuna paikallista muuttujaa t. Normaalitapauksessa swap()'ia kutsutaan antamalla vaihdettavien muuttujien nimet (tässä i ja j), jolloin swap()'in rungossa muodolliset parametri x ja y korvataan i'llä ja j'llä niiden kaikissa esiintymiskohdissaan. Siltä varalta, että i tai j olisi jotenkin väärämuotoinen (esim. i olisi merkkijono 'abc'), swap'in runko tulee tarkistaa kääntämällä se uudelleen.

Nimiparametri

Välitetään todellisen parametrin nimi

- merkkijono, jolla korvataan nimiparametri jokaisessa viittauskohdassa
- Algol 60
- yleensä nykyisin makroissa
- 'sivuvaikutuksia'

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

```
vaihda i, j ?
swap (i, j)
```

```
{
    int t;
    t := i;  i := j; j := t;
}
```

```
vaihda n ja A[n] ?
swap (n, A[n])
```

```
{
    int t;
    t := n;  n := A[n]; A[n] := t;
}
```

"väärä" n

Nimiparametrien varsinainen voima ja vaarallisuus tulee siitä, että nimiparametrina voi itse asiassa välittää minkä tahansa merkkijonon, joka sitten sijoitetaan muodollisen parametrin paikalle ernen lauseiden evaluointia. Esimerkiksi tälle swap-rutiinille voidaan välittää taulukon indeksi ja taulukon alkio parametreina. Tässä esimerkissä swap-rutiinin sisällä jälkimmäinen viittaus taulukon alkioon A[n] kchdistuukin eri alkioon kuin ensimmäisellä viittauksella, koska muuttujan n arvo on muuttunut ja A[n] evaluoidaan vasta muutoksen jälkeen. Emme käsittele nimiparametrejä enää jatkossa, mutta niiden olemassaolo on hyvä tietää.

Aliohjelman komponentit

Paluuosoite
- kutsukohtaa seuraavan käskyn osoite

Parametrien välitys
Paluuarvon välitys
Paikalliset muuttujat

Rekistereiden allokointi
- kutsuvalla ohjelman osalla voi olla käytössään rekistereitä, joiden arvo halutaan säilyttää
- kuka tallettaa ne ja palauttaa kutsun jälkeen ennalleen?
  - kutsuva rutiini? talleta aina kaikki rekisterit varmuuden vuoksi!
  - kutsuttu rutiini? talleta vain itse käyttämät rekisterit
- kutsuttu rutiini tallettaa käyttämänsä rekistereiden alkuperäiset arvot muistiin ja palauttaa ne ennalleen ennen paluuta

Aliohjelman runko
- varsinainen työ tehdään täällä

Aliohjelmat ovat siis rutiineja, joita voidaan kutsua liki mistä päin vain ohjelmaa, niillä voi olla parametreja ja paikallisia muuttujia. Lisäksi aliohjelman suorituksen aikana siinä voidaan viitata myös globaaleihin tietorakenteisiin ja joissakin ohjelmointikielissä myös joihinkin muissa aliohjelmissa määriteltyihin tietorakenteisiin. Nämä kaikki aliohjelmiin liittyvät käsitteet pitää nyt sitten toteuttaa yksi kerrallaan. Otaksumme jatkossa, että aliohjelmassa on viitattavissa vain sen omat ja globaalit tietorakenteet.

Aliohjelman komponentit

Paluuosoite

- kutsukohtaa seuraavan käskyn osoite

Parametrien välitys

Paluuarvon välitys

Paikalliset muuttujat

Rekistereiden allokointi

- kutsuvalla ohjelman osalla voi olla käytössään rekistereitä, joiden arvo halutaan säilyttää
- kuka tallettaa ne ja palauttaa kutsun jälkeen ennalleen?
  - kutsuva rutiini? talleta aina kaikki rekisterit varmuuden vuoksi!
  - kutsuttu rutiini? talleta vain itse käyttämät rekisterit
- kutsuttu rutiini tallettaa käyttämänsä rekistereiden alkuperäiset arvot muistiin ja palauttaa ne ennalleen ennen paluuta

Aliohjelman runko

- varsinainen työ tehdään täällä

Aliohjelmien toteutukseen sisältyy myös puhdasta käytännöllistä hallintoa. Haluamme, että aliohjelma ei sotke kutsuvan rutiinin käytössä olevia rekistereitä. Esimerkiksi, pääohjelma pitää rekisterissä R2 koko ajan ohjelmassa tarvittavaa muuttujan HyvinTärkeä arvoa, ja halutaan, että aliohjelman Apu käytön jälkeen rekisterin R2 arvon pitää olla sama kuin se oli ennen aliohjelman Apu kutsua. Aliohjelman toteutuksen yksi perusvaatimus on siten se, että kaikkien työrekistereiden arvot pitää olla samat aliohjelmasta paluun jälkeen kuin mitä ne olivat juuri ennen aliohjelman kutsua.

Aliohjelman komponentit

Paluuosoite

- kutsukohtaa seuraavan käskyn osoite

Parametrien välitys

Paluuarvon välitys

Paikalliset muuttujat

Rekistereiden allokointi

- kutsuvalla ohjelman osalla voi olla käytössään rekistereitä, joiden arvo halutaan säilyttää
- kuka tallettaa ne ja palauttaa kutsun jälkeen ennalleen?
  - kutsuva rutiini? talleta aina kaikki rekisterit varmuuden vuoksi!
  - kutsuttu rutiini? talleta vain itse käyttämät rekisterit
- kutsuttu rutiini tallettaa käyttämänsä rekistereiden alkuperäiset arvot muistiin ja palauttaa ne ennalleen ennen paluuta

Aliohjelman runko

- varsinainen työ tehdään täällä

Totta kai aliohjelmiin sisältyy myös niiden runko, eli se osa aliohjelmaa, joka tekee varsinaisen työn. Yksinkertaisissa esimerkeissämme ohjelman runko-osa on usein hyvin pieni ja näyttää jopa suhteettoman pieneltä verrattuna aliohjelmien toteutuksen muihin osiin, mutta todellisissa sovelluksissa aliohjelmien koot ovat tietenkin vähän tai aika paljonkin suurempia. Keskitymme nyt kuitenkin itse aliohjelma-käsitteen toteutukseen järjestelmässä ja tässä yhteydessä on epärelevanttia, mitä aliohjelmat oikeastaan tekevät.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue
- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)
- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Järjestelmä toteuttaa aliohjelman käsitteen yhden tietueen avulla. Tämä on todella nerokas toteutustapa niinkin monimutkaiselle ja voimakkaalle käsitteelle kuin aliohjelma. Aktivointitietueen rakenne vaihtelee järjestelmän ja ohjelmointikielen mukaan, mutta on myös mahdollista käyttää samaa aktivointitietueen rakennetta useassa eri ohjelmointikielessä. Keskitymme nyt esimerkkikoneessa ttk-91'ssä käytettävään aktivointitietueeseen.
Muistakaa, että tietueen sisäinen rakenne ei ole niinkään tärkeä, vaan se, mitä kenttiä siellä yleensä on.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietueessa on 6 erilaista kenttää ja joissakin kentissä on monta sanaa. Ne on tietueen sisällä tietyssä järjestyksessä, minkä merkitys selviää ihan kohta. Käydään nyt ensin läpi nämä kuusi kenttää ja niiden sisällöt. Ensimmäisenä kenttänä on funktion paluuarvo. Paluuarvon tietotyyppi on tietenkin kokonaisluku, koska ttk-91'ssä ei ole muita tietotyyppejä. Jos aliohjelma ei palauta mitään arvoa, niin tämä kenttä tietenkin puuttuu. Toisaalta, mikään ei konekielen tasolla estä toteuttamasta funktiota, jolla olisi monta paluuarvoa. Jatkossa rajoitamme paluuarvojen lukumäärän kuitenkin yhteen.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Seuraavana aktivointitietueessa on sen kaikki parametrit. Niille kaikille varataan tilaa yksi sana, mikä riittää juuri sopivasti sekä arvoparametrien kokonaisluvulle että viiteparametrien muistiosoitteelle. Nimiparametrejahan ei ttk-91'ssä ole. Parametrit vievät saman verran tilaa, olivatpa ne sisäänmeno- tai ulostuloparametreja. Erot sisäänmeno- ja ulostuloparametrien välillä ovat vain siinä, kuinka niitä käytetään aliohjelman rungossa.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Aliohjelmien perusidea on, että niitä voidaan kutsua mistä päin tahansa koodia, ja, että kutsun jälkeen kontrolli palaa kutsukohtaa seuraavaan konekäskyyn. Tämä paluuosoite pitää tietenkin tallettaa kutsuhetkellä jonnekin, ja ttk-91 aktivointitietueessa se paikka on tässä kohtaa. Paluuosoite on muistiosoite ja sekin mahtuu juuri sopivasti 32-bitin sanaan ttk-91'ssä.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Toinen aliohjelmien perusidea on tunnusten viiteympäristö, millä tarkoitetaan sitä asiaa, että mitkä tunnukset ovat milloinkin käytettävissä ja miten niihin viitataan. Tämäkin käsite toteutetaan aktivointitietueen avulla. Rekisteri R7 eli FP (frame pointer) osoittaa aina tällä hetkellä aktiivisena olevaan aktivointitietueeseen ja aliohjelman suorituksen aikana sen viiteympäristö määräytyy täysin FP'n avulla. Aliohjelmasta paluun yhteydessä halutaan kontrollin lisäksi myös viiteympäristön palaavan kutsukohtaan, ja sitä varten meillä tallessa kutsukohdan FP.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

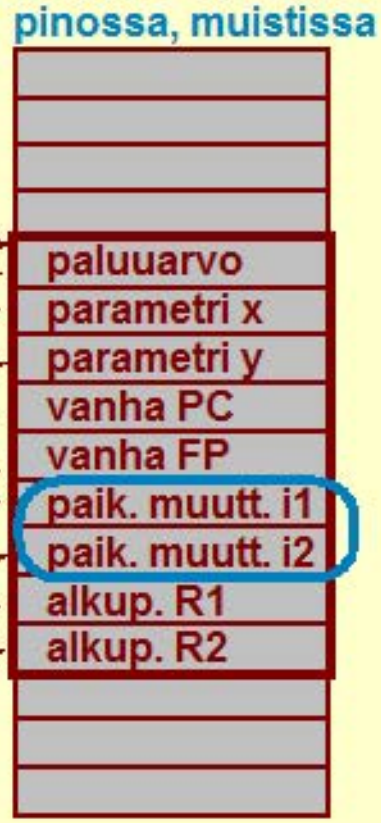
int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot



Kaikki aliohjelman paikalliset muuttujat varataan myös aktivointitietueesta. Yleensä aktivointitietueen koko on rajoitettu, joten useat ohjelmointikielet estävät suurten tietorakenteiden määrittelyn paikallisina muuttujina. Suuret tietorakenteet onkin usein parempi allokoica keosta. Aktivointietue taas talletetaan pinoon. Käsittelemme tätä tarkemmin ihan piakkoin.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot

Funktiossa funcA käytetään ainoastaan työrekistereitä R1 ja R2, joten ainoastaan niiden alkuperäiset arvot laitetaan talteen aktivointitietueeseen. Jos aliohjelman koodia myöhemmin muutetaan ja siellä otetaan käyttöön esimerkiksi rekisteri R5, niin R5 pitää myös muistaa lisätä tähän joukkoon. Nämä kuusi kenttää muodostavat nyt siis aktivointitietueen, mikä on aliohjelmien toteutuksen perusrakenne. Jokaista aliohjelman käyttökertaa varten sen käyttökerran aktivointitietue rakennetaan kokonaisuudessaan, ja aliohjelmasta poistuttaessa tämä aktivointitietue tuhotaan.

