

# C-ohjelmointi

## Luento 5: Osoittimet

19.9.2006

### Sisältö

- u Muistin rakenteesta
- u Operaatiot ja void-tyyppi
- u Muistinhallinta – varaus, vapautus
- u Osoitinaritmetiikka ja muistilohkon käsittely
- u Osoittimet ja funktiot
- u Osoitinlohko
- u Merkkijonojen kopiointi (jos ehditään)

# Muistinhallinta

Java

vs

C

- u Luokka on viittaustyyppin määritelmä ja olio on viittaustyyppin ilmentymä
  - u Muistinhallinta on implisiittistä. Java suoritussympäristö varaa muistia uusille olioille aina oliota luotaessa
  - u Roskienkeruu vapauttaa muistia eli poistaa muistista ne oliot, joihin ei enää ole viittauksia
  - u Mikä sitten on olioviite???? (No se on oikeastaan osoitin)
- u Ei luokkia, mutta kuitenkin tietorakenteita ja osoittimia
  - u Eksplisiittinen muistinhallinta. Ohjelman on varattava muistia uusille tietorakenteille.
  - u Eksplisiittinen vapautus. Ohjelman on vapautettava tarpeeton muisti.
  - u Osoittimet ovat oikeastaan vain viittauksia muistissa oleviin tietoalkioihin

## Prosessin rakenne

# KJ-1

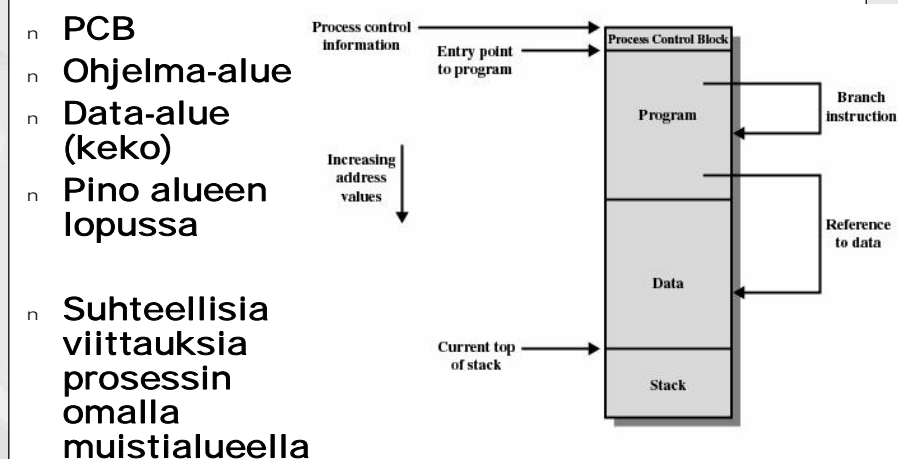
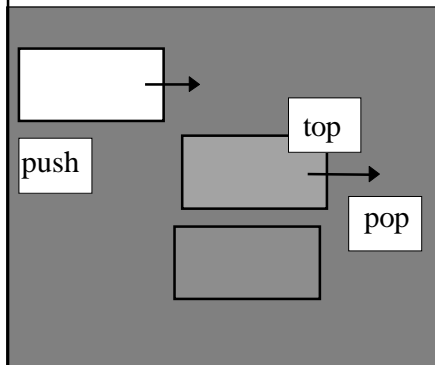


Figure 7.1 Addressing Requirements for a Process

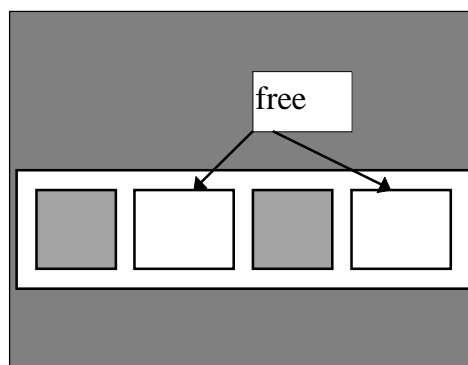
## Pino (stack)



