

Programiranje 2

12. predavanje

Saša Singer

`singer@math.hr`

`web.math.pmf.unizg.hr/~singer`

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Pretprocesor:
 - Naredba `#include`.
 - Naredba `#define`.
 - Parametrizirana `#define` naredba.
 - Uvjetno uključivanje.
- Pregled standardne C biblioteke.
 - Standardne datoteke zaglavlja `*.h`.
 - Matematičke funkcije iz `<math.h>`.
 - Neke funkcije iz `<stdlib.h>`.
 - Mjerenje vremena — neke funkcije iz `<time.h>`.

Informacije — podsjetnik, usmeni

Napomena o podsjetniku = “šalabahteru” na službenom webu:

- Nemojte ga nositi na kolokvij — to je zabranjeno!
- Dobit ćete ga na kolokviju.

Pogledajte unaprijed što sve piše tamo, da se lakše snađete!

Ako netko poželi izaći na usmeni (nakon rezultata kolokvija),

- dogovor za usmeni je u vrijeme uvida u kolokvije.

Ako nisam na uvidima — javite mi se mailom taj dan!

Pretprocesor

Općenito o pretprocesoru

Prije prevođenja izvornog kôda u objektni ili izvršni kôd izvršavaju se pretprocesorske naredbe.

- Svaka linija izvornog kôda koja započinje znakom # (osim u komentaru) predstavlja jednu pretprocesorsku naredbu.
- Pretprocesorska naredba završava krajem linije, a ne znakom ;.

Opći oblik pretprocesorske naredbe je

```
#naredba parametri
```

One nisu sastavni dio jezika C, te ne podliježu sintaksi jezika.

Neke od pretprocesorskih naredbi su: #include, #define, #undef, #if, #ifdef, #ifndef, #elif, #else, #endif.

Naredba #include

Naredba `#include` može se pojaviti u dva oblika:

```
#include "ime_datoteke"
```

ili

```
#include <ime_datoteke>
```

U oba slučaja

- 🔴 pretprocesor **briše** liniju s `#include` naredbom
- 🔴 i uključuje **sadržaj datoteke** `ime_datoteke` u izvorni kôd, na mjestu `#include` naredbe.

Ta datoteka **smije** imati **svoje** pretprocesorske naredbe, koje će se, također, “obraditi” (= uključi tekst, “prođi kroz njega”).

Naredba #include (nastavak)

Gdje se traži navedena datoteka?

Ako je `ime_datoteke` navedeno unutar navodnika "",

- onda pretprocesor traži datoteku u direktoriju (folderu, mapi) u kojem se nalazi izvorni program.

Ako je `ime_datoteke` navedeno između znakova < > ,

- to signalizira da se radi o sistemskoj datoteci (poput `stdio.h`), pa će pretprocesor tražiti datoteku na mjestu određenom operacijskim sustavom.

Naredba #define

Naredba `#define` ima oblik

```
#define ime tekst_zamjene
```

i **definira** simbol `ime` kao “živi” objekt.

Ako je zadan i `tekst_zamjene` (ne mora), onda `ime` postaje tzv. “**makro-naredba**”. U tom slučaju, pretprocesor će

- od mjesta `#define` naredbe, **do kraja datoteke**, svaku pojavu imena `ime` zamijeniti tekстом `tekst_zamjene`.

Do **zamjene neće doći** unutar

- znakovnih nizova** (string konstanti), tj. unutar para **dvostrukih** navodnika `"`,
- komentara**, tj. unutar susjednog para znakova `/*` i `*/`.

Parametrizirane makro–naredbe

U parametriziranoj makro–naredbi,

- simboličko ime i tekst_zamjene sadrže tzv. formalne argumente.

```
#define ime(argumenti) tekst_zamjene
```

- Argumenti se pišu u zagradama () i odvajaju zarezom.

Prilikom poziva makro–naredbe, ovi formalni argumenti se

- zamjenjuju stvarnim argumentima navedenim u pozivu.

Zamjena ide na razini teksta — “tekst, umjesto teksta”!

Makro–naredba je efikasnija od funkcije, jer u njoj nema prijenosa argumenata, ali može izazvati neželjene efekte.

Primjer parametrizirane makro-naredbe

Primjer. Makro-naredba za nalaženje **većeg** od dva argumenta

```
#define max(A, B) ((A) > (B) ? (A) : (B))
```

Ovdje su **A** i **B** **formalni** argumenti.

Ako se u kôdu pojavi naredba

```
x = max(a1, a2);
```

pretprocesor će je zamijeniti naredbom

```
x = ((a1) > (a2) ? (a1) : (a2));
```

Formalni argumenti (parametri) **A** i **B** **zamijenjeni** su **stvarnim** argumentima **a1** i **a2** — na razini **teksta**.

