

Programiranje 2

4. predavanje

Saša Singer

`singer@math.hr`

`web.math.hr/~singer`

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Višedimenzionalna polja (kraj):
 - Množenje matrice i vektora.
 - Množenje matrica.
 - Brzina operacija i sekvencijalni pristup podacima.
 - Polja varijabilne duljine (C99).
- Pokazivači (prvi dio):
 - Deklaracija pokazivača.
 - Pokazivači kao argumenti funkcije.
 - Operacije nad pokazivačima. Aritmetika pokazivača.
 - Pokazivači i polja.
 - Indeksi u polju i aritmetika pokazivača.
 - Dinamička alokacija memorije.

Informacije

Konzultacije (službeno):

📍 petak, 12–14 sati, ili — po dogovoru.

Višedimenzionalna polja

Operacije s matricama i vektorima

Sadržaj

- Višedimenzionalna polja (kraj):
 - Množenje matrice i vektora.
 - Množenje matrica.
 - Brzina operacija i sekvencijalni pristup podacima.
 - Polja varijabilne duljine (C99).

Množenje matrice i vektora $y = Ax$

Primjer. Zadana je **pravokutna** matrica A tipa $m \times n$ i vektor x duljine n . Treba izračunati vektor $y = Ax$ (duljine m).

Formula za **elemente** vektora y je

$$y_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j,$$

za sve indekse

$$i = 1, \dots, m.$$

Dakle, “programski” — treba “zavrtiti” **dvije** petlje.

Množenje matrice i vektora $y = Ax$ (nastavak)

Primjer. Dio **glavnog** programa.

```
#include <stdio.h>
#define MAX_m 10
#define MAX_n 10
int main(void) {
    int A[MAX_m][MAX_n], x[MAX_n], y[MAX_m];
    int m, n;    /* Stvarne dimenzije matrice A. */
    int i, j;

    void umnozak(int, int, int mat1[][MAX_n],
                 int mat2[MAX_n], int mat3[MAX_m]);

    ...
    umnozak(m, n, A, x, y);
```

Funkcija umnozак

```
void umnozак(int m, int n, int mat1[][MAX_n],
             int mat2[MAX_n], int mat3[MAX_m])
{
    int i, j;
    /* Mnozenje matrice i vektora */
    for (i = 0; i < m; ++i) {
        mat3[i] = 0;
        for (j = 0; j < n; ++j)
            mat3[i] += mat1[i][j] * mat2[j];
    }
}
```

Zadatak. Prepišite funkciju tako da se varijable zovu **A**, **x** i **y**.

Množenje matrica

Primjer. Zadane su 3 pravokutne matrice:

- A — tipa $m \times \ell$,
- B — tipa $\ell \times n$,
- C — tipa $m \times n$.

Treba izračunati izraz

$$C := C + A * B.$$

Akumulacija (“nazbrajavanje”) produkta $A * B$ u matrici C

- standardni je oblik BLAS-3 rutine xGEMM za množenje matrica,

tj. baš ova operacija se često koristi u praksi.

Množenje matrica — formula

“Matematička” realizacija **matrice** operacije

$$C := C + A * B$$

po **elementima** je trivijalna:

$$c_{ij} := c_{ij} + \sum_{k=1}^{\ell} a_{ik} \cdot b_{kj},$$

za sve indekse

$$i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n.$$

Dakle, “programski” — treba “zavrtiti” **tri** petlje.

Množenje matrica — skica funkcije

Funkcija `matmul` koja računa $C := C + A * B$ mora imati sljedeće argumente:

- matrice A , B i C u obliku

- `double a[][lda]`,

- `double b[][ldb]`,

- `double c[][ldc]`,

gdje su `lda`, `ldb` i `ldc` dimenzije (brojevi stupaca) iz definicije ovih matrica — tamo gdje je rezervirana memorija za njih,

- stvarne dimenzije matrica

- `int m`, `int n` i `int l`

s kojima ćemo raditi.

Množenje matrica — funkcija

```
void matmul( int m, int n, int l,  
            double a[][lda],  
            double b[][ldb],  
            double c[][ldc] )  
{  
    int i, j, k;  
  
    for (i = 0; i < m; ++i)  
        for (j = 0; j < n; ++j)  
            for (k = 0; k < l; ++k)  
                c[i][j] += a[i][k] * b[k][j];  
  
    return;  
}
```

Množenje matrica — brzina

Množenje matrica vrši se u trostrukoj petlji. Poredak petlji je proizvoljan, pa imamo $3! = 6$ verzija algoritma.

- Računala imaju hijerarhijski organiziranu memoriju u kojoj se bliske memorijske lokacije mogu dohvatiti brže od udaljenih (blok transfer u “cache”).
- U unutarnjoj petlji (po k) — redak matrice A množi se stupcem matrice B (skalarni produkt). Brzina?
- Elementi retka od A su na susjednim lokacijama, pa je dohvat brz.
- Elementi stupca od B nalaze se na memorijskim lokacijama međusobno udaljenim za duljinu retka.
- Kod velikih matrica ta je udaljenost velika — posljedica je sporiji kôd.

Množenje matrica — povećanje brzine

Efikasnija verzija algoritma ima “okrenute” petlje po j i k , tako da je petlja po j unutarnja:

```
...  
for (i = 0; i < m; ++i)  
    for (k = 0; k < l; ++k)  
        for (j = 0; j < n; ++j)  
            C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];  
...
```

U unutarnjoj petlji (po j) dohvaćaju se **reci** matrica C i B , a **nema** dohvata **stupaca**. Element $A[i][k]$ može se čuvati u **cacheu**. Usput, elemente od A isto dohvaćamo po **recima**.