Aktivointitietue (activation record, activation frame)

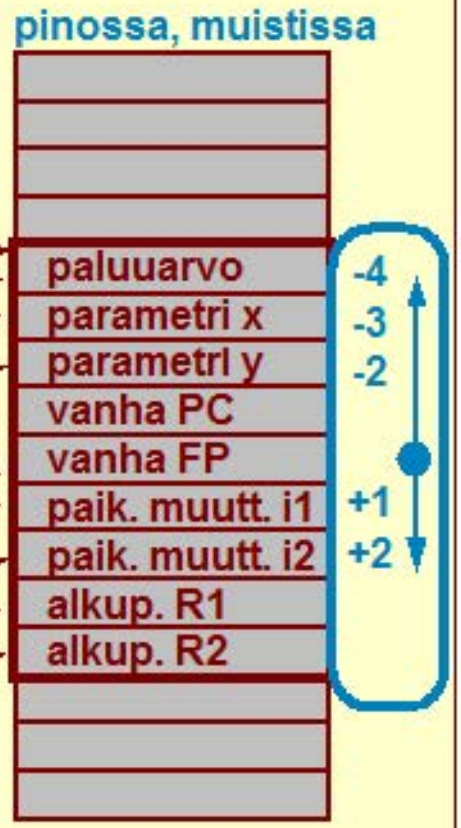
int funcA (int x, y)

Aliohjelman toteutustietue

- jokaisella järjestelmällä omansa

Ttk-91 järjestelmän aktivointitietue (funktiolle funcA)

- Funktion paluuarvo (paluuarvot?)
- Parametrien arvot (sisääntulo- ja ulostuloparametrit)
- Paluuosoite
- Kutsukohdan aktivointitietue
- Paikalliset muuttujat ja tietorakenteet
- Käytettyjen rekistereiden alkuperäiset arvot



Aktivointitietueen osoite on normaalista monisanaisesta tiedosta poiketen sen keskellä olevan vanhan FP talletuskohdan osoite ja rekisteri FP osoittaa juuri tähän kohtaan aliohjelman suorituksen aikana. Me emme tiedä tarkalleen missä päin muistia aktivointitietue on, mutta kaikki sen tiedot ovat viitattavissa FP'n kautta. Parametrien osoitteet ovat FP-2, FP-3 jne. Paikallisten muuttujien osoitteet ovat FP+1, FP+2 jne. Parametreihin ja paikallisiin muuttujin viittaminen on nyt vähän hankalampaa, koska niihin ei voi viitata minkään symbolin arvon avulla, vaan viittaminen tapahtuu aina niiden osoitteen perusteella, FP'n avustuksella.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle

Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

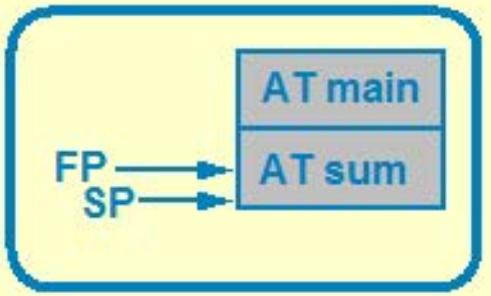
- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET

Aktivointitietueet allokoidaan pinosta. Kutsun yhteydessä muodostetaan aina uusi aktivointitietue ja aliohjelmasta paluun yhteydessä se puretaan. Jos ja kun aliohjelma kutsuu toista aliohjelmaa, niin tämän toisen aliohjelman aktivointitietue rakennetaan edellisen 'päälle' ja tällä tavoin pinossa on aina kutsuhierarkian mukaisesti kaikki kutsupolulla olevien aliohjelmakutsujen aktivointitietueet. Pinorekisteri SP pitää kirjaa pinon käytöstä ja osoittaa aina pinon pinnalle. Kehysrekisteri FP taas osoittaa tällä hetkellä käytössä olevaan aktivointitietueeseen ja määrittelee siten ohjelman suoritusympäristön.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle



Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

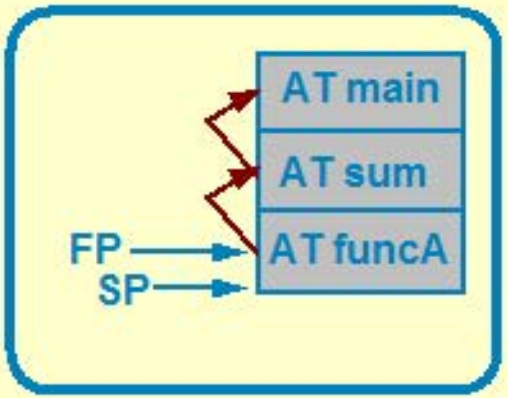
- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET

Esimerkissä pääohjelma main kutsui aliohjelmaa sum, joten aliohjelman sum käyttökerran aktivointitietue on rakennettu pääohjelman aktivointitietueen päälle. SP osoittaa edelleenkin pinon pinnalle ja FP osoittaa nyt käytössä olevaan aktivointitietueeseen.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle



Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

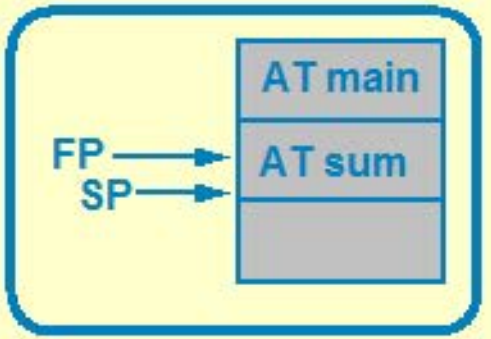
- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET

Aliohjelma sum kutsui funktiota funcA, joten tätä kutsukertaa vastaava aktivointitietue rakennettiin aikaisempien päälle. AT-pinossa on nyt kolme alkiota. SP osoittaa jälleen pinon pinnalle ja FP nyt aktiivisena olevaan funcA'n kutsukerran aktivointitietueeseen. Funktior funcA'n aikana viitattavissa on ainakin kaikki funcA'n paikalliset muuttujat ja pääohjelmatasolla määritellyt globaalit muuttujat. Ohjelmointikielestä riippuen käytössä nyt voisi olla myös sum'in paikalliset muuttujat, joihin päästään käsiksi seuraamalla FP-ketjua yhden pykälän.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle



Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET

Funktiosta funcA palattiin sitä kutsuneeseen rutiiniin ja funktion funcA aktivointitietue poistettiin pinosta. Pinossa on nyt vain kaksi aktivointitietuetta. SP osoittaa jälleen pinon pinnalle ja FP nyt taas aktiivisena olevan aliohjelman sum aktivointitietueeseen. Aktivointitietueita käsitellään siis kokonaisuuksina pinon pinnalla ja ainoastaan pinossa päällimmäisenä eli viimeistä aliohjelmakutsua vastaava aktivointitietue voidaan poistaa pinosta. Vaikka funcA'n aktivointitietue poistettiin pinosta, niin data ei tietenkään pinosta mihinkään hävinnyt. Ainoastaan SP'n arvo päivittyi.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

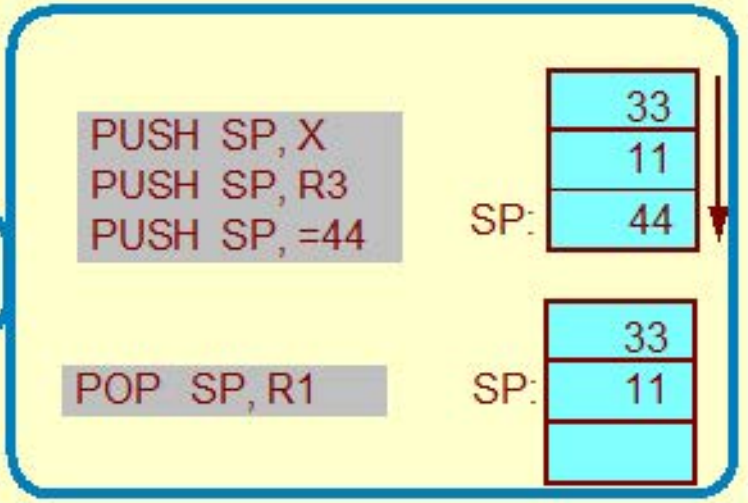
- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle

Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET



Aktivointitietueita rakennetaan ja puretaan kokonainen tietue kerrallaan, mutta ttk-91'ssä ei ole mitään tietueiden rakentamis- ja purkamiskäskyjä. Sen sijaan tietueet rakennetaan ja puretaan paloittain tavallisilla konekäskyillä. PUSH-käskyllä kasvatetaan pinorekisteriä yhdellä ja viedään jälkimmäisen operandin arvo pinoon, joten SP edelleenkin osoittaa pinon pinnalle eli pinon päällimmäisenä olevaan alkioon. POP-käsky taas aina kopioi pinon pinnalla olevan alkion johonkin rekisteriin, ja samalla vähentää SP'n arvoa yhdellä, joten se edelleenkin osoittaa pinon pinnalle. Muistakaa, että pinohan on vain osa keskusmuistia.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

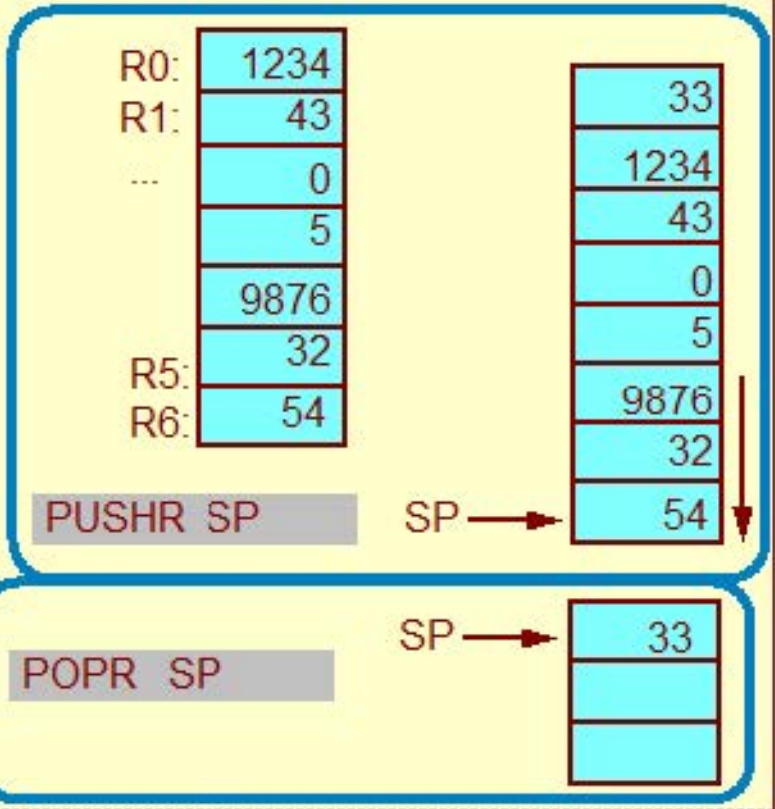
- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle

Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET



Ttk-91'ssä on myös vähän erikoiset rekistereiden talletus- ja palautuskäskyt PUSHR ja POPR. PUSHR'llä voi yhdellä käskyllä tallettaa kaikki työrekisterit pinoon. Se tallettaa myös rekisterin R6 arvon pinoon mikä on vähän sekavaa, mutta selittyy sillä että ttk-91'ssä SP'n ei ole pakko olla rekisteri R6, vaan se oikeastaan voi olla mikä tahansa rekisteri. Me käytämme kuitenkin vain R6'sta SP'nä. Vastaavasti POPR-käskyllä saadaan kaikkien työrekistereiden arvot palautettua yhdellä kertaa pinosta. Ihan tällaisia käskyjä ei oikeissa koneissa ole, mutta kylläkin muita erikoisia rakenteita aliohjelmakutsujen nopeuttamiseksi.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