Primjer parametrizirane makro–naredbe (nast.)

Ako na drugom mjestu imamo naredbu

```
x = max(a1 + a2, a1 - a2);
```

ona će biti zamijenjena s

```
x = ((a1 + a2) > (a1 - a2) ? (a1 + a2) : (a1 - a2));
```

Napomena. Sličnost makro–naredbe i funkcije može **zavarati**.

- 🔴 Kod makro–naredbe **nema kontrole tipa** argumenata.
- 🔴 Supstitucija argumenata je “**doslovna**” na razini **teksta**, što može izazvati **neželjene** efekte (v. sljedeću stranicu).

Razlika makro–naredbe i funkcije

Ako makro–naredbu `max` pozovemo na sljedeći način

```
x = max(i++, j++);
```

nakon supstitucije dobivamo

```
x = ((i++) > (j++) ? (i++) : (j++));
```

Posljedica: jedna od varijabli `i`, `j` neće biti inkrementirana **samo jednom** (kao kod poziva funkcije) — **veća** varijabla bit će inkrementirana **dva** puta(!), a rezultat `x` ovisi o prevoditelju.

Napomena. Neke “funkcije” deklarirane u `<stdio.h>` su, zapravo, makro–naredbe — na primjer, `getchar` i `putchar`. Isto tako, funkcije u `<ctype.h>` izvedene su, uglavnom, kao makro–naredbe.

Makro-naredbe i prioritet operacija

Primjer. Različite makro-naredbe za kvadriranje argumenta.

```
#include <stdio.h>

#define SQ1(x) x*x
#define SQ2(x) (x)*(x)
#define SQ3(x) ((x)*(x))

int main(void) {
    printf("%d\n", SQ1(1+1));
    printf("%d\n", 4/SQ2(2));
    printf("%d\n", 4/SQ3(2));
    return 0;
}
```

Makro-naredbe i prioritet operacija (nastavak)

Ovaj program ispisuje:

3
4
1

Objašnjenje.

● SQ1: `#define SQ1(x) x*x`

`x = 1+1` i doslovnom supstitucijom u SQ1 dobivamo

$$1+1*1+1 = (\text{prioritet!}) = 1+1+1 = 3$$

● SQ2: `#define SQ2(x) (x)*(x)`

`x = 2` i supstitucijom u `4/SQ2(2)` dobivamo

$$4/(2)*(2) = 4/2*2 = 2*2 = 4$$

Makro–naredbe i prioritet operacija (nastavak)

● SQ3: `#define SQ3(x) ((x)*(x))`

`x = 2` i supstitucijom u `4/SQ3(2)` dobivamo

$$4/((2)*(2)) = 4/(2*2) = 4/4 = 1$$

Zato se u parametriziranim makro–naredbama koristi **gomila** zagrada — da se osigura **korektan prioritet** operacija!

Tek zadnji **SQ3** korektno daje **kvadrat** argumenta u **svim** slučajevima, a to se htjelo!

Naredba #define i više linija teksta

U #define naredbi, `tekst_zamjene` ide

- od kraja imena koje definiramo, do kraja linije.

Ako želimo da `ime` bude zamijenjeno s više linija teksta,

- moramo koristiti obratnu kosu crtu (`\`) na kraju svakog reda, osim posljednjeg.

Kao i prije, `\` znači da se red nastavlja na početku sljedećeg.

Primjer. Makro za inicijalizaciju polja možemo definirati ovako (nije jako čitljivo i bolje je `ne` koristiti):

```
#define INIT(polje, dim) for(int i=0;\n        i < (dim); ++i) \n        (polje)[i] = 0.0;
```

Naredba #undef

Definicija nekog imena može se **poništiti** korištenjem **#undef** naredbe. Nakon naredbe

```
#undef ime
```

simbol **ime** više **nije definiran** (“nije živ”).

Primjer. Redefinicija konstante **M_PI** (vrijednost π u **double**)

```
#include <math.h>
    /* math.h definira M_PI kao 3.14... */
#undef M_PI
#define M_PI (4.0*atan(1.0))
```

Provjeru je li simbol **ime** **definiran** ili **ne**, možemo napraviti naredbama **#ifdef**, odnosno, **#ifndef** (v. malo kasnije).

Uvjetno uključivanje kôda — #if, #endif

Pretprocesorske naredbe `#if`, `#endif`, `#else`, `#elif` služe za **uvjetno uključivanje** (ili **isključivanje**) pojedinih dijelova programa.

Uvjetno uključivanje kôda naredbama `#if`, `#endif` ima oblik:

```
#if uvjet
    blok naredbi
#endif
```

Ako je **uvjet ispunjen**, onda će

- blok naredbi između `#if uvjet` i `#endif` biti **uključen** u izvorni kôd — koji ide prevoditelju na prevođenje.