Ovo je **daleko najbrža** od svih 6 varijanti algoritma za **velike** matrice. (Kog zanima, nek' mi se javi, ili pogledajte **Dodatak**.)

Množenje matrica — kraj

Napomena. Ako trebamo samo **produkt** $C = A * B$, onda

🔴 inicijaliziramo $C = 0$ (na **nul-matricu**).

To možemo učiniti **prije** poziva naše funkcije, ili **u** funkciji, ali **ispred** one **tri** petlje za množenje (da ne mijenjamo **optimalni** poredak petlji).

```
for (i = 0; i < m; ++i)
    for (j = 0; j < n; ++j)
        C[i][j] = 0.0;
for (i = 0; i < m; ++i)
    for (k = 0; k < l; ++k)
        for (j = 0; j < n; ++j)
            C[i][j] += A[i][k] * B[k][j];
```

Polja varijabilne duljine

Problem u **C90** standardu za rad s **matricama**:

- **dimenzije** polja u deklaraciji **argumenata** funkcije moraju biti **konstantni** izrazi, pa **promjena dimenzije** u **definiciji** (višedim.) polja \Rightarrow **promjena deklaracije** svih funkcija.

Standard **C99** uvodi polja “**varijabilne**” **duljine**, ali ih neki prevoditelji još ne implementiraju u potpunosti.

- Polje **varijabilne** duljine je **automatsko** polje čije **dimenzije** mogu biti zadane **vrijednostima varijabli**.

Primjer:

```
int m = 3;  
int n = 3;  
double a[m][n];  /* PVD: polje var. duljine */
```

Polja varijabilne duljine (nastavak)

Osnovna svrha polja varijabilne duljine je pisanje funkcija

koje, kao argument, primaju dimenzije polja.

Ideja: te dimenzije su one iz definicije polja (prva nije bitna).

Primjer. Funkcija koja računa Euklidsku (ili Frobeniusovu) normu matrice. Neka je A matrica tipa $m \times n$ s elementima

$$a_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n.$$

Euklidska ili Frobeniusova norma matrice A definira se ovako

$$\|A\|_E = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}.$$

Polja varijabilne duljine — pogrešno

Prva verzija (v. `e_norm_1.c`):

```
double E_norma(int m, int n, double A[m][n])
{
    double suma = 0.0;
    int i, j;

    for (i = 0; i < m; ++i)
        for (j = 0; j < n; ++j)
            suma += A[i][j] * A[i][j];
    return sqrt(suma);
}
```

Međutim, **NE TAKO!** To **nije** svrha (ideja) i još **NE RADI**.

Polja varijabilne duljine (nastavak)

Argumenti `m` i `n` su stvarne dimenzije radnog dijela matrice `A`.

No, zbog deklaracije matrice `A` u obliku `double A[m][n]`,

- funkcija “vidi” retke matrice `A` kao polja duljine `n`,
- što ne mora odgovarati pravoj duljini redaka iz definicije matrice (negdje izvan funkcije).

Posljedica: funkcija “čita” elemente matrice `A` s pogrešnih adresa (od drugog reda nadalje) — rezultat je pogrešan!

Popravlak. Funkcija mora dobiti još jedan argument,

- nazovimo ga `lda` (“last dimension of A”), koji sadrži drugu dimenziju matrice iz njezine definicije (rezervacije memorije) = broj stupaca = duljina svakog retka,
- a matricu `A` treba deklarirati kao `double A[m][lda]`.

Polja varijabilne duljine — ispravno

Dakle, **zaglavlje** funkcije treba biti (v. `e_norm_2.c`):

```
double E_norma(int m, int n,  
               int lda, double A[m][lda])
```

a tijelo funkcije je **isto** kao i prije.

Funkcija sad **korektno** “vidi” **pravu duljinu** svakog **retka** i to je **jedina** svrha argumenta **lda**.

- Argument **lda** mora biti **ispred** `double A[m][lda]`.
- Prva** dimenzija matrice (polja) se **ignorira**, kao i prije, pa možemo pisati i `double A[][lda]` (bez `m`).

Općenito, **prvu** dimenziju polja iz **definicije** **ne treba** slati kao argument (za matrice, to je rezervirani **broj** redaka).

Polja varijabilne duljine — kraj

Pogledajte programe `e_norm_1.c` i `e_norm_2.c`, zajedno s rezultatima (`*.out`) i provjerite da prva verzija radi pogrešno. Usput, poredak petlji u funkciji je dobar — elementima matrice `A` pristupamo redom kako su spremljeni u memoriji.

Zadatak. Preuredite funkciju `readmat` za čitanje matrice tako da koristi polja varijabilne duljine i vraća učitane “radne” dimenzije matrice `m` i `n` kao varijabilne argumente.

Zadatak. Preuredite funkciju `matmul` za množenje matrica tako da koristi polja varijabilne duljine.

Napomena. Kod prevođenja ovih programa, prevoditelju treba zadati opciju da koristi jezička pravila iz C99 standarda. Inače, javlja greške!

Pokazivači

Sadržaj

- Pokazivači (prvi dio):
 - Deklaracija pokazivača.
 - Pokazivači kao argumenti funkcije.
 - Operacije nad pokazivačima. Aritmetika pokazivača.
 - Pokazivači i polja.
 - Indeksi u polju i aritmetika pokazivača.
 - Dinamička alokacija memorije.