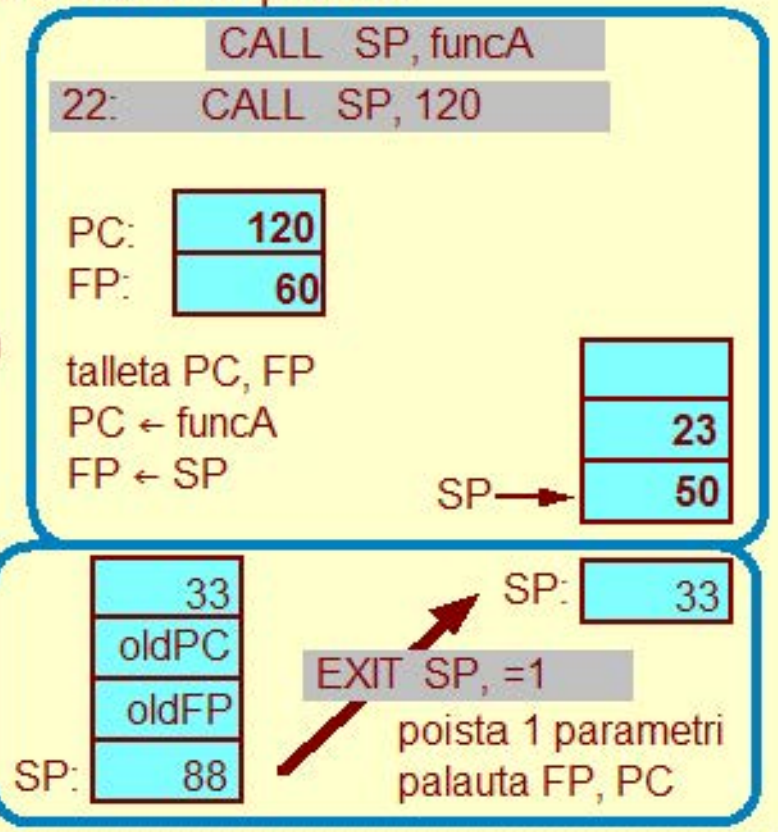
- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle

Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET



CALL käsky tekee monta asiaa. Ensinnäkin se tallettaa tätä CALL käskyä seuraavan käskyn osoitteen (aliohjelmasta paluuosoitteen) ja nykyisen FP'n arvon pinoon. Sitten PC'n arvoksi asetetaan kutsutun aliohjelman osoite ja FP'n arvoksi nykyinen SP'n arvo. Tällä tavoin sekä kontrolli että viiteympäristö vaihtuu yhdellä kertaa kutsuttavaan aliohjelmaan. Aliohjelmasta paluun tekevä EXIT-käsky poistaa käskyn vakio-osassa annetun määrän parametreja pinosta ja palauttaa pinosta alkuperäiset arvot FP'lle ja PC'lle. Kontrolli ja suoritusympäristö muuttuu yhdessä hujauksessa takaisin alkuperäiseen kutsun tehneeseen rutiiniin.

Aktivointitietuepino

Aktivointitietueet (AT) varataan dynaamisesti suoritusaikana kutsuhetkellä pinosta ja niiden tila vapautetaan takaisin pinoon paluun yhteydessä

- R6 eli SP osoittaa aina pinon pinnalle

Aktivointitietuepino

- R7 eli FP osoittaa nyt suorituksessa olevan aliohjelman (tai pääohjelman) aktivointitietueen sovittuun kohtaan (ttk-91'ssä vanhan FP talletuspaikka)

Aktivointitietueen rakentaminen ja purku

- PUSH, POP
- PUSHR, POPR
- CALL, EXIT
- SVC, IRET

```
        SVC   SP, =ReadFile

ReadFile ....
         ...
         IRET  SP, =3
```


Käyttöjärjestelmän palvelupyyntökäsky SVC on hyvin samankaltainen aliohjelman kutsukäskyn kanssa. Sen toimintaa esimerkkikoneessa ei ole oikein hyvin speksattu, mutta voimme kuvitella sen toimivan hyvin analogisesti CALL-käskyn kanssa. Merkittävä ero SVC'llä ja CALL-käskyllä on kuitenkin siinä, että jokainen SVC'llä kutsuttu rutiini aina tarkistaa ensin, oliko kutsu laillinen. Toinen ero on siinä, että KJ-rutiinit suorittavat koodia etuoikeutetussa tilassa, joten SVC-kutsun yhteydessä suoritustila vaihtuu etuoikeutetuksi. IRET-käsky toimii kuten EXIT, mutta palauttaa myös suoritustilan ennalleen.

Aktivointitietueen käsittely

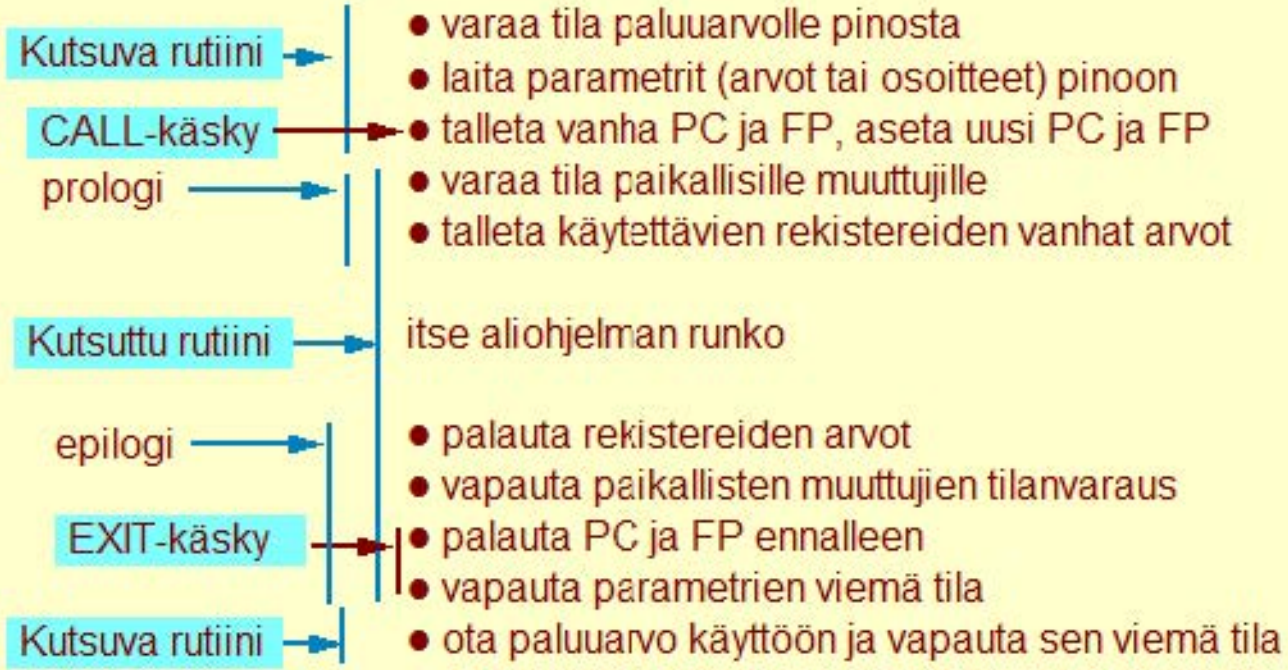
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat



Aktivointitietue siis kootaan ja puretaan edellämainituilla konekäskyillä PUSH, PUSHR, CALL, POP, POPR ja EXIT. Työ on jaettu käytännöllisyyden vaatimusten mukaisesti kutsuvan ja kutsutun rutiinin välillä. Tottakai sekä CALL ja EXIT-käskyt on nimenomaan suunniteltu sitä varten, että aliohjelmien toteutus olisi helppoa niiden avulla. Kontrollin siirto kutsuvan ja kutsutun rutiinin välillä tapahtuu aina silloin, kun PC'n arvo vaihtuu kyseiseen rutiiniin. CALL- ja EXIT-käskyt ovat siis yhdenmuotoisia hyppykäskyjä, jotka myös vaihtavat ohjelman suoritusympäristön.

Aktivointitietueen käsittely

```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat

```
PUSH SP, =0
PUSH SP, X
PUSH SP, Y
CALL SP, Aliohj
```

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

CALL-käsky →
- talleta vanha PC ja FP, aseta uusi PC ja FP

prologi →
- varaa tila paikallisille muuttujille
- talleta käytettävien rekistereiden vanhat arvot

Kutsuttu rutiini → itse aliohjelman runko

epilogi →
- palauta rekistereiden arvot
- vapauta paikallisten muuttujien tilanvaraus

EXIT-käsky →
- palauta PC ja FP ennalleen
- vapauta parametrien viemä tila

Kutsuva rutiini →
- ota paluuarvo käyttöön ja vapauta sen viemä tila

Oletetaan tässä, että haluamme tässä kohtaa koodia kutsua funktio Aliohj. Ohjelmoija (ja kääntäjä) tietää rutiinin Aliohj määrittelystä, että se on funktio ja että sillä on kaksi kokonaislukuarvoista parametria. Rupeamme nyt rakentamaan uutta aktivointitietuetta tätä kutsukertaa varten. Ensinnäkin varaamme pinosta tilaa funktion paluuarvolle ja sitten sijoitamme molemmat parametrit pinoon. Tämä riittää kutsuvalle rutiinille, joten se voi nyt siirtää kontrollin ja suoritusympäristön rutiinille Aliohj CALL-käskyllä.

Aktivointitietueen käsittely

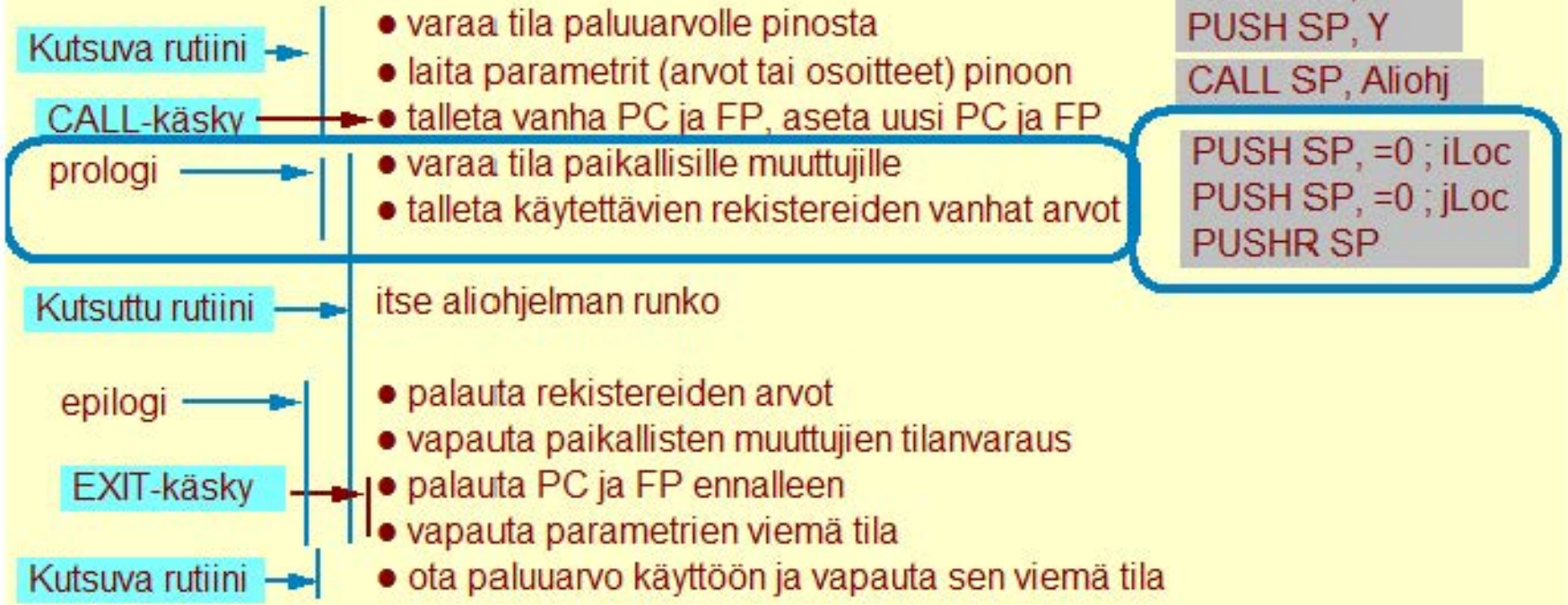
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat



Tässä vaiheessa kontrolli on siis siirtynyt kutsuttuun rutiiniin, ja seuraavaksi suoritettava koodi on siis aivan kutsutun aliohjelman alussa. Tämän kutsukerran aktivointitietue on jo osittain rakennettu, mutta se ei ole vielä valmis. Aliohjelman alussa oleva koodinpätkä, prologi viimeistelee aktivointitietueen. Prologissa ensin varataan pinosta tilaa paikallisille muuttujille, joko vain SP'tä kasvattamalla tai viemällä sinne nollia tarpeellinen määrä. Sitten pinoon talletetaan kaikkien käytettävien rekistereiden vanhat arvot, jotta ne voidaan aliohjelmasta paluun yhteydessä saattaa ennalleen.

Aktivointitietueen käsittely

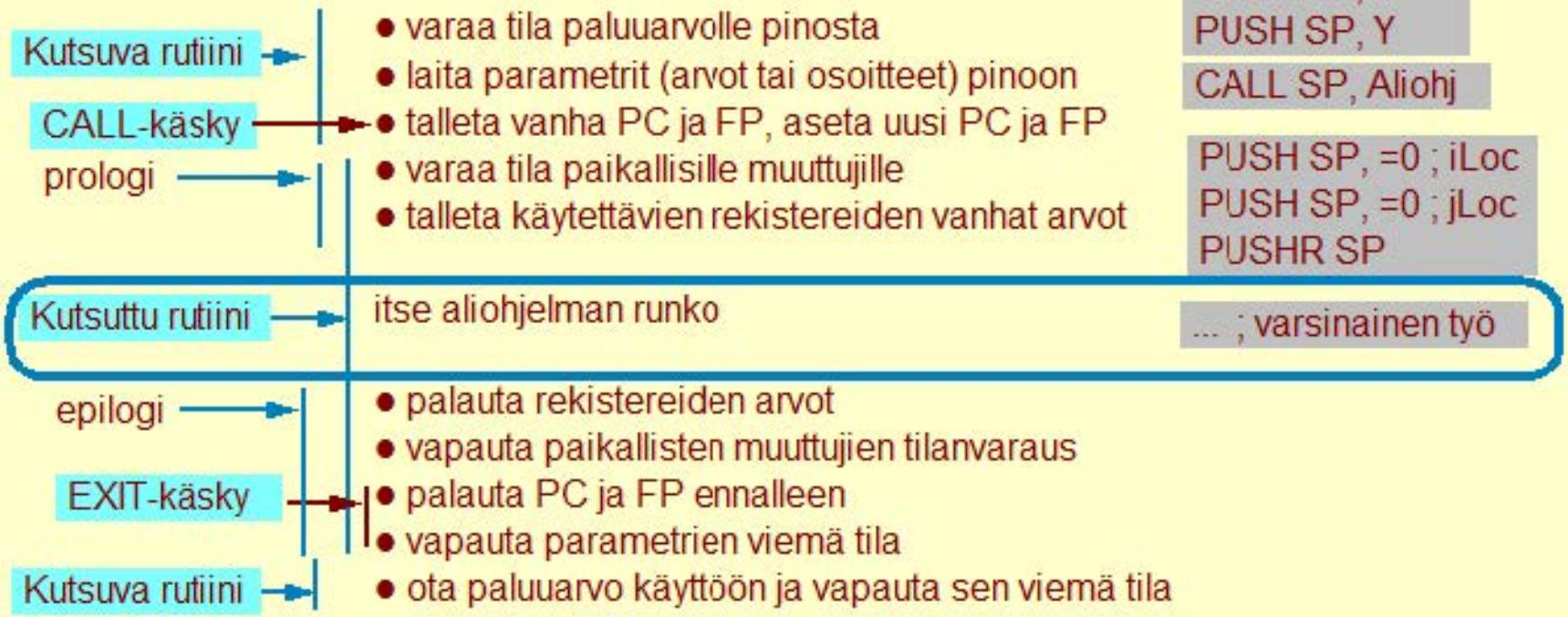
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat



Aktivointitietue on nyt vihdoin valmis ja itse aliohjelman runko alkaa tästä. Kaikki aliohjelmassa olevat viittaukset pinossa oleviin parametreihin ja paikallisiin muuttujiin tulee tehdä FP'n kautta kuten aikaisemmin käsittelimme ja mitä vielä piakkoin käytännön esimerkin avulla näytämme. Tässä vaiheessa meille riittää, että aliohjelman työ tehdään tässä ja seuraavaksi haluamme toteuttaa aliohjelmasta paluun ja tämän aktivointitietueen purkamisen. Oletamme, että aliohjelman palauttama arvo on jo talletettu omalle paikalleen aktivointitietueen ensimmäiseen sanaan.

Aktivointitietueen käsittely

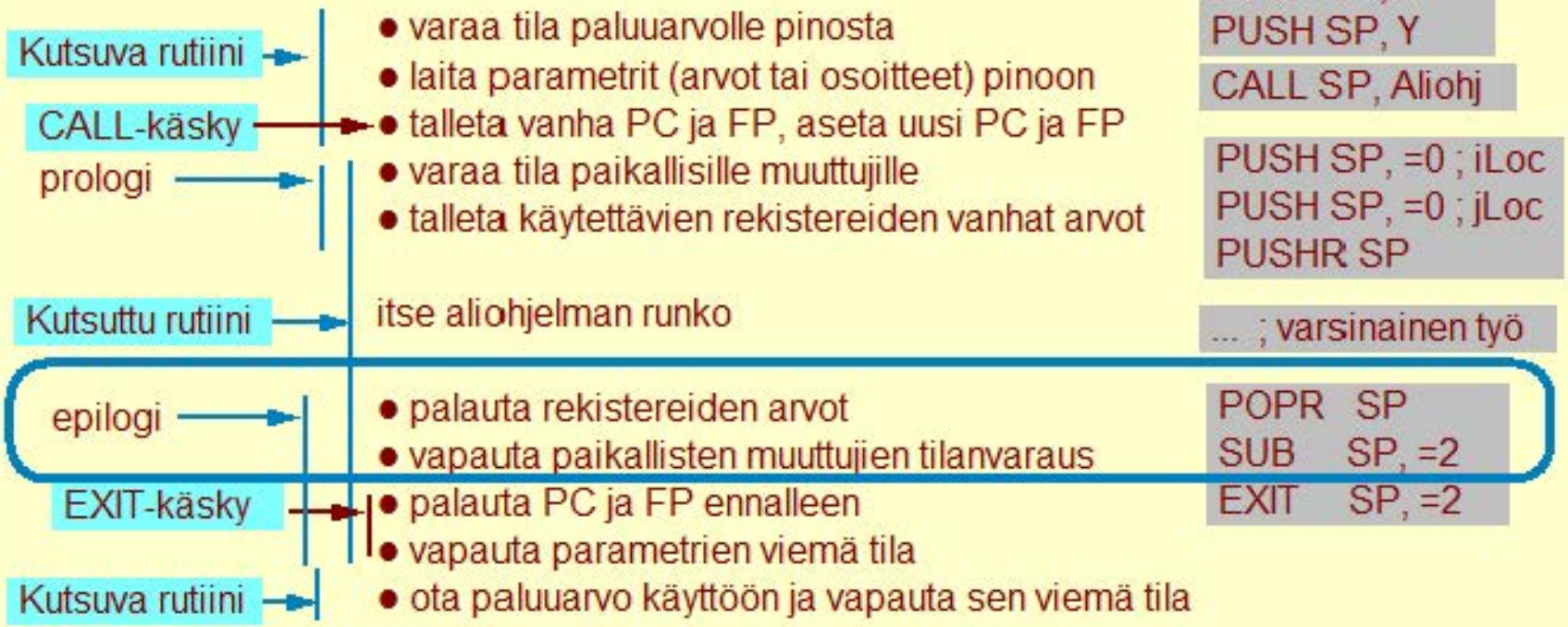
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat




```
PUSH SP, =0

PUSH SP, X
PUSH SP, Y
CALL SP, Aliohj

PUSH SP, =0 ; iLoc
PUSH SP, =0 ; jLoc
PUSHR SP

... ; varsinainen työ

POPR  SP
SUB   SP, =2
EXIT  SP, =2
```


Aliohjelman päättymistoimenpiteitä kutsutaan epilogiksi. Aktivointitietue puretaan pinosta käänteisessä järjestyksessä kuin mitä se koottiin. Ensimäisenä palautamme siis kaikkien työrekistereiden arvot paikalleen ja sitten vapautamme paikallisten muuttujien tilanvarauksen. Ohjelmoija (tai kääntäjä) tietenkin tietää, kuinka monta paikallista muuttujaa aliohjelmalla on, ja se voi poistaa ne pinosta yksinkertaisesti vähentämällä SP'n arvoa sopivasti. POP-käskyä ei tässä voi käyttää, koska se tuhoaisi jonkun alkuperäisen rekisteriarvon, jonka me juuri saatoimme ennalleen.

Aktivointitietueen käsittely

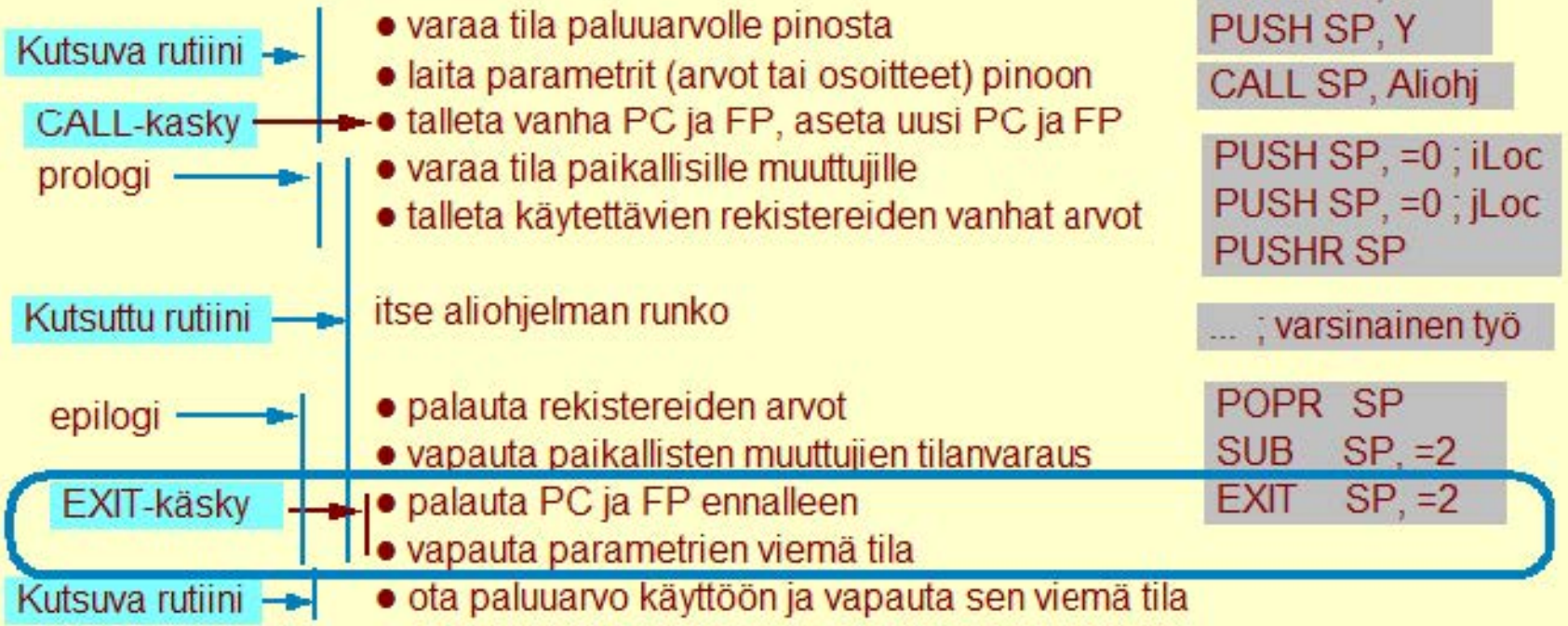
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat



Epilogin lopussa kontrolli ja suoritusympäristö palautetaan EXIT-käskyllä kutsuvaan rutiiniin. Ttk-91'ssä EXIT-käsky myös vapauttaa aliohjelman parametrien viemän tilan pinosta. Sitä varten EXIT-käskyssä on toisena operandina aliohjelman parametrien lukumäärä.

Aktivointitietueen käsittely

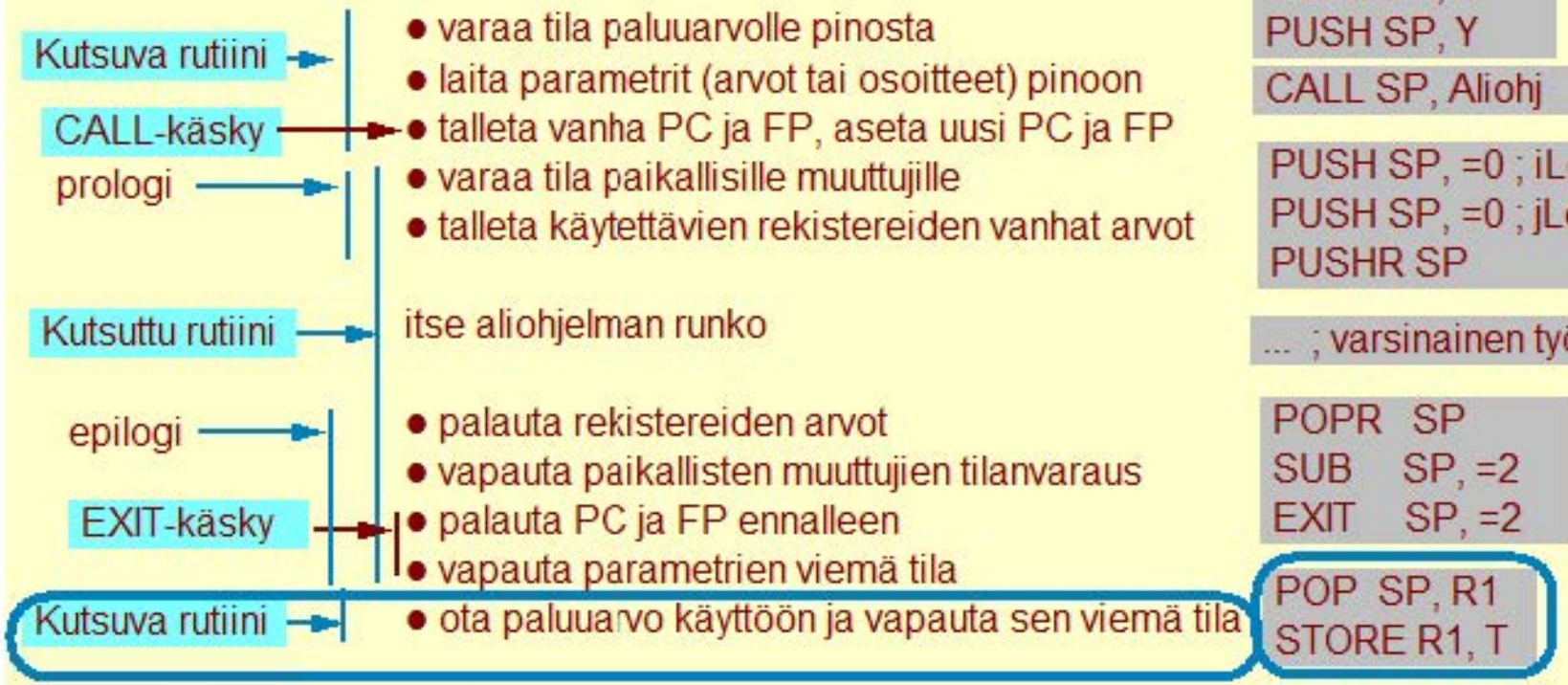
```
function Aliohj (p: int, q: int): int ;
{ int i, j; ..... }
```

```
T = Aliohj (X, Y);
```

AT'n rakentaminen ja purkaminen jaettu eri yksiköille

- kutsuva rutiini (CALL) + kutsuttu rutiini (EXIT)

Toteutuksen osat



Kontrolli on nyt takaisin alkuperäisellä kutsuvalla rutiinilla ja se on suorittamassa CALL-käskyä seuraavaa konekäskyä. Jos kutsuttu rutiini oli funktio, niin kutsua varten luodusta aktivointitietueesta on enää funktion paluuarvo jäljellä pinossa ja se pitää popata sieltä pois ja ottaa käyttöön. Jos kyseessä oli pelkkä aliohjelman kutsu, niin tätä ei tietenkään tarvitse tehdä. Aliohjelmakutsun aktivointitietueen rakentaminen ja purkaminen vaatii siis aika paljon standardoitua yhteistyötä kutsuvalta ja kutsuttavalta rutiinilta, mutta kääntäjät ovat oikein hyviä tällaisten tylsien hallinnollisten tehtävien toteuttamisessa.

Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```


Tässä esimerkissä meillä on yksinkertainen kokonaislukuarvoinen funktio fA, jolla on kaksi (kokonaislukuarvoista) arvoparametria x ja y. Funktiossa on yksi paikallinen muuttuja z, jolla on alkuarvo 5. Funktion rungossa z'lle lasketaan yksinkertaisen lausekkeen arvo ja funktio palauttaa arvonaan z'lle lasketun arvon. Myöhemmin ohjelmassa funktiota kutsutaan todellisilla parametreilla 200 ja r, joka on ohjelmassa määritelty globaali muuttuja. Funktion arvo talletetaan muuttujaan t.

Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
T     DC   0
...
      PUSH  SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH  SP, =200    ; parametrit
      PUSH  SP, R

      CALL  SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP   SP, R1
      STORE R1, T
```


Tarkastelemme nyt ensin funktion kutsun toteuttamista. Funktion kutsu konekielellä toteutettuna ei ole sen monimutkaisempi kuin korkean tason kielelläkään. Sen kirjoittamiseen vain kuluu enemmän merkkejä. Lähtökohtaisesti tiedämme siis, että kyseinen funktio palauttaa kokonaisluvun ja että sillä on kaksi kokonaislukuarvoista arvoparametria, muodollisilta nimiltään x ja y. Kutsu tapahtuu yksinkertaisesti laittamalla ensin pinoon tila funktion paluuarvolle ja sitten molempien parametrien arvot, jonka jälkeen kutsumme itse funktiota. Funktiosta paluun jälkeen poppaamme paluuarvon pinosta ja sijoitamme sen t'hen.

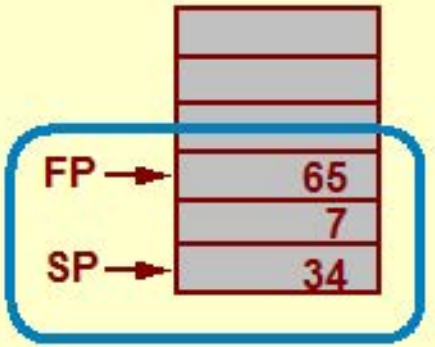
Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
I     DC   0
...
      PUSH   SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH   SP, =200    ; parametrit
      PUSH   SP, R

      CALL   SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP    SP, R1
      STORE  R1, T
```



Tarkastellaan kutsun toteutusta vielä aktivointitietueen tasolla. Oletetaan, että tällä hetkellä pinossa on jokin aktivointitietue, jonka vanhana FP-arvona on 65 ja sen jälkeen siinä on pinossa vielä yhden paikallisen muuttujan arvo 7 ja käytössä olevan jonkin rekisterin vanha arvo 34.

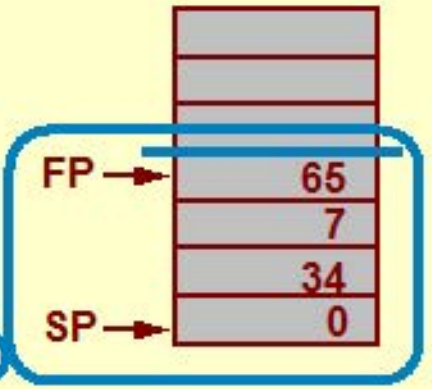
Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
T     DC   0
...
      PUSH   SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH   SP, =200    ; parametrit
      PUSH   SP, R

      CALL   SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP    SP, R1
      STORE  R1, T
```



Uuden aktivointitietueen rakentaminen aloitetaan varaamalla sen alusta yksi sana funktion paluuarvoa varten. Funktion suorituksen aikana sen arvo sitten talletetaan tähän kohtaan.

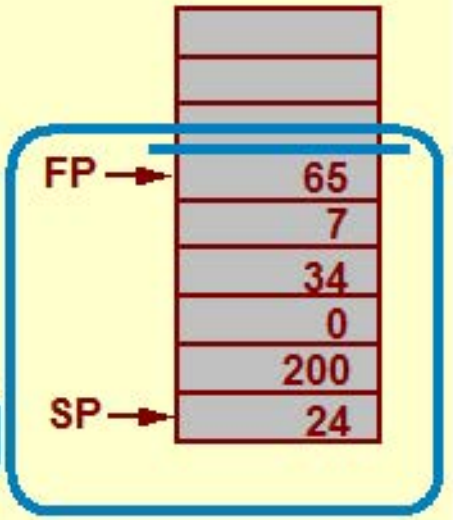
Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
T     DC   0
...
      PUSH  SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH  SP, =200    ; parametrit
      PUSH  SP, R

      CALL  SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP   SP, R1
      STORE R1, T
```



Seuraavaksi aktivointitietueeseen pusketaan ensin vakioarvo 200 ensimmäisenä parametrina ja sitten muuttujan R arvo toisena parametrina. Huomaa, että PUSH-käskyn toiminta tässä jälkimmäisessä tapauksessa on aika monimutkainen, koska se kopioi muuttujan R arvon muistista pinon huipulle, mikä myöskin sijaitsee muistissa. Käsky siis suorittaa kaksi muistiviitettä käskyn suoritusaikana.

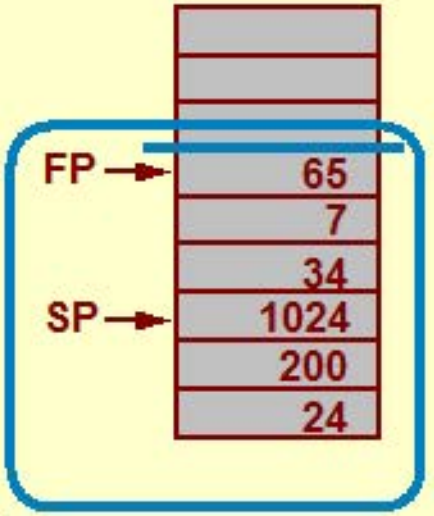
Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
T     DC   0
...
      PUSH  SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH  SP, =200    ; parametrit
      PUSH  SP, R

      CALL  SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP   SP, R1
      STORE R1, T
```



Varsinaisen aliohjelman suorituksen aikana fA ensin täydentää aktivointitietueen loppuun ja sitten tekee varsinaisen työnsä, tallettaen funktion arvon sille varattuun paikkaan aktivointitietueessa. Lopuksi fA purkaa lähes koko aktivointitietueen - ainoastaan paluuarvo jää vielä paikalleen pinon pinnalle.