- u *Implisiittinen käyttö* (paikalliset muuttujat ja funktion param.)
- u Hyöty: Muistia ei tarvitse varata tai vapauttaa itse.
- u Haitta: Pinon alkioita voi käyttää vain sen hetken kun ne ovat pinossa. (Tästä voi seurata virheitä, jos näihin viitataan osoittimilla.)
- u Roikkuva viite (dangling reference)
  - Osoitin, joka vieläkin viittaa jo vapautettuun muistialueeseen

## Keko (heap)

- u *Eksplisiittinen käyttö*
- u Ohjelmoija *vastaa* muistinhallinnasta C:ssä
- u Muisti voi pirstoutua (fragmentoitua)
- u Sopimaton tai huolimaton käyttö voi johtaa *muistivuotoon*
- u Muisti on resurssi (siinä kuin tiedostotkin) ja sitä pitää hallita ihan yhtälailla



## Osoittimien määrittely ja viittaukset

- u Osoittimen voi määrittellä mille tahansa tyyppille

```
int *p;    Osoitin kokonaislukuun
char *q;   Osoitin merkiin (merkkiosoitin)
double **w; Osoitin reaaliukuosoittimeen
```

- u Tässä siis  
**p** osoittaa muistialueeseen, jonka koko on `sizeof(int)`  
**q** osoittaa muistialueeseen, jonka koko on `sizeof(char)`  
**w** osoittaa muistialueeseen, jonka koko on `sizeof(double*)`
- u Tai tyyppimäärittelyllä:

```
typedef int* Pint;
Pint p1, p2; /*p1 ja p2 ovat osoittimia int-tyyppiin */
```

## Operaatiot

- u `p = &c` osoitteen otto
- u `c = *p` osoitetun muuttujan arvo
- u `c = **r` -"- (Nyt vain kaksi osoitinta peräkkäin)
- u `p = q` sijoitus, kun samantyyppiset osoittimet
  
- u `p+i` p osoitin muistialueelle, i sopivan kokoinen kok.luku
- u `p-i`
- u `p-q` saman muistialueen osoittimia ja `q<p`
  
- u `*ip++` osoittimen arvo kasvaa yhdellä
- u `(*ip)++` osoitetun muuttujan arvo kasvaa yhdellä!

## Operaatiot (jatkuu)

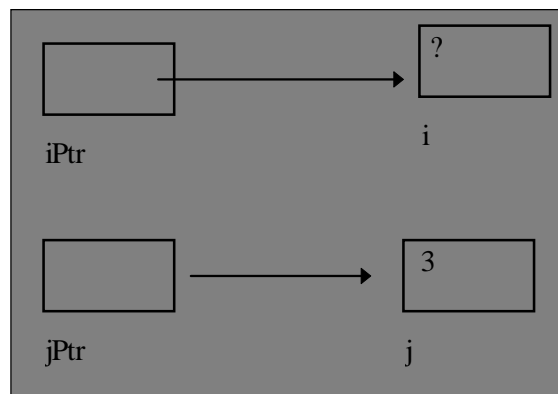
- u  $p < q$  p ja q saman muistialueen osoittimia
- u  $p == q$
- u Osoitinaritmetiikka toimii viitattavan tyyppin koosta riippumatta:
  - $pa+1$  viittaa seuraavaan samantyyppiseen alkioon. (tai  $pa[i]$ )
  - $*(pa+i)$  on kyseisen alkion arvo
- u Osoittimen arvo NULL ei osoita mihinkään
- u NULL-arvon voi sijoittaa mille tahansa osoitinmuuttujalle tyyppistä riippumatta.