Podsjetnik

- Svakoj **varijabli** u programu pridružena je **memorijska lokacija** (ili blok lokacija) čija **veličina** ovisi o **tipu varijable**.
- Svakoj **memorijskoj lokaciji** pridružena je **jedinstvena adresa**.
- Radi jednostavnosti, možemo zamišljati da je
 - **adresa** čitavog **bloka** lokacija = **adresa prve** lokacije u tom **bloku**.

Tako svaka **varijabla** ima svoju **jedinstvenu adresu**.

- **Varijabli** se može pristupiti korištenjem
 - **imena** varijable — prevoditelj “zna” adresu,
 - **adrese** varijable — **pokazivačem** na tu varijablu.

Deklaracija pokazivača

Pokazivač na **tip** je varijabla koja sadrži **adresu** varijable tog tipa **tip**.

Deklaracija **pokazivača** (engl. “pointer”):

```
mem_klasa tip *p_var;
```

Dakle, svi **pokazivači** imaju **tip** — onog **na što** pokazuju, osim tzv. **generičkog pokazivača** **void *p** — pokazivača na **bilo što**.

Primjer:

```
static int *pi;  
char* pc;  
float* pf, f;
```

```
double *px;  
int a, *b;  
void *p;
```

Adresni operator & i operator dereferenciranja *

Adresni operator &:

- $\&x$ = **adresa** varijable x .

Operator dereferenciranja *:

- $*p_x$ = **vrijednost** spremljena u memorijsku lokaciju na koju **pokazuje** p_x ,
- tj. **sadržaj** na **adresi** spremljenoj u p_x .

Operatori & i * su **unarni** operatori, asocijativnost $D \rightarrow L$.

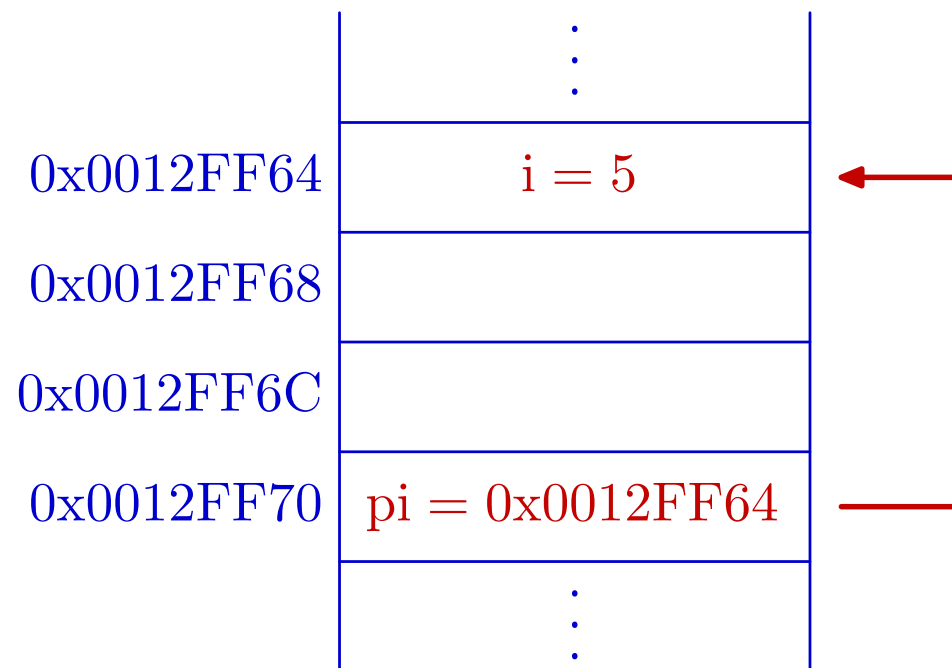
Napomena. Simboli & i * mogu biti i **binarni** operatori (bit-po-bit i, množenje) — **ovisno** o tome kako su **napisani**:

- **ispred** operanda \rightarrow **unarni**,
- **između** dva operanda \rightarrow **binarni**.

Adresni operator & i operator dereferenciranja *

Uočite da je:

- 📍 $\&i$ = **adresa** varijable i ,
- 📍 $*pi$ = **vrijednost** spremljena u memorijsku lokaciju na koju **pokazuje** pi .



Inicijalizacija pokazivača

Pokazivačku varijablu pri definiciji možemo inicijalizirati

📍 adresom neke druge varijable.

Varijabla čiju adresu koristimo, mora biti definirana prije no što se na nju primijeni adresni operator (mora imati adresu).

Primjer:

```
int i = 5;
int *pi = &i;  /* inicijalizacija adresom */
...
i = 2 * (*pi + 6);
printf("i = %d, adresa od i= %p\n", i, pi);
```

Izlaz: i = 22, adresa od i= 0012FF64.

Pokazivači i funkcije

Pokazivači mogu biti argumenti funkcije.

- U tom slučaju funkcija može promijeniti vrijednost varijable na koju pokazivač pokazuje.

Primjer. Funkcija `zamjena` zamjenjuje vrijednosti cjelih brojeva `x` i `y`. Argumenti su pokazivači na `x` i `y`.

```
void zamjena(int *px, int *py) {  
    int temp = *px;  
    *px = *py;  
    *py = temp; }  

```

Poziv funkcije (u glavnom programu) treba glasiti:

```
zamjena(&a, &b); /* poslati adrese! */
```

Pokazivači i funkcije (nastavak)

Ponovimo da sljedeći kôd za funkciju **zamjena** ne valja:

```
void zamjena(int x, int y) {  
    int temp = x;  
    x = y;  
    y = temp; }  

```

Razlog je prijenos argumenata **po vrijednosti**. Pri pozivu

```
zamjena(a, b);
```

funkcija dobiva **kopije vrijednosti** stvarnih argumenata **a** i **b**, a onda međusobno zamjenjuje te **kopije**.