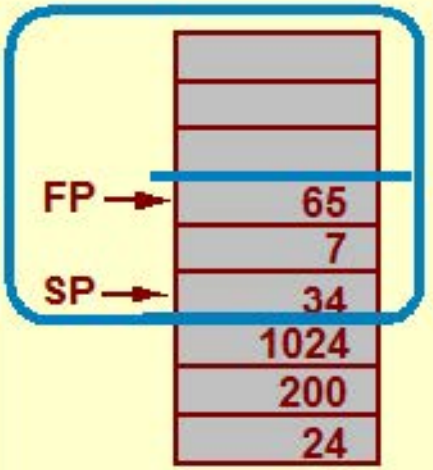
Esimerkki: aliohjelman kutsu

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
R     DC  24
T     DC   0
...
      PUSH   SP, =0 ; tila paluuarvolle
      PUSH   SP, =200    ; parametrit
      PUSH   SP, R

      CALL   SP, fA    ; kutsu ja paluu

      POP    SP, R1
      STORE  R1, T
```



Lopuksi kutsuva rutiini poppaa paluuarvon pois pinosta ja nyt koko aktivointitietue on poistettu ja AT-pino on täsmälleen samanlainen kuin mitä se oli ennen kuin tätä kutsua toteuttavaa aktivointietuetta ruvettiin rakentamaan. Sillä, että pinossa SP'n 'yläpuolella' olevat arvot ovat muuttuneet, ei ole toiminnan kanssa mitään merkitystä, koska nämä arvot eivät kuulu enää pinoon.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

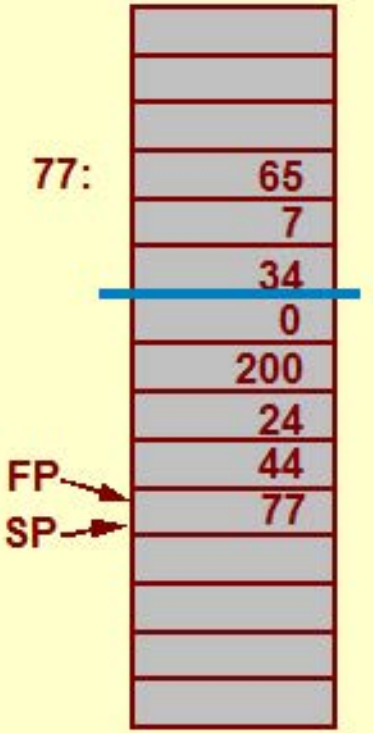
```
int fA (int x, y)
{
      int z = 5;

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:   POP   SP, R1
45:  STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH  SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH  SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; palauta R1
       SUB    SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT   SP, =2 ; vapauta param
```



Tarkastellaan nyt, kuinka funktio fA on itse asiassa toteutettu. CALL käskyhän siis ensin tallettaa paluuosoitteen ja FP'n nykyarvon pinoon ja sitten siirtää kontrollin kutsuttuun aliohjelmaan eli tässä esimerkissä osoitteeseen fA.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

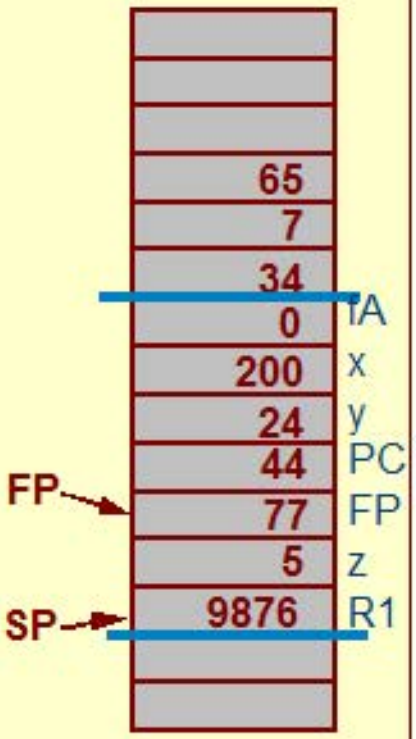
```
int fA (int x, y)
{
      int z = 5;

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:   POP   SP, R1
45:  STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH  SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH  SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD  R1, parX (FP)
       MUL   R1, locZ (FP)
       ADD   R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP   SP, R1  ; palauta R1
       SUB   SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT  SP, =2 ; vapauta param
```



Funktion fA alussa varataan tilaa paikalliselle muuttujalle Z ja samalla alustetaan se arvoon 5. Seuraavaksi talletetaan rekisterin R1 alkuperäinen arvo (9876) pinoon. Nyt tämän kutsukerran aktivointitietue on valmis ja itse työ voi alkaa. Tässä tapauksessa osa työstäkin on jo vähän tehty, koska paikallinen muuttuja Z on jo alustettu.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

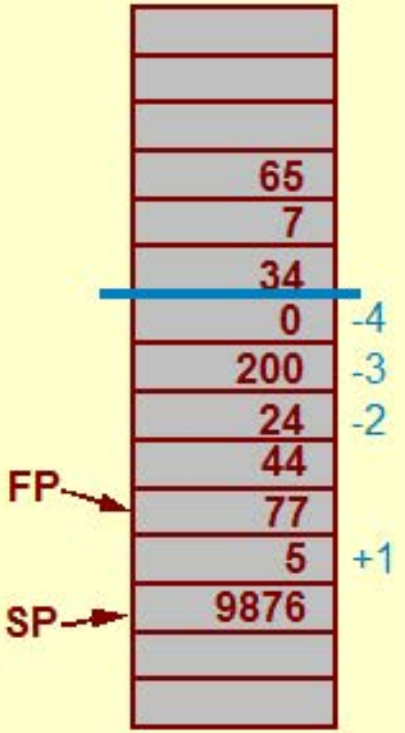
```
int fA (int x, y)
{
      int z = 5;

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:   POP    SP, R1
45:  STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH   SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH   SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; palauta R1
       SUB    SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT   SP, =2 ; vapauta param
```



Parametrien ja paikallisten muuttujien tarkka sijainti muistissa ratkeaa vasta suoritusaikana, ja osoitteet voivat olla vielä erilaisia eri kutsukerroilla. Sijainti on kuitenkin aktivointitietueen sisällä aina vakio ja sitä varten määrittelemme funktion sisällä paluuarvolle, parametreille ja paikalliselle muuttujalle EQU-määreellä symbolit, jotka vastaavat kyseisten alkioden suhteellista sijaintia aktivointitietueessa. Aktivointitietueen osoitehan of FP'ssä. Esimerkiksi funktion paluuarvo retfA on nyt osoitteessa FP-4 ja paikallinen muuttuja locZ on osoitteessa FP+1.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

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

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

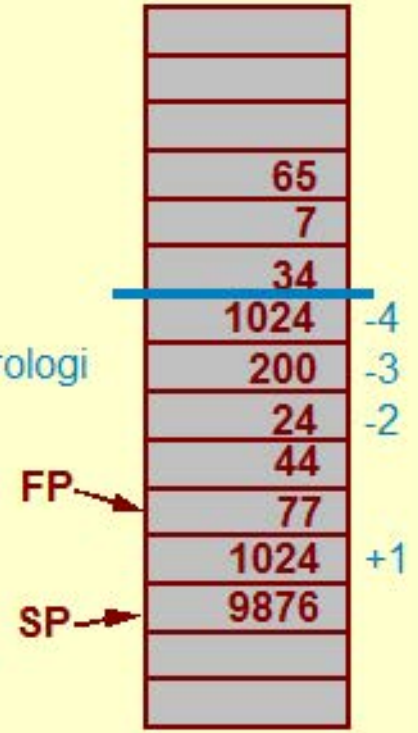
```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:   POP    SP, R1
45:   STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX  EQU   -3 ; parametrit
parY  EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH   SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH   SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; palauta R1
       SUB    SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT   SP, =2 ; vapauta param
```

prologi

epilogi



Funktion varsinaisessa koodissa kaikki viittaukset paluuarvoon, parametreihin tai paikallisiin muuttujiin tehdään nyt käyttäen näiden tietojen suhteellisia osoitteita, indeksoiden suhteellista osoitetta FP'llä. Muuttujan Z uusi arvo lasketaan ja talletetaan muistiin ja sama arvo talletetaan myös funktion paluuarvoksi. Tämän jälkeen olemmekin valmiita tekemään funktiosta paluun.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

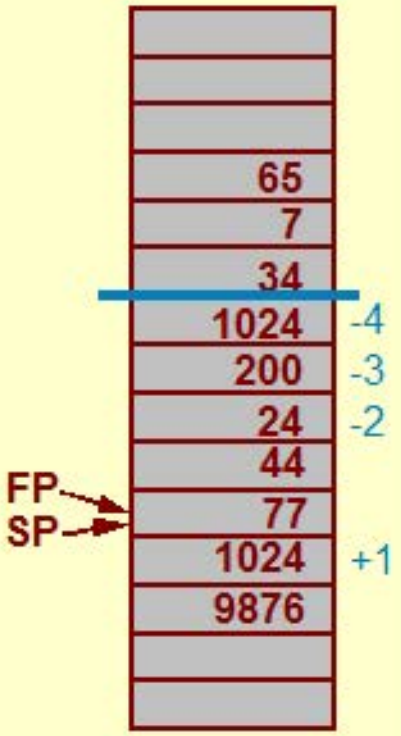
```
int fA (int x, y)
{
      int z = 5;

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:   POP   SP, R1
45:  STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH  SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH  SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD  R1, parX (FP)
       MUL   R1, locZ (FP)
       ADD   R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP   SP, R1  ; palauta R1
       SUB   SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT  SP, =2 ; vapauta param
```



R1: **9876**

Aktivointitietueen purkaminen alkaa palauttamalla R1'n arvo ennalleen. Tämän jälkeen minkään rekisterin arvoa ei saa muuttaa ennen EXIT-käskyä. Seuraavaksi vapautetaan paikallisen muuttujan Z tila vähentämällä 1 SP'n arvosta.

Esimerkki: aliohjelman toteutus

Funktio ja sen kutsu

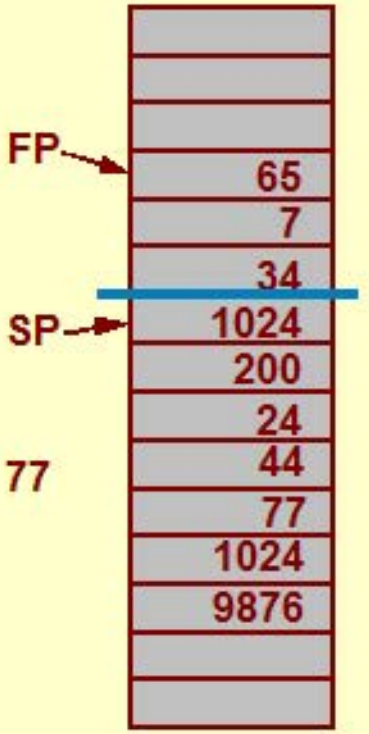
```
int fA (int x, y)
{
      int z = 5;

      z = x * z + y;
      return (z);
}
....
t = fA(200, r);
```

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =0
41:  PUSH   SP, =200

42:  PUSH   SP, R
43:  CALL   SP, fA
44:  POP    SP, R1
45:  STORE  R1, T
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo osoite
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paikallinen muuttuja

fA     PUSH  SP, =5  ; paik. muutt. Z
       PUSH  SP, R1 ; talleta rekisterit

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; palauta R1
       SUB    SP, =1  ; vapauta Z
       EXIT   SP, =2 ; vapauta param
```



PC: **44**

EXIT-käsky tekee monta asiaa samalla kertaa. Se palauttaa pinosta FP'n arvon ennalleen, ja poppaa PC'n arvoksi pinon toiseksi päällimmäisen alkion. Sitten se vielä poistaa pinosta EXIT-käskyn osoiteosassa mainitut kaksi parametria. Pinoon jää nyt ainoastaan funktion arvo, kun kontrolli seuraavalla käskyllä palaa takaisin kutsuvaan rutiiniin.

Viiteparametri

Pascal aliohjelma

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

C aliohjelma

```
procB (int x, y, int * pZ)
{
      *pZ  = x * 5 +y;
      return;
}
....
procB( 200, r, &t);
```

pZ'n osoittaman muistipaikan arvo muuttuu, pZ'n arvo ei muutu

Välitetään t:n osoite, ei t:n arvoa

Viiteparametreja käytetään eri ohjelmointikielissä eri tavoin. Pascalissa ne ovat ihan omana parametrityyppinään, jolloin riittää aliohjelman määrittelyn yhteydessä esitellä parametri viiteparametrina. Tällöin aliohjelman rungossa kaikki viitteet tehdään automaattisesti parametrin osoitteen perusteella ja aliohjelmaa kutsuttaessa myös parametrin osoite välitetään automaattisesti sen arvon asemesta. C-kielessä ei ole viiteparametreja, mutta sama asia voidaan kuvata osoitearvoisten arvoparametrienavulla. Tällöin kuitenkin joka viittauskohdassa täytyy muistaa eksplisiittisesti ilmaista, että kyseinen (arvo)parametri sisältää muuttujan osoitteen eikä sen arvoa.