## Osoittimet ja sijoitus

```
int i;  
int *iPtr = &i;  
int j = 3;  
int *jPtr = &j;
```

u Entäpä

```
*jPtr = *iPtr;  
i = 4;  
*jPtr = i;  
iPtr = j;
```



## Geneeriset osoittimet (void \*p)

- u `void *p` määrittelee geneerisen, tyypittömän osoittimen `p`.
- u Osoitinta voidaan tyyppimuunnoksen `*(T*)p` avulla käyttää käsiteltäessä tyyppiä `T` muuttujaa

```
void *p = NULL;
int i = 2;
int *ip = &i;

p = ip;
printf("%d", *p); /* VÄÄRIN?*/
printf("%d", *((int*)p ) );
```

HUOM:  
Tyyppimuunnos!

## Osoittimet ja `const` -määre

- u `const int *p;`
  - `p`:n arvo on osoitin kokonaislukuvakioon
  - `p` voi muuttua, mutta `*p` ei
- u `int *const p;`
  - vakio-osoitin kokonaislukuun `*p`
  - `p` ei voi muuttua, mutta `*p` voi
- u `const int *const p;`
  - Vakio-osoitin kokonaislukuvakioon.

## Sisältö

- u Muistin rakenteesta
- u Operaatiot ja void-tyyppi
- u Muistinhallinta – varaus, vapautus
- u Osoitinaritmetiikka ja muistilohkon käsittely
- u Osoittimet ja funktiot
- u Osoitinlohko
- u Merkkijonojen kopiointi (jos ehditään)

## malloc, calloc ja free

void \* on yleinen osoitin, joka voi osoittaa millaiseen rakenteeseen tahansa.

- u void \*malloc (size\_t size);
  - varaa muistia size tavua ja palauttaa osoittimen varatun muistin alkuun. malloc palauttaa NULL, jos muistin varaus ei onnistu.
- u void \*calloc (size\_t nobj, size\_t size);
  - \* calloc on kuten malloc, mutta varattavan muistin määrä on nobj\*size tavua ja muisti nollataan.
- u void \*realloc (void \*p, size\_t size);
  - \* realloc muuttaa parametrina annetun osoittimen p osoittaman varatun muistialueen kokoa.
- u void free (void \*p);
  - \* free vapauttaa dynaamisesti varatun muistin takaisin käyttöjärjestelmälle.

## Paluuarvon tarkistus!

- u Hyvään ohjelmointitapaan kuuluu, että aina tarkistetaan funktion palauttama arvo ja toimitaan sen mukaan.
- u Erityisen tärkeää tämä on mm. muistin varauksen yhteydessä.

```
void *malloc(size_t requestedSize);
void *calloc(size_t requestedCount,
             size_t requestedSize);

T *p;
if ((p=malloc(n*sizeof(T))) == NULL)
    error;
if ((p=calloc(n, sizeof(T))) == NULL)
    error;
```

## \dioms



### Dynaaminen muistinvaraus: n kokonaislukua

```
int* p;
if((p = malloc(n*sizeof(int))) == NULL)
    error

/* tai makrolla */
#define MALLOC(p, type, n) \
    ((p) = malloc((n)*sizeof(type))) == NULL)
/* makron käyttö */
if MALLOC(p, int, n) {error}
```



# Portability



## malloc

- u Käytä aina absoluuttisen numeerisen arvon sijasta alkion kokona `sizeof(type)` varausfunktion kutsussa.
- u Esimerkiksi  
`malloc(sizeof(int))`  
on parempi kuin  
`malloc(2)`
- u Tyypin koko voi vaihtua ympäristöstä toiseen

## Muistin vapauttaminen

- u Eksplisiittisesti keosta varattu muisti pitää myös vapauttaa eksplisiittisesti, kun sitä ei enää tarvita.

```
int *p;  
  
if(MALLOC(p, int, 1))  
    exit(EXIT_FAILURE);  
*p = 12;  
...  
free(p);  
p = NULL;  
/* Älä enää käytä osoitinta *p */
```

Varaus

Vapautus

# Errors

## Muistinhallinta



- u Älä sekoita implisiittisesti (pinosta) ja eksplisiittisesti (keosta) varattua muistia.

```
int i;  
int *p;  
&i = malloc(sizeof(int)); /*VÄÄRIN*/
```

- u Vapauta ainoastaan aiemmin eksplisiittisesti malloc tai calloc -kutsuilla varattua muistia. Vapauta vain kerran!