To **nema nikakvog utjecaja** na **originalne vrijednosti** stvarnih argumenata **a** i **b** — one ostaju nepromijenjene.

Operacije nad pokazivačima — uvod

Nad **pokazivačima** smijemo raditi samo **poneke operacije**,

- koje su “**konzistentne**” — tj. imaju **smisla** za memorijske adrese.

Na primjer, **množenje** pokazivača (adresa) **nema** smisla i **nije** dozvoljeno, iako su pokazivači, interno, neka vrsta cijelih brojeva bez predznaka.

Dozvoljene su sljedeće **operacije** nad pokazivačima.

- Svakom **pokazivaču** smijemo **dodati** i **oduzeti cijeli broj**.
- Oduzimanje** pokazivača **istog** tipa — i to je **jedina** dozvoljena **aritmetička** operacija (za **dva** pokazivača).
- Uspoređivanje** pokazivača **istog** tipa — **relacijskim** operatorima.

Operacije nad pokazivačima

Sve aritmetičke operacije nad pokazivačima ekvivalentne su

- aritmetici indeksa u polju odgovarajućeg tipa, a ne stvarnoj aritmetici adresa.

Svakom pokazivaču možemo dodati i oduzeti cijeli broj.

Primjer. Ako je `px` pokazivač i `n` varijabla tipa `int`, dozvoljene su operacije:

`++px` `--px` `px + n` `px - n`

Pokazivač `px + n` pokazuje na `n`-ti objekt nakon onog na kojeg pokazuje `px`, tj. u terminima adresa vrijedi

$$\text{px} + n \iff \text{adresa u px} + n * \text{sizeof}(\text{tip objekta na koji pokazuje px}).$$

Aritmetika pokazivača

Ove operacije skraćeno zovemo **aritmetika pokazivača**.

Osnovna **veza** između pokazivača i polja:

- Ime polja je **konstantni pokazivač** na **prvi** element polja, tj. **adresa** elementa tog polja s indeksom **[0]**!

Primjer. Aritmetika pokazivača (v. **Prog 1**):

```
int a[10], *pa;    /* a = &a[0] */
...
pa = a;           /* = &a[0]; */
pa = pa + 2;      /* = &a[0] + (2 * sizeof(int))
                  = &a[2] */
pa++;            /* = &a[3] */
```

Aritmetika pokazivača (nastavak)

Primjer. Aritmetika pokazivača i indeksi elemenata u jednodimenzionalnom polju (v. Prog 1):

```
int a[10], *pa;  
...  
pa = &a[0];  
*(pa + 3) = 20; /* ekv. s a[3] = 20; */  
*(a + 1) = 10; /* ekv. s a[1] = 10; */
```

Malo kasnije ćemo napraviti sličnu vezu pokazivača i indeksa za višedimenzionalna polja.

Operacije nad pokazivačima (nastavak)

Primjer:

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
    float x[] = {1.0, 2.0}, *px = x;  /* &x[0] */
    printf("Vrijednosti: x[0]=%g, x[1]=%g\n",
           x[0], x[1]);
    printf("Adrese      : x[0]=%p, x[1]=%p\n",
           px, px + 1);
    return 0; }
```

Izlaz:

```
Vrijednosti: x[0]=1, x[1]=2
Adrese      : x[0]=0012FF44, x[1]=0012FF48
```

Važnost prioriteta i asocijativnosti

Primjer. Unarni operatori `&`, `*`, `++` i `--` imaju viši prioritet od aritmetičkih operatora i operatora pridruživanja.

```
*px += 1;    /* ili samo izraz *px + 1 */
```

Prvo djeluje `*`. Zato se povećava za jedan

🕒 vrijednost na koju `px` pokazuje (`*px`), a ne sam pokazivač.

Zbog asocijativnosti unarnih operatora $D \rightarrow L$, isti izraz možemo napisati kao

```
++*px    /* povecava *px */
```

(prvo dereferenciranje, pa inkrementiranje, pa iskoristi povećani `*px`).

Važnost prioriteta i asocijativnosti (nastavak)

Kod **postfiks** notacije operatora **inkrementiranja**,

- ako želimo **povećati** ili **smanjiti sadržaj**, moramo koristiti **zgrade**.

```
(*px)++    /* povecava *px */
```

Izraz bez zagrada

```
*px++    /* povecava pokazivac px */
```

inkrementira **pokazivač px**, i to **nakon** što iskoristi ***px** (**vrijednost** na koju **px** pokazuje).

Operacije nad pokazivačima — primjer 1

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    double x[] = {10.0, 20.0, 30.0, 40.0}, *px = x;

    printf("%g, %g\n", *px+1, *px+2); /* 11, 12 */
    printf("%g, %g\n", *px++, *px+2); /* 10, 22 */
    /* gcc (Code::Blocks): 10, 12 */
    printf("%g, %g\n", *px, *px+2); /* 20, 22 */
    return 0;
}
```

Probajte za polje `double x[] = {1.0, 2.0, 3.0, 4.0};`.