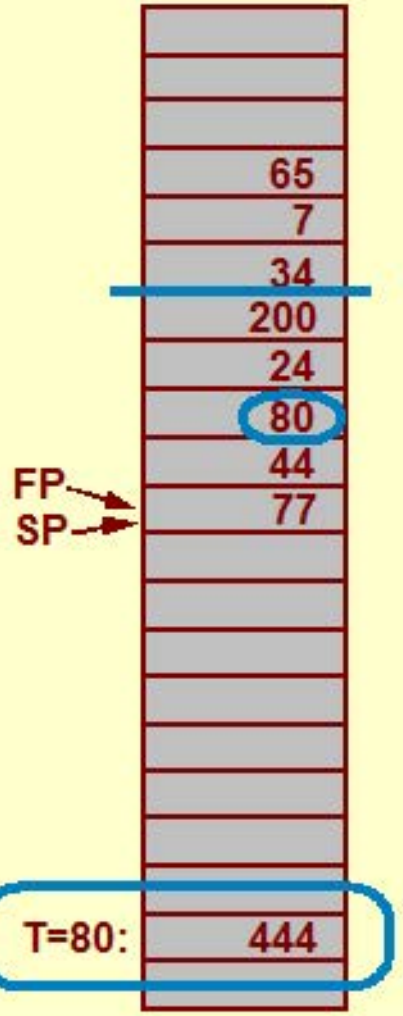
Viiteparametri

Pascal aliohjelma

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

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =200
41:  PUSH   SP, R
42:  PUSH   SP, =T   ; t:n osoite
43:  CALL   SP, procB
44:  ...             ; t:llä on nyt uusi arvo
```



Aliohjelman kutsu tapahtuu nyt muuten ihan samalla tavalla kuin aikaisemminkin, mutta kolmannen parametrin T osalta välitetään T:n osoite 80 eikä sen tämänhetkistä arvoa.

Viiteparametri

Pascal aliohjelma

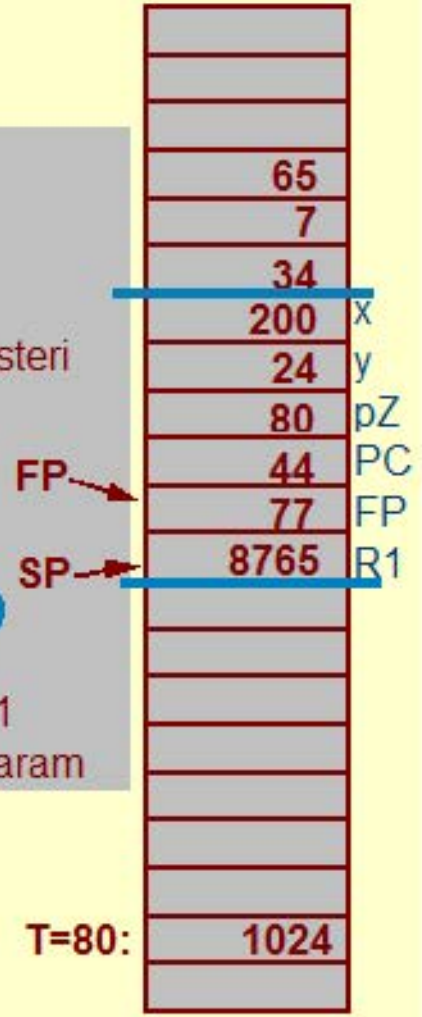
```
procB (x, y: irt, var pZ:int)
{
      pZ  = x * 5 +y;
      return;
}
....
procB( 200, r, t);
```

Kutsu

```
40:  PUSH    SP, =200
41:  PUSH    SP, R
42:  PUSH    SP, =T   ; t:n osoite
43:  CALL    SP, procB
44:  ...     ; t:llä on nyt uusi arvo
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
parX   EQU   -4 ; parametrit
parY   EQU   -3
parpZ  EQU   -2 ; viiteparametri

procB  PUSH  SP, R1 ; talleta rekisteri

       LOAD  R1, parX (FP)
       MUL   R1, =5
       ADD   R1, parY (FP)
       STORE R1, @parpZ (FP)

       POP   SP, R1  ; palauta R1
       EXIT  SP, =3  ; vapauta param
```



Aliohjelman määrittelyssä on nyt hyvä jollain tavoin parametrin nimessä ilmaista, että kyseessä on viiteparametri. Tässä muodollisen parametrin parpZ nimessä on ylimääräinen p (niin kuin pointer) asiasta muistuttamassa. Vastaavasti kun viiteparametriin viitataan, niin haluamme siis viitata parametrin osoittamaan tietoon, eikä itse parametriin. Tätä tarkoitusta varten ttk-91 koneessa on epäsuora tiedonosoitusmoodi. Muistisääntönä voi pitää, että '@-merkki kompensoi ylimääräistä p-kirjainta'. Aliohjelma siis tallettaa nyt uuden arvon 1024 pääohjelman muuttujaan T.

Viiteparametri

Pascal aliohjelma

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

Kutsun toteutus

```
40:  PUSH   SP, =200
41:  PUSH   SP, R
42:  PUSH   SP, =T   ; t:n osoite
43:  CALL   SP, procB
44:  ...             ; t:llä on nyt uusi arvo
```

Aliohjelman/funktion toteutus

```
parX   EQU   -4 ; parametrit
parY   EQU   -3
parpZ  EQU   -2 ; viiteparametri

procB  PUSH   SP, R1 ; talleta rekisteri

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, =5
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, @parpZ (FP)

       POP    SP, R1  ; palauta R1
       EXIT   SP, =3  ; vapauta param
```

Aliohjelmasta paluu tapahtuu samalla tavalla kuin aikaisemminkin, mutta tällä kertaa aliohjelmassa oli 3 parametria, joiden tila pitää vapauttaa EXIT-käskyn yhteydessä. Vastaavasti kyseessä ei ole funktio, joten kutsuvassa rutiinissa ei tarvita mitään jälkitoimenpiteitä. Aliohjelman procB'n paluun jälkeen viiteparametrina välitetyllä muuttujalla T on nyt uusi arvo 1024. On vähän makuasia, palautetaanko aliohjelman laskema arvo viiteparametrin vai funktion arvon välityksellä. Viiteparametrin avulla voidaan välittää mikä tahansa tietorakenne, esimerkiksi taulukko, tietue tai olio.

Aliohjelma kutsuu toista aliohjelmaa

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
40:  PUSH   SP, =200
41:  PUSH   SP, R
42:  PUSH   SP, =T
43:  CALL   SP, procC
44:  ...
```

procC

```
parXc   EQU   -4 ; parametrit
parYc   EQU   -3
parpZ   EQU   -2

procC   PUSH  SP, R1 ; tall rek

; @parpZ =  fA (parXc, parYc)
          PUSH   SP, =0 ; paluuarv
          PUSH   SP, parXC (FP)
          PUSH   SP, parYc(FP)
          CALL   SP, fA
          POP    SP, R1
          STORE R1, @parpZ (FP)

          POP    SP, R1  ; pal R1
          EXIT   SP, =3  ; vap par
```

fA

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paik muut

fA     PUSH  SP, =5  ; paik. Z
       PUSH  SP, R1 ; tall rek

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; pal R1
       SUB    SP, =1  ; vap Z
       EXIT   SP, =2 ; vap par
```


Aliohjelma voi tietenkin kutsua toista aliohjelmaa. Tämähän on normaali tapa toteuttaa mitä tahansa ohjelmaa. Tässä esimerkissä aliohjelma procC on muuten samanlainen kuin edellä esitetty procB, mutta laskenta annetaankin nyt jo valmiiksi muualla määritellylle funktiolle fA. Aliohjelman procC kolmas parametri on edelleen viiteparametri.

Aliohjelma kutsuu toista aliohjelmaa

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
40:  PUSH   SP, =200
41:  PUSH   SP, R
42:  PUSH   SP, =T
43:  CALL   SP, procC
44:  ...
```

procC

```
parXc   EQU   -4 ; parametrit
parYc   EQU   -3
parpZ  EQU   -2

procC  PUSH   SP, R1 ; tall rek

; @parpZ =  fA (parXc, parYc)
          PUSH   SP, =0 ; paluuarv
          PUSH   SP, parXC (FP)
          PUSH   SP, parYc(FP)
          CALL   SP, fA
          POP    SP, R1
          STORE R1, @parpZ (FP)

          POP    SP, R1  ; pal R1
          EXIT   SP, =3  ; vap par
```

fA

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo
parX  EQU   -3 ; parametrit
parY  EQU   -2
locZ  EQU   1  ; paik muut

fA     PUSH   SP, =5  ; paik. Z
       PUSH   SP, R1 ; tall rek

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; pal R1
       SUB    SP, =1  ; vap Z
       EXIT   SP, =2 ; vap par
```


Aliohjelman procC kutsu ei mitenkään eroa procB'n kutsusta. Niillä on täysin sama kutsurajapinta, eikä kutsuvalle rutiinille muutenkaan mitenkään kuulu se, millä tavoin kutsuttu aliohjelma procC tehtävänsä suorittaa.

Aliohjelma kutsuu toista aliohjelmaa

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
40:  PUSH   SP, =200
41:  PUSH   SP, R
42:  PUSH   SP, =T
43:  CALL   SP, procC
44:  ...
```

procC

```
parXc   EQU   -4 ; parametrit
parYc   EQU   -3
parpZ   EQU   -2

procC  PUSH   SP, R1 ; tall rek

; @parpZ =  fA (parXc, parYc)
        PUSH   SP, =0 ; paluuarv
        PUSH   SP, parXC (FP)
        PUSH   SP, parYc(FP)
        CALL   SP, fA
        POP    SP, R1
        STORE R1, @parpZ (FP)

        POP    SP, R1  ; pal R1
        EXIT   SP, =3  ; vap par
```

fA

```
retfA  EQU   -4 ; paluuarvo
parX   EQU   -3 ; parametrit
parY   EQU   -2
locZ   EQU   1  ; paik muut

fA     PUSH   SP, =5  ; paik. Z
       PUSH   SP, R1 ; tall rek

       LOAD   R1, parX (FP)
       MUL    R1, locZ (FP)
       ADD    R1, parY (FP)
       STORE R1, locZ (FP)
       STORE R1, retfA (FP)

       POP    SP, R1  ; pal R1
       SUB    SP, =1  ; vap Z
       EXIT   SP, =2 ; vap par
```


Aliohjelman procC määrittelyssä täytyy muodollisille parametreille X ja Y antaa uniikit nimet parXc ja parYc, koska funktiossa fA oli käytössä symbolit parX ja parY. Symbolisen konekielen tasollahan kaikkien symbolien tulee olla uniikkeja. Aliohjelman procC runko koostuu lähinnä funktion fA kutsusta, huomioiden kuitenkin sen, että parametrina välitettävien procC'n parametreihin tulee viitata normaaliin tapaan käyttäen niiden suhteellisia osoitteita tällä hetkellä aktiivisena olevan aktivointitietueen sisällä. Funktion fA määrittelyhän esitettiin jo aikaisemmin.