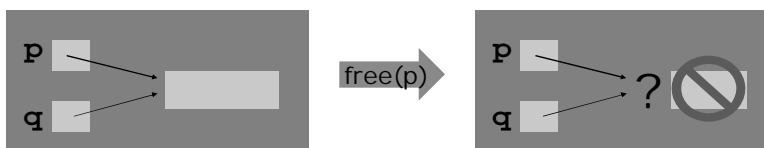
```
p = &i;  
free(p); /* VÄÄRIN */
```

# Errors



## Muistinhallinta

- u Osoittimen arvon sijoittaminen  $q = p$  Ei kopioi osoitettua muistia. Sijoituksen jälkeen sekä  $p$  että  $q$  osoittamaan SAMAN muistialueeseen.
- u Näin ollen kutsu `free(p)` vapauttaa myös  $q$ :n osoittaman muistialueen. Älä siis käytä  $q$ :ta tai vapauta samaan muistialueeseen toistamiseen.



## Osoitin muistilohkoon

- u Osoittimen voidaan katsoa osoittavan yhtenäisen muistialueen (muistilohkon) ensimmäiseen alkioon
- u Lohkon sisällä voidaan tiettyyn alkioon  $i$  viitata lisäämällä tuo  $i$  osoitinmuuttujan arvoon:  $pa+i$
- u Alkion arvo saadaan lausekkeella  $*(pa+i)$  tai  $pa[i]$
- u Älä kadota dynaamisesti varatun lohkon alkua.
  - Pidä siis ainakin yksi osoitin koko ajan lohkon ensimmäisessä alkiossa
- u Lohkon läpikäynti  
for ( $pi = p$ ;  $pi < p+SIZE$ ;  $pi++$ ) { }

## Viittaus tiettyyn alkioon

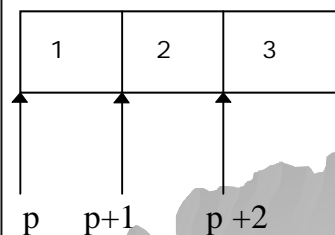
- u Kokonaisluvun lisääminen siirtää osoitinta kokonaisen osoitetun alkion verran eteenpäin

```
#define SIZE 3
double *p;

if(MALLOC(p, double, SIZE))
    exit(EXIT_FAILURE);

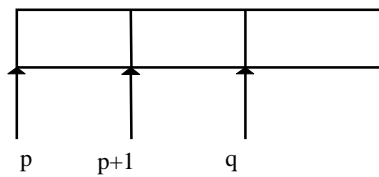
*p = 1;
*(p + 1) = 2; /* tai p[1]*/
*(p + 2) = 3;
```

Vähennyslasku  
Vastaavasti!



## Osoittimien välinen erotus

- u Osoittimen vähentäminen toisesta  $q-p$  tuottaa tulokseksi osoittimien etäisyyden muistialueen alkioina. HUOM: oltava  $q \geq p$



```
int x;  
x = q-p;  
x = (p+1) -p;
```

## Esimerkki: muistilohkon läpikäynti

```
#define SIZE 15  
double *p, *pi;  
if(MALLOC(p, double, SIZE))  
    exit(EXIT_FAILURE);  
/* alkioiden sijoittelu muistilohkoon */  
  
for(i = 0, pi = p, sum = 0; i < SIZE; i++, pi++)  
    sum = sum + (*pi);  
for(pi = p, product = 1; pi < p+SIZE; pi++)  
    product *= *pi;  
  
/* tulosta alkiot lopusta alkaen */  
for(pi = p+SIZE-1; pi >= p; pi--)  
    printf("%f\n", *pi);
```

## Muistilohkon kopiointi alkio kerrallaan

- u Kopioidaan osoittimen p osoittama alue osoittimen q osoittamalle alueelle. Alueiden koko on SIZE alkiota

```
/* p:lle on jo aiemmin varattu tila ja
asetettu arvot muistilohkon alkioille */

double *pi, *qi;

if(MALLOC(q, double, SIZE))
    exit(EXIT_FAILURE);

for(qi = q, pi = p; qi < q+SIZE; qi++, pi++)
    *qi = *pi;
```

## Muistilohkon kopiointi: memcpy ja memmove

- u Otsikkotiedostossa **string.h** on joidenkin muistilohkoja käsittelevien standardifunktioiden määrittelyjä.