Operacije nad pokazivačima — primjer 2

```
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int x[3] = {10, 20, 30}, *px;
    px = x;                               /* адреса 0012FE80 */

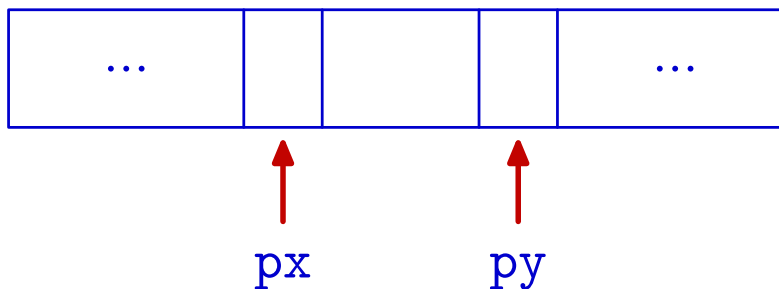
    printf("%d, %p\n", *px+1, px);         /* 11, 0012FE80 */
    printf("%d, %p\n", ++*px, px);         /* 11, 0012FE80 */
    printf("%d, %p\n", *px++, px);         /* 11, 0012FE84 */
    printf("%d, %p\n", *px, px);           /* 20, 0012FE84 */
    return 0;
}
```

Razlika pokazivača

Pokazivače **istog** tipa smijemo **oduzimati**.

- ☞ To ima **smisla samo** ako oni pokazuju na **isto polje**.
- ☞ Ako su **px** i **py** dva pokazivača (na isto polje), onda je
 - ☞ $py - px + 1 =$ **broj elemenata** između **px** i **py**,
uključujući i krajeve.

Ovaj rezultat odgovara **aritmetici** pokazivača!



Razlika pokazivača je vrijednost **cjelobrojnog tipa**, preciznije, tipa **ptrdiff_t** definiranog u **<stddef.h>**.

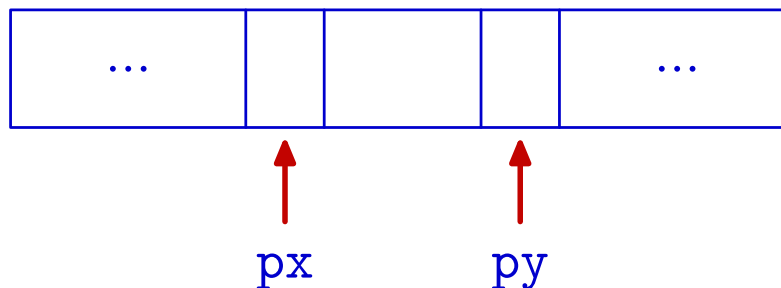
Usporedba pokazivača

Pokazivače **istog** tipa smijemo međusobno **uspoređivati** **relacijskim** operatorima.

- 📌 Opet, to uspoređivanje ima **smisla samo** ako pokazivači pokazuju na **isto polje**.

Ako su **px** i **py** dva pokazivača istog tipa, onda možemo koristiti izraze:

`px < py` `px > py` `px == py` `px != py`



Usporedba pokazivača (nastavak)

Sljedeće **dvije** petlje su **ekvivalentne**:

```
int i, *pi, x[10];
```

```
...
```

```
for (i = 0; i < 10; ++i)  
    x[i] = i;
```

```
for (i = 0, pi = &x[0]; pi <= &x[9]; ++pi, ++i)  
    *pi = i;
```

Prva varijanta je, očito, bitno **jednostavnija** i **čitljivija**!

U prvoj verziji folija, **druga** petlja s pointerima imala je točno **tri** greške u tipkanju.

Pokazivači i cijeli brojevi

Pokazivaču **nije moguće** pridružiti vrijednost **cjelobrojnog** tipa, osim nule.

- **Nula nije** legalna adresa!
- Ona označava da pokazivač **nije inicijaliziran**.

Može se pisati

```
double *p = 0;
```

Međutim, bolje je **naglasiti** da se radi o pokazivaču i koristiti **simboličku konstantu** **NULL** definiranu u **<stdio.h>**.

```
double *p = NULL;
```

Pokazivači i cijeli brojevi (nastavak)

Primjer:

```
double *px;
```

```
...
```

```
if (px != 0) ...      /* Korektno!  
                        Je li pokazivac  
                        inicijaliziran? */
```

```
if (px != NULL) ...   /* Jos bolje! */
```

```
if (px == 0x3451) ... /* GRESKA!  
                        Usporedjivanje  
                        s cijelim brojem */
```

Pokazivači različitih tipova

Pokazivači na različite tipove podatka, općenito, se ne mogu međusobno pridruživati.

- Ako to želimo, treba koristiti eksplicitno pretvaranje tipa (cast operator).

Jedini izuzetak je tzv. generički pokazivač (v. malo kasnije).

Primjer:

```
char *pc;  
int *pi;  
...  
pi = pc;           /* GRESKA */  
pi = (int *) pc;   /* ISPRAVNO */
```

Pokazivači različitih tipova (nastavak)

Razlog za zabranu “miješanja tipova” je vrlo jednostavan.

- Osnovne operacije s pokazivačima — dereferenciranje, povećanje i smanjenje, bitno ovise o tipu pokazivača.

Primjer. Uzmimo iste deklaracije kao u prošlom primjeru:

```
char *pc;  
int *pi;  
...  
pi = (int*)pc;  
printf("%u\n", (pi == (int*)pc));  
printf("%u\n", (pi + 1 == (int*)(pc + 1)));
```

Prva naredba ispiše 1, a druga 0. Dakle, pomaci su različiti.

Probajte ispisati vrijednosti sva 4 pokazivača u %p formatu!

Generički pokazivač

Generički pokazivač deklarira se kao pokazivač na `void`.

```
void *p;
```

Vrijednost pokazivača na bilo koji tip može se dodijeliti pokazivaču na `void` i obratno, bez promjene tipa pokazivača (ne treba `cast`).