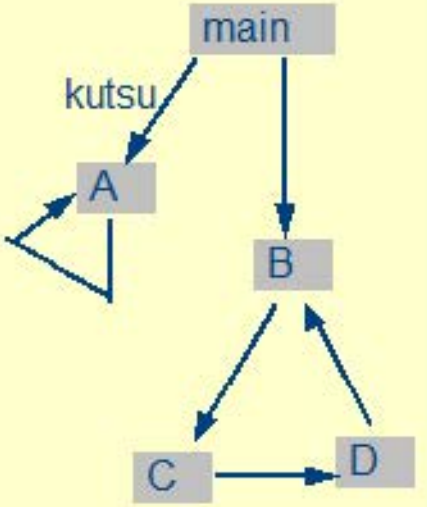
Rekursiivinen aliohjelma

Aliohjelma, joka kutsuu itseään

- suoraan (esim. A) tai epäsuoraan (esim. B)

Aktivointitietue hoitaa tilanvarauksen automaattisesti paikallisille muuttujille joka kutsukerralla

- paikalliset muuttujat allokoidaan pinosta joka kutsukerralle



Rekursio ei onnistu, jos paikallisten muuttujien tilanvaraus on aliohjelman koodin yhteydessä staattisessa paikassa

- jotkut Fortran versiot

Joka kutsukerralla suoritetaan sama koodi, mutta suoritusympäristö (AT) on uniikki sille kutsukerralle

- omat parametrit ja paikalliset muuttujat

Aliohjelma voi kutsua myös itseään, joko suoraan tai välillisesti jonkun muun aliohjelman kautta. Tällaista kutsua sanotaan rekursiiviseksi aliohjelmakutsuksi. Joka kutsukerralle allokoidaan kaikki paikalliset muuttujat uudelleen aktivointitietuepinosta.

Rekursiivinen aliohjelma

Aliohjelma, joka kutsuu itseään

- suoraan (esim. A) tai epäsuoraan (esim. B)

Aktivointitietue hoitaa tilanvarauksen automaattisesti paikallisille muuttujille joka kutsukerralla

- paikalliset muuttujat allokoidaan pinosta joka kutsukerralle

Rekursio ei onnistu, jos paikallisten muuttujien tilanvaraus on aliohjelman koodin yhteydessä staattisessa paikassa

- jotkut Fortran versiot

```
locX  DC 0
locY  DC 0
fB    PUSH SP, R1
      ....
      EXIT SP, =2
```

Joka kutsukerralla suoritetaan sama koodi, mutta suoritusympäristö (AT) on uniikki sille kutsukerralle

- omat parametrit ja paikalliset muuttujat

Joissakin Fortran versioissa aliohjelmien paikallisille muuttujille varataankin tilaa ohjelmakoodin yhteydessä. Tällöin tästä aliohjelmasta voi tietenkin olla vain yksi kutsukerta kerrallaan suorituksessa eikä rekursio ole mahdollista.

Rekursiivinen aliohjelma

Aliohjelma, joka kutsuu itseään

- suoraan (esim. A) tai epäsuoraan (esim. B)

Aktivointitietue hoitaa tilanvarauksen automaattisesti paikallisille muuttujille joka kutsukerralla

- paikalliset muuttujat allokoidaan pinosta joka kutsukerralle

Rekursio ei onnistu, jos paikallisten muuttujien tilanvaraus on aliohjelman koodin yhteydessä staattisessa paikassa

- jotkut Fortran versiot

Joka kutsukerralla suoritetaan sama koodi, mutta suoritusympäristö (AT) on uniikki sille kutsukerralle

- omat parametrit ja paikalliset muuttujat

Rekursiossa suoritamme siis joka kutsukerralla saman koodin eli aliohjelman rungon, mutta joka kutsukerralla meillä on oma suoritusympäristö aktvointitietueessa sisältäen tämän suorituskerran parametrit ja paikalliset muuttujat. Rekursion pitää tietenkin joskus päättyä, koska muuten AT-pino syö nopeasti kaiken käytettävän muistitilan ja ohjelman suoritus päättyy 'stack overflow' virheilmoitukseen. Rekursio päättyy, kun rekursiivinen aliohjelma ei enää kutsukaan itseään rekursiivisesti.

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```


Tarkastellaan rekursiivista funktiota fact, joka laskee parametrina annetun kokonaisluvun kertoman rekursiivisesti. Muistattehan, että esimerkiksi luvun 5 kertoma on 5 * 4 * 3 * 2 * 1. Otaksumme tässä naivisti, että parametrin arvo on aina positiivinen. Luvun 1 kertoma on 1 ja suurempien lukujen n kertoma lasketaan siis rekursiivisesti kaavalla n * luvun n-1 kertoma. Yleisesti ottaen, rekursio ei ole paras tapa laskea kertomaa, vaan huomattavasti fiksumpaa olisi käyttää iteratiivista lähestymistapaa. Mutta rekursion periaatteen esittämiseen tämä kertoma sopii oikein hyvin!

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```


Rekursiivista funktiota kutsutaan ihan samalla tavalla kuin muitakin funktioita. Laitamme pinoon tilan paluuarvolle ja parametrin n arvon ennen CALL-käskyä, ja CALL-käskyn jälkeen poppaamme pinosta pois siellä vielä olevan funktion arvon.

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```


Rekursio näkyy varsinaisesti funktion koodissa, jossa tietyn ehdon vallitessa se kutsuu rekursiivisesti itseään.
Tietenkään se ei saa joka kutsukerralla kutsua itseään, muutenhan rekursio-kutsuketju olisi päättymätön.
Tarkastellaan seuraavaksi, mitä tapahtuu, kun funktiota fact kutsutaan parametrin arvolla 4.

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```

AT Main
AT fact (4)
AT fact (3)
AT fact (2)
AT fact (1)

Kun fact'ia kutsutaan parametrin arvolla 4, sitä kutsukertaa varten rakennetaan aktivointitietue pääohjelman aktivointitietueen päälle. Funktion koodissa havaitaan parametrin N arvon olevan erisuuri kuin 1, joten fact'ia kutsutaan uudelleen parametrin arvolla 3, jne. Lopulta, kun fact'ia on kutsuttu parametrin arvolla 1, rekursiivista kutsua ei tehdäkään, ja rekursiota ruvetaan purkamaan.

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```

AT Main
AT fact (4)
AT fact (3)
AT fact (2)

Ensimmainen varsinainen paluu fact'ista tapahtuu, kun parametrin arvon havaitaan olevan 1. Kontrolli siirtyy osoitteeseen One, jossa paluuarvo talletetaan ensin paikalleen sen kutsukerran aktivointitietueeseen ja sitten EXIT-käskyllä palataan sen kertaista kutsua seuraavaan konekäskyyn, jossa lasketaan edellisen rekursiotason lauseke N * fact(N-1).

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```

AT Main

Tämän jälkeer kukin rekursiotaso purkautuu samalla tavalla. Ensin siis lasketaan tämän rekursiotason paluuarvo N * fact(N-1), talletetaan se tämän kutsukerran aktivointitietueseen paluuarvoksi ja palataan EXIT-käskyllä edelliselle rekursiotasolle, jne. Lopulta kontrolli palaa alkuperäiseen kutsukohtaan ja K'n arvoksi talletetaan 24.

Esimerkki: rekursio

Korkean tason kieli

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

Kutsu

```
K     DC    0

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

Toteutus

```
retF   EQU   -3 ; paluuarvo
parN   EQU   -2 ; parametri N

fact   PUSH  SP, R1 ; save R1
       LOAD  R1, parN(FP)
       COMP  R1, =1
       JEQU  One ; return 1 ?

       ; call fact(N-1)
       SUB   R1, =1
       PUSH  SP, =0 ; ret. value
       PUSH  SP, R1
       CALL  SP, fact
       POP   SP, R1
       MUL   R1, parN(FP) ; fact(n-1)*n

One    STORE R1, retF(FP)
       POP   SP, R1; restore R1
       EXIT  SP, =1 ; 1 param.
```


Funktio fact, samoin kuin kaikki muutkin tässä luennossa esitetyt aliohjelmat ja funktiot, löytyy kurssin verkkomateriaalista. Voit siis käynnistää ttk-91 simulaattorisi ja suorittaa nämä esimerkkiohjelmat simulaattorissa. Samalla kertaa voit tarkemmin tutkia näiden esimerkkien yksityiskohtaista suoritusta ttk-91 tietokoneessa.

KJ-palvelun kutsu

Samalla tavalla kuin aliohjelmakutsu
- SVC-käsky CALL-käskyn asemesta
- suoritus etuoikeutetussa tilassa

Tilaa paluuarvolle?

Parametrit pinoon vai rekistereiden kautta?

SVC-kutsu

IRET-paluukäsky

Paluuarvo pois pinosta paluun jälkeen

Käyttöjärjestelmän palvelukutsut toteutetaan hyvin samalla tavalla kuin tavallisetkin aliohjelmakutsut. Erona on kuitenkin se, että käyttöjärjestelmäpalvelut suoritetaan etuoikeutetussa suoritustilassa. SVC-konekäsky toimii muuten hyvin vastaavalla tavalla kuin CALL-käskykin, mutta sillä voidaan kutsua vain käyttöjärjestelmän tunnettuja palveluja. Laitteiston tila vaihtuu kontrollin siirror yhteydessä etuoikeutetuksi ja kutsuttu rutiini heti alkuun tarkistaa kutsun laillisuuden. Tavallinen sovellus ei saa kutsua esimerkiksi tiedostojen hallintaan liittyvää käyttöjärjestelmän sisäistä hallintarutiinia.

KJ-palvelun kutsu

Samalla tavalla kuin aliohjelmakutsu

- SVC-käsky CALL-käskyn asemesta
- suoritus etuoikeutetussa tilassa

Tilaa paluuarvolle?

Parametrit pinoon vai rekistereiden kautta?

SVC-kutsu

IRET-paluukäsky

Paluuarvo pois pinosta paluun jälkeen

Käyttöjärjestelmän palvelupyynnön muoto voi olla hyvin yhtenevä aliohjelmakutsun kanssa, mutta siinä voi olla myös eroavaisuuksia. Esimerkiksi voi olla, että joillekin KJ-palveluille parametrit välitetään suoraan sovittujen rekistereiden kautta, koska se on nopeampaa kuin pinon kautta tapahtuva parametrien välitys. Palvelusta palataan etuoikeutetulla erikoiskäskyllä IRET, joka kontrollin siirron lisäksi palauttaa myös suorittimen suoritustilan ennalleen.

KJ-palvelun kutsu

Samalla tavalla kuin aliohjelmakutsu

- SVC-käsky CALL-käskyn asemesta
- suoritus etuoikeutetussa tilassa

Tilaa paluuarvolle?

Parametrit pinoon vai rekistereiden kautta?

SVC-kutsu

IRET-paluukäsky

Paluuarvo pois pinosta paluun jälkeen

```
...
; fOK = ReadBlock (fp, 64)
PUSH   SP, =0 ; paluuarvo fOK
PUSH   SP, =FileBuffer
PUSH   SP, CharCnt
PUSH   SP, FilePtr
SVC    SP, =ReadFile
POP    SP, R1
JNZER  R1, FileTrouble
```


Esimerkkinä KJ-palvelusta tässä on tiedoston lukemiseen tarkoitetun palvelurutiinin ReadBlock kutsu. ReadBlock'ille annetaan viiteparametrina puskurialue FileBuffer luettaville merkeille, ja arvoparametreina luettavien merkkien lukumäärä CharCnt ja tiedosto-osoitin FilePtr. ReadBlock palauttaa arvonaan nollasta poikkeavan luvun, jos tiedoston luku syystä tai toisesta ei onnistunut.

Aliohjelmien toteutus

- Aliohjelmatyypit
- Parametrien tyypit
- Aktivointitietue
- Aktivointitietuepino
- Rekursio
- Käyttöjärjestelmäpalvelut

Olemme nyt käyneet läpi aliohjelmien toteutuksen konekielen tasolla. Teillä pitäisi nyt olla hyvä mielikuva siitä, kuinka aliohjelmakutsu toteutetaan aktivointitietueen avulla ja kuinka aliohjelmien kutsuhierarkia toteutetaan aktivointitietuepinon avulla. Kävimme läpi sekä arvo- että viiteparametrien käsitteet ja toteutuksen, ja tutustuimme myös nimiparametreihin. Esitimme, kuinka rekursio toteutetaan luontevasti AT-pinon avulla ja mitä yhteistä ja mitä eroavaisuuksia KJ-palvelujen käytöllä on tavallisten aliohjelmien käytön kanssa.