- u Esimerkiksi

```
void *memcpy(void *dest, const void *src,
             size_t len);
```

- u Kopioi **len**-mittaisen muistilohkon osoitteesta **src** alkaen lohkon, joka alkaa osoitteesta **dest**

- u Jos lohkot ovat osittain päällekkäin on käytettävä funktiota

```
void *memmove(void *dest, const void *src,
              size_t len);
```

## Sisältö

- u Muistin rakenteesta
- u Operaatiot ja void-tyyppi
- u Muistinhallinta – varaus, vapautus
- u Osoitinaritmetiikka ja muistilohkon käsittely
- u Osoittimet ja funktiot
- u Osoitinlohko
- u Merkkijonojen kopiointi (jos ehditään)

### programming Guidelines

## Osoittimet ja funktiot



- u Kaikki funktioiden tekemät dynaamiset muistinvaraukset täytyy dokumentoida huolellisesti
- u Kutsujan täytyy tietää kenen vastuulla muistin vapauttaminen myöhemmin on

## Osoitin paluuarvona

- u Funktio varaa muistialueen ja palauttaa arvonaan osoittimen tähän alueeseen
- u Kutsuja voi käyttää aluetta ja sen vapauttaminen jää kutsujan vastuulle!!

```
/* funktio: getBlock
 *gets a block of memory
 *to store int values
 */
int* getBlock
    (size_t size) {
    return malloc
        (size*sizeof(int));
}
```

```
int *p;
if((p = getBlock(10))
    == NULL)
    error

/* vapautus joskus
myöhemmin */
free(p);
p = NULL;
```

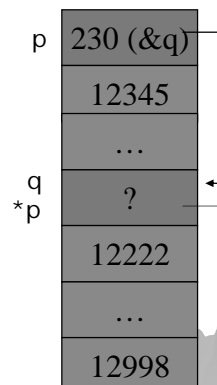
## Osoitinmuuttuja viiteparametrina

- u Jos funktion täytyy muuttaa osoitinmuuttujan arvoa, on funktiolle välitettävä osoitinmuuttujan osoite

Osoittimen osoite  
(osoitinmuuttujan  
oma osoite)

```
int getBlockRef(int **p, unsigned n) {
    if((*p = (int*)malloc(n*sizeof(int)))
        == NULL)
        return 0;
    return 1;
}
```

```
int *q;
if(getBlockRef( &q , 10) == 1)
    success
```



## Muistilohko parametrina

- u Funktiolle parametrina
  - lohkon alun osoite sekä
  - lohkon alkioiden lukumäärä

```
void *funktio(void *ptr, size_t len);
```

- u Varattu muistilohko on vain varattu muistilohko
  - Se ei sisällä tietoa koosta tai alkioiden tyypistä
  - Kokotieto täytyy säilyttää ja välittää erikseen
  - Myös tietotyyppiä on erillään lohkoista itsestään

## Etsintäfunktio search

```
/* Search a block of double values */  
int search(const double *block, size_t size,  
           double value) {  
    double *p;  
  
    if(block == NULL)  
        return 0;  
  
    for (p = block; p < block+size; p++)  
        if(*p == value)  
            return 1;  
  
    return 0;  
}
```

Alkioiden lkm

Osoitin  
viiteparametrina,  
jota ei saa muuttaa!