Primjer:

```
double *pd0, *pd1;  
void *p;  
...  
p = pd0;      /* ISPRAVNO */  
pd1 = p;      /* ISPRAVNO */
```

Generički pokazivač (nastavak)

Osnovna uloga generičkog pokazivača je omogućiti da

- funkcija prima pokazivač na bilo koji tip podatka.

Primjer:

```
double *pd0;  
void f(void *);  
...  
f(pd0);    /* OK */
```

Korist od toga je donekle ograničena, jer

- generički pokazivač se ne smije dereferencirati, povećati i smanjiti.

Naime, sve navedene operacije bitno ovise o tipu pokazivača.

Generički pokazivač — svrha

Primjer. U `<stdlib.h>` postoje funkcije `qsort` i `bsearch` za općenito **sortiranje** niza podataka i **binarno traženje**.

```
void qsort(void *base, size_t n, size_t size,
           int (*comp) (const void *, const void *));
void *bsearch(const void *key, const void *base,
              size_t n, size_t size,
              int (*comp) (const void *, const void *));
```

Ovim funkcijama je **svejedno** koji je **tip podataka** u **nizu** i zato su argumenti tipa `void *` (tj. **generički** pokazivači).

Samo funkcija `comp` — za **uspoređivanje** podataka u nizu, mora voditi računa o **tipu**. Ona će **generičke** pokazivače **pretvoriti** u pokazivače na **odgovarajući tip** (v. **KR2**, str. **120**).

Pokazivači i const

Modifikator (ključnu riječ) `const` koristimo za definiciju konstanti.

```
const double g = 9.81;  /* ubrz. gravitacije */
```

Varijabli `g` tada ne smijemo promijeniti vrijednost.

Modifikator `const` smijemo primijeniti i na pokazivače.

- Konstantni pokazivač uvijek pokazuje na istu lokaciju.

Moguće je definirati konstantni pokazivač

- na nekonstantni tip i na konstantni tip.

Primjer (v. sljedeća stranica):

Pokazivači i const (nastavak)

```
double x[] = {0.1, 0.2, 0.3};  
const double y[] = {0.1, 0.2, 0.3};
```

```
const double *p1;          /* ptr na konst. double */  
double * const p2 = x;     /* konst. ptr na double */  
const double * const p3 = y;  
                           /* konst. ptr na konst. double */
```

```
p1 = x;   /* OK, ali x NE mogu mijenjati kroz p1 */  
p1[1] = 4.0;    /* GRESKA */  
p2 = &x[2];     /* GRESKA */  
p3 = &y[2];     /* GRESKA */  
*p3 = 4.0;     /* GRESKA */
```

Pokazivači i polja

Sadržaj

- Pokazivači i polja:
 - Ime polja i pokazivač na prvi element.
 - Pokazivači i jednodimenzionalna polja.
 - Polje kao argument funkcije.
 - Indeksi i aritmetika pokazivača.
 - Jednodimenzionalno polje.
 - Višedimenzionalno polje.

Pokazivači i polja — ponavljanje

Ime polja je konstantni pokazivač na prvi element polja, tj.

🕒 ime polja je adresa elementa tog polja s indeksom [0].

Primjer: Imenu polja ne smije se mijenjati vrijednost.

```
int a[10], b[10];
```

```
...
```

```
a = a + 1; /* GRESKA, a je konst. pokazivac */
```

```
b = a;      /* GRESKA! */
```

Ova veza između jednodimenzionalnih polja i pokazivača
(polje je pokazivač na prvi element polja)

🕒 vrijedi i u obratnom smjeru!

Pokazivači i jednodimenzionalna polja

Neka je **p** bilo koji pokazivač osim generičkog, tj. **p** može biti pokazivač na bilo koji tip (osim **void**).

Onda **p** možemo interpretirati i kao

- pokazivač na prvi element u polju odgovarajućeg tipa, tj. kao **p = &p[0]**. Nadalje, za pokazivač **p** smijemo koristiti i aritmetiku pokazivača i indekse (možemo ih “miješati”).

Veza između aritmetike pokazivača i indeksiranja je

$$p + i = \&p[i], \quad *(p + i) = p[i],$$

gdje je **i** cijeli broj (smije biti i negativan).

Za razliku od “običnog” polja, ako **p** nije definiran kao konstantan pokazivač, smijemo mu mijenjati vrijednost.

Pokazivači i jednodimenzionalna polja (nast.)

Oprez! Kod ovih operacija **nema** nikakve **kontrole indeksa** — jesmo li u korektno rezerviranim **granicama memorije**!

Primjer. Aritmetika pokazivača za **jednodimenzionalna** polja.

```
char *px, x[128];

px = &x[0];          /* Isto kao px = x; */
*(px + 3) = 'd';      /* Isto kao x[3] = 'd'; */
x++;                 /* GRESKA - konst. pointer */
px++;                /* Isto kao px = &x[1]; */
*(px + 1) = 'b';      /* Isto kao px[1] = 'b';
                       ekv. s x[2] = 'b'; */
*(px + 130) = 'z';    /* Formalno, NIJE GRESKA,
                       ali gazimo po memoriji! */
```


Polje kao argument funkcije

Polje smije biti argument funkcije. Funkcija tada

- ne dobiva kopiju čitavog polja, već
- samo kopiju pokazivača na prvi element polja.

U pozivu funkcije, smijemo navesti

- ime polja (bez uglatih zagrada), jer ono predstavlja pokazivač na prvi element, ili
- pokazivač na bilo koji drugi element polja, ili
- pokazivač na bilo koji objekt odgovarajućeg tipa.

Unutar funkcije elementi polja mogu se

- dohvatiti i promijeniti, korištenjem indeksa polja ili aritmetike pokazivača.

Jednodimenzionalno polje kao argument

Funkciju `f` koja uzima jednodimenzionalno polje `v` tipa `tip` kao argument, možemo deklarirati na dva načina:

```
f(tip v[])      ili      f(tip *v)
```

U prvom načinu ne treba navesti dimenziju.

Drugi način direktno kaže da je `v` pokazivač na objekt tipa `tip` i podrazumijeva se da je to adresa “prvog radnog” elementa polja u funkciji, tj. `v = &v[0]`.

Ako ne želimo da funkcija mijenja elemente polja unutar funkcije, onda pišemo:

```
f(const tip v[])      ili      f(const tip *v)
```

Polje kao argument funkcije (nastavak)

Primjer. Polje kao argument funkcije i **dozvoljeni** pozivi.

```
char z[100];  
void f(char *);  
...  
f(z);          /* isto sto i f(&z[0]); */  
f(&z[50]);
```

U zadnjem pozivu, funkcija **f** dobiva **z[50]** kao “**prvi radni**” element polja — funkcija ga **vidi** kao element s indeksom **[0]**.

Oprez: funkcija “**nema pojma**” o stvarnoj **duljini** polja (nema kontrole **indeksa** ili **broja** elemenata) — moramo sami **paziti** da ne “gazimo” po memoriji.

Aritmetika pokazivača i višedimenzionalna polja

Indeksiranje **jednodimenzionalnog** polja:

```
double x[10];
```

$$\bullet \quad x[i] \iff *(x + i).$$

Indeksiranje **višedimenzionalnog** polja:

```
double x[10][20];
```

$$\bullet \quad x[i][j] \iff *(x[i] + j) \iff (*(x + i) + j).$$

$x[i]$ je **pokazivač** na prvi element u polju $x[i]$, a to je $x[i][0]$. Dakle, $x[i] = \&x[i][0]$, kao za svako polje.

Također, $x + 1$ je **pokazivač** na sljedeći redak (polje) $x[1]$.

Višedimenzionalna polja kao argumenti

Pri deklaraciji višedimenzionalnog polja kao argumenta funkcije mogu se koristiti ekvivalentne forme:

```
tip_pod ime[izraz_1][izraz_2]...[izraz_n]
```

ili bez prve dimenzije

```
tip_pod ime[][izraz_2]...[izraz_n]
```

ili pomoću pokazivača

```
tip_pod (*ime)[izraz_2]...[izraz_n]
```

U definiciji polja (tamo gdje se rezervira memorija), mora biti prvi oblik ili inicijalizacija.

Polje kao argument funkcije — napomene

Napomena. Funkcija dobiva samo **pokazivač** na **jedan** objekt odgovarajućeg tipa, i

- 🔴 “**nema pojma**” je li to (**izvan** funkcije) **zasebni** objekt ili **element** nekog **polja**.

Koristeći

- 🔴 **ekvivalenciju indeksa** u polju i **aritmetike** pokazivača, **unutar** funkcije, taj **pokazivač** možemo interpretirati kao
- 🔴 **pokazivač** na **prvi element** polja odgovarajućeg tipa.

Primjer. Funkcija “**nema pojma**” o stvarnoj duljini polja. Operator **sizeof** vraća **stvarnu** duljinu polja samo tamo gdje je polje **definirano**, ali **ne** i za polje koje je **argument** funkcije (duljina se “ne vidi” — pogledajte raniji primjer za **readmat**).

Dinamičko rezerviranje memorije

Dinamičko rezerviranje memorije — uvod

Dosad smo upoznali (i koristili) samo objekte za koje se

- memorija rezervira odmah prilikom definicije objekta.

Znamo da postoje dvije vrste takvih objekata:

- automatski — rezervacija pri svakom ulasku u blok,
- statički — rezervacija jednom, na početku izvršavanja programa.

Postoji i treća vrsta objekata — tzv. dinamički objekti. Njih kreiramo po potrebi, za vrijeme izvršavanja programa,

- koristeći dinamičko rezerviranje (alokaciju) memorije.

Dinamičke objekte možemo i uništiti,

- oslobađanjem alocirane memorije.

Dinamička alokacija memorije (nastavak)

Svrha? **Dinamička** alokacija memorije služi za kreiranje

- **polja** kod kojih **dimenzija nije unaprijed** poznata, (tu se vidi prava korist **ekvivalencije pokazivača** i **jednodimenzionalnih polja**),
- **dinamičkih** struktura podataka — na pr. **vezane liste**, **stabla**, i sl.

Dinamički objekti “**žive**” u bloku memorije koji se zove “**hrpa**” (engl. “**runtime heap**”).

Funkcije za alokaciju i dealokaciju memorije deklarirane su u datoteci zaglavlja **<stdlib.h>** (standardna biblioteka):

- **alokacija**: funkcije **malloc**, **calloc**, **realloc**,
- **dealokacija**: funkcija **free**.

Alokacija memorije — funkcija `malloc`

Memoriju možemo **dinamički** alocirati funkcijom `malloc`.

```
void *malloc(size_t n);
```

gdje je `size_t` cjelobrojni tip bez predznaka (za spremanje “**veličina**” objekata) definiran u `<stddef.h>`, a

• **n** = **ukupan broj** bajtova koji treba alocirati.

Funkcija `malloc` rezervira **blok memorije** od **n** bajtova. Vraća:

• **pokazivač** na rezervirani blok memorije, ili

• `NULL`, ako zahtjev **nije** mogao biti ispunjen.