Lohkon  
läpikäynti



## Yleistetään etsintäfunktiota search

- u C ei salli polymorfismia, mutta voimme simuloida sitä käyttämällä geneerisiä osoittimia (i.e. **void\***).
- u Funktion esittelyssä voi määritellä, että paluuarvo ja parametrit ovatkin määräämätöntä tyyppiä **void**
- u Tällöin tosin on kerrottava myös alkioiden koko ja niiden käsittelyyn käytettävä rutiini

```
int searchGen ( const void *block,  
               size_t size, void *value,  
               size_t elSize  
               int (*compare)(const void *, const void *));
```

Etsittävän lohkon alku

alkioiden lkm ja etsittävä arvo

Alkion koko

Funktio alkioiden vertailuun

## Funktion kutsujan toimenpiteet

- u Funktion kutsujan täytyy määritellä vertailufunktio, jota voidaan kutsua etsintäfunktiosta (ns. Call back -rutiini)
- u Tyyppien kanssa määrittely voisi olla:

```
int comp(const double *x, const double *y) {  
    return *x == *y;  
}
```

- u Tyyppittömien parametrien avulla funktio täytyykin määritellä seuraavasti:

```
int comp(const void *x, const void *y) {  
    return *(double*)x == *(double*)y;  
}
```

## geneerisen etsinnän käyttö

```
/* Application of a generic search */
#define SIZE 10
double *b;
double v = 123.6;
int i;
int main (void) {
    if(MALLOC(b, double, SIZE))
        exit(EXIT_FAILURE);
    for(i = 0; i < SIZE; i++) /* initialize */
        if(scanf("%lf", &b[i]) != 1) {
            free(b);
            exit(EXIT_FAILURE);
        }
    printf("%f was %s one of the values\n",
        v, searchGen(b, SIZE, &v, sizeof(double), comp)
        == 1 ? "" : "not");
    return 0; /* tai exit(EXIT_SUCCESS); */
}
```

## Geneerisen funktion search toteutus

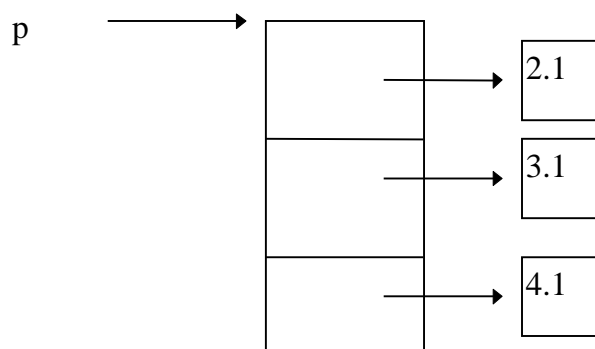
```
#define VOID(targ,size) ((void *) (((char *) (targ)) + \
(size)))
int searchGen(const void *block,
    size_t size, void *value, size_t elSize,
    int (*compare)(const void *, const void *)) {
    void *p;
    if(block == NULL)
        return 0;
    for(p = (void*)block; p < VOID(block,size*elSize);
        p = VOID(p,elSize))
        if(compare(p, value))
            return 1;
    return 0;
}
```

HUOM: Osoittimen siirrossa on nyt otettava myös alkion koko huomioon!

## Sisältö

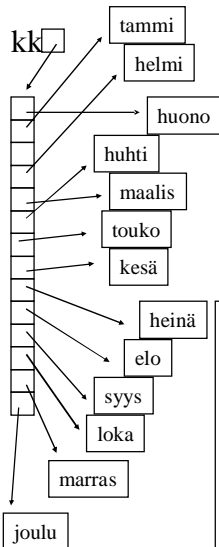
- u Muistin rakenteesta
- u Operaatiot ja void-tyyppi
- u Muistinhallinta – varaus, vapautus
- u Osoitinaritmetiikka ja muistilohkon käsittely
- u Osoittimet ja funktiot
- u Osoitinlohko
- u Merkkijonojen kopiointi (jos ehditään)

## Osoitin lohkoon, jossa osoittimia



- u Lohko, jossa on kolme osoitinta double-tyyppisiin alkioihin
- u Viittaamiseen alkioon asti vaatii kaksi viittauksenpurkua \*\*p