Vraćeni pokazivač je **generički**, tipa `void*` — **prije** upotrebe treba ga **eksplicitno konvertirati** u **potrebni tip** pokazivača (`cast` operatorom). Stvarno, **nije** nužno, ali — kao da **je**!

Alokacija memorije — funkcija `calloc`

Druga mogućnost za **dinamičku** alokaciju memorije je funkcija `calloc`.

```
void *calloc(size_t nobj, size_t size);
```

Funkcija `calloc` rezervira **blok memorije** za spremanje

- **nobj** objekata, od kojih svaki **pojedini** objekt ima veličinu **size**, tj. **ukupan** broj rezerviranih bajtova je **nobj * size**.
- Dodatno, **inicijalizira** cijeli rezervirani prostor na **nule**, preciznije, na **nul-znakove** (`'\0'`).

Kao i `malloc`, vraća **pokazivač** na rezervirani blok, ili `NULL`.

Dinamička alokacija memorije (nastavak)

Primjer. **Alokacija** memorije za **128** objekata tipa **double**.

```
double *p;  
...  
p = (double *) malloc(128 * sizeof(double));  
if (p == NULL) {  
    printf("Greska: alokacija nije uspjela!\n");  
    exit(-1);  
}
```

Može i ovako, s **inicijalizacijom** na nule:

```
p = (double *) calloc(128, sizeof(double));
```

Funkcija `exit` — ponavljanje

Napomena. Kod dinamičke alokacije memorije **uvijek** treba provjeriti je li alokacija **uspjela** ili **ne**: `if (p == NULL) ...`

Ako **nije** uspjela, obično nemamo što dalje raditi, već treba “**uredno**” **prekinuti** izvršavanje programa. Za to koristimo funkciju `exit` deklariranu u `<stdlib.h>` (v. **Prog 1**).

```
void exit(int status);
```

Poziv `exit(status);` **zaustavlja** izvršavanje programa i vrijednost `status` predaje **operacijskom sustavu**, tj.

☞ radi **isto** što i `return status;` u funkciji `int main`, s tim da funkciju `exit` možemo koristiti u bilo kojoj funkciji.

Standardno, `status ≠ 0` signalizira **grešku**.

Dealokacija memorije — funkcija free

Alociranu memoriju, nakon upotrebe, možemo osloboditi funkcijom `free`.

```
void free(void *p);
```

Funkcija `free` uzima pokazivač `p` na početak alociranog bloka memorije i oslobađa taj blok memorije.

Ako je `p == NULL`, onda ne radi ništa!

Oprez: funkcija `free` ne mijenja pokazivač `p`. Nakon poziva `free(p)`; taj pokazivač `p` i dalje pokazuje na (sad) oslobođeni dio memorije i taj dio memorije (tj. `*p`) se ne smije koristiti.

Najbolje je odmah iza poziva `free(p)`; staviti i `p = NULL;`.

Dinamičko kreiranje polja

Primjer. Program **dinamički** “kreira” **polje a** cijelih brojeva tipa **int**, s tim da se **broj n** elemenata polja **učitava**. Ispisuje **zbroj** svih elemenata u polju.

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

int main(void)
{
    int *a;    /* pokazivac na dinamičko polje */
    int i, n, zbroj;

    printf("Upisi broj elemenata polja a:");
    scanf("%d", &n);
```

Dinamičko kreiranje polja (nastavak)

```
if ((a = (int*) calloc(n, sizeof(int)))
    == NULL) {
    printf("Alokacija nije uspjela.\n");
    exit(-1); }
for (i = 0; i < n; ++i) {
    printf("Upisi element polja: ");
    scanf("%d", &a[i]); }
zbroj = 0;
for (i = 0; i < n; ++i)
    zbroj = zbroj + a[i];
printf("%d\n", zbroj);

free(a);  /* a = NULL; ne treba, gotovi smo. */
return 0; }
```


Realokacija memorije — funkcija `realloc`

Treća mogućnost za **dinamičku** alokaciju memorije je funkcija **`realloc`**. Služi za **promjenu veličine** već alociranog bloka.

```
void *realloc(void *p, size_t size);
```

Funkcija **`realloc`** **mijenja veličinu** objekta na kojeg pokazuje **`p`** na **zadanu** veličinu **`size`** (tj. “realocira memoriju”).

- ➊ Sadržaj objekta (**`*p`**) ostaje **isti** do **minimuma** stare i nove veličine (kopira se, po potrebi).
- ➋ Ako je **nova** veličina objekta **veća** od stare, dodatni prostor se **ne inicijalizira**.

Vraća **pokazivač** na **novorezervirani** prostor, ili **`NULL`**, ako zahtjev **nije** ispunjen (i tada **`*p`** ostaje **nepromijenjen**).

Realokacija memorije — funkcija realloc

Stvarna **svrha** funkcije **realloc** je **produljavanje** dinamičkih objekata (polja/nizova) **nepoznate** duljine.

U prethodnom primjeru za **calloc/malloc**,

- 🕒 **prvo** smo učitali **duljinu** niza **n**, a zatim smo **odjednom** rezervirali memoriju za **cijeli** niz.

Ako broj članova niza **ne znamo unaprijed**, već čitamo

- 🕒 **nepoznati** broj članova, do neke oznake za **kraj niza**,
- 🕒 za svaki **novi** član niza, funkcijom **realloc** **produljujemo** postojeći niz za po **jedan** član, počev od praznog niza.

Primjer za takvo kreiranje niza **brojeva** je na **vježbama**.

Isti princip možemo iskoristiti kod kreiranja **rječnika** (niza stringova) — kad dođemo na **sortiranje rječnika**.