## Osoitinlohko, jonka alkiot merkkijono-osoittimia



- u Tällaista rakennetta käytetään komentoriviparametrien käsittelyssä (muuttuja argv).
- u Tässä esimerkkinä funktio, joka palauttaa arvonaan osoittimen kuukauden numeroa vastaavaan nimeen.

```
char *kk_nimi(int k)
{
    static char *kk[] = {"huono", "tammi", "helmi",
        "maalis", "huhti", "touko", "kesä", "heinä", "elo",
        "syys", "loka", "marras", "jouluku"};
    return ( (k < 1 || k > 12) ? kk[0] : kk[k] );
}
```

## Osoitinlohkon käyttö – dynaaminen muistinvaraus lohkolle ja viitattaville alkiolle (tai uusille lohkoille)

```
double **block;
#define SIZE 3
if((block=calloc(SIZE, sizeof(double*)))==NULL)
    error;

for(i = 0; i < SIZE; i++)
    if((block[i]=calloc(1, sizeof(double)))==NULL)
        error;

>(*block) = 2.1;
block[0][0] = 2.1;
```

Varaus itse  
osoitinlohkolle

Varaus yhdelle  
alkiolle kerrallaan

## Osoitinlohkon käyttö – viittaaminen alkioihin ja vapautus

- u Lohkon viittaamien alkioiden alustaminen

```
for(i = 0; i < SIZE; i++)  
    block[i][0] = 2.1 + i;
```

- u Muistinvapauttaminen: viitatut alkiot ja osoitinlohko

```
for(i = 0; i < SIZE; i++)  
    free(block[i]);  
free(block);  
block = NULL;
```

Ensin alkiot

Ja sitten lohko

## Esimerkki: merkkijonon kopiointi (merkkijonon lopussa on merkki '\0')

```
#include <stdio.h>
```

```
void kopioi( char *s, char *t)  
{  
    int i=0;  
    while ( (s[i] = t[i]) != '\0' )  
        i++;  
}
```

Merkkijono parametrina.  
Oikeasti osoittimia  
muistilohkojen alkuihin.

```
int main (void)
```

```
{  
    char taalta [] = "Tämä kopioidaan.",  
        tanne[50];  
    kopioi ( tanne, taalta);    printf("%s\n", tanne);  
    return 0;  
}
```

Viitataan merkkeihin  
taulukkomaisesti yksi kerrallaan

## Esimerkki: merkkijonon kopiointi – muita tapoja kirjoittaa viittaus

Versio 1:

```
void kopioi( char *s, char *t)
{
  while ( (*s = *t) != '\0' )
    { s++; t++; }
}
```

Versio 2:

```
void kopioi( char *s, char *t)
{
  while ( (*s++ = *t++) != '\0' )
    ;
}
```

Versio 3:

```
void kopioi( char *s, char *t)
{
  while ( *s++ = *t++ ) ;
}
```

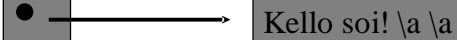
Funktion otsikko on identtinen edellisen kalvon kanssa, vain viittaaminen alkioihin erinäköinen.

Minimalistisen selkeä!

## Merkkijonovakiot ja osoittimet

- u Merkkijonovakio on yhtenäinen muistialue, jonka päättää lopetusmerkki '\0'.
- u `char *aamu = "Kello soi! \a \a"`
- u `char huomenta[] = "Kello soi! \a \a"`

huomenta: `Kello soi! \a \a`

aamu: 

- u Muistialueen (huomenta) yksittäisiin alkioihin voidaan viitata
- u Osoitin aamu voidaan asettaa muualle, mutta osoitetun merkkijonon muutosyritysten tulos on 'epämääräinen'

C assumes that programmer is intelligent enough to use all of its constructs wisely, and so few things are forbidden.

C can be a very useful and elegant tool. People often dismiss C, claiming that it is responsible for a "bad coding style". The bad coding style is not the fault of the language, but is controlled (and so caused) by the programmer.