Ako **uvjet nije** ispunjen, taj blok **neće** biti uključen, tj. u prevoditelj ide tekst **bez** tog bloka kôda.

Uvjetno uključivanje kôda (nastavak)

Opres: ovaj `#if` radi na nivou **teksta** izvornog kôda i **nije zamjena** za `if` naredbu u samom jeziku C.

- Uvjet koji se pojavljuje u `#if` naredbi je **konstantan cjelobrojni izraz**. Nula se interpretira kao **laž**, a svaka vrijednost **različita od nule** kao **istina**.
- Najčešća svrha uključivanja/isključivanja je **uključiti** neku **datoteku zaglavlja**, ako neko **ime nije** bilo **definirano** ranije (ime = simbol, ili pretprocesorska “varijabla”).

Za provjeru **definiranosti** nekog **imena** (simbola) služi izraz

```
defined(ime)
```

koji daje **1** — ako je **ime** **definirano**, a **0** — ako **nije**.

Uvjetno uključivanje kôda (nastavak)

Najčešće se koristi provjera “je li neko ime nedefinirano”. Tu smijemo koristiti i operator negacije !

```
!defined(ime)
```

Primjer. Provjera nedefiniranosti nekog “privatnog imena” za uključivanje odgovarajuće datoteke zaglavlja datoteka.h

```
#if !defined(__datoteka.h__)  
    #include "datoteka.h"  
#endif
```

s tim da se na početku datoteka.h definira “privatno ime”

```
#define __datoteka.h__
```

Naredbe #ifdef i #ifndef

To je standardna tehnika kojom se izbjegava višestruko uključivanje .h datoteka (i potencijalna beskonačna rekurzija).

Konstrukcije #if defined i #if !defined se vrlo često pojavljuju u praksi, pa postoje “pokrate” u obliku naredbi  #ifdef i #ifndef (respektivno).

Usput, zagrade oko imena simbola (ime) nisu obavezne.

Primjer. Prethodnu provjeru možemo napisati u obliku

```
#ifndef __datoteka.h__
    #include "datoteka.h"
#endif
```

a na početku datoteka.h se definira ime __datoteka.h__ .

Naredbe `#else` i `#elif`

Složene `if` naredbe za uključivanje ili isključivanje pojedinih dijelova kôda (u pretprocesoru) grade se pomoću naredbi `#else` i `#elif`.

- Značenje `#else` je isto kao značenje `else` u C-u.
- Značenje `#elif` je isto kao značenje `else if`.

Oprez: Sve ove naredbe rade na nivou teksta programa i

- nisu zamjena za odgovarajuće naredbe u samom jeziku C!

Uvjetno uključivanje kôda — Primjer 1

Primjer. Za kôd koji treba raditi na **raznim** operacijskim sustavima, testira se koji je **operacijski** sustav u pitanju, kroz ime (ili simbol) **SYSTEM**, da bi se uključilo **ispravno** zaglavlje.

```
#if SYSTEM == SYSV
    #define DATOTEKA "sysv.h"
#elif SYSTEM == BSD
    #define DATOTEKA "bsd.h"
#elif SYSTEM == MSDOS
    #define DATOTEKA "msdos.h"
#else
    #define DATOTEKA "default.h"
#endif
#include DATOTEKA
```

Uvjetno uključivanje kôda — Primjer 2

Primjer. U fazi **razvoja** programa **korisno** je ispisivati razne **međurezultate**, za kontrolu **korektnosti** izvršavanja programa. U **završnoj** verziji programa, sav taj suvišan ispis treba **eliminirati**. Za to se koristi standardni simbol **DEBUG**.

```
...
scanf("%d", &x);
#ifdef DEBUG
    printf("Debug: x = %d\n", x); // testiranje
#endif
```

Pitanje. Može li se **definirati** neki **simbol** (poput **DEBUG**) “izvana” — prilikom **prevođenja** programa?

- Svi **standardni** prevoditelji imaju **-Dsimbol** opciju koja omogućava da se **simbol** **definira** na **komandnoj** liniji.

Definiranje simbola kod prevođenja

Primjer. Pretpostavimo da je program, koji sadrži prikazani dio kôda, smješten u `prog.c`. Tada će prevođenje naredbom

```
cc -o prog prog.c
```

proizvesti program u kojem ispis varijable `x` nije uključen.

Međutim, prevođenje naredbom

```
cc -DDEBUG -o prog prog.c
```

dat će izvršni kôd koji **uključuje** `printf` naredbu, jer je simbol `DEBUG` definiran.

Napomena. Ovu mogućnost `-Dsimbol` ima i `Code::Blocks`, ali **samo** kad se radi s **projektima**. Potražite i probajte!

Standardna C biblioteka

Općenito o zaglavljima

Standardna C biblioteka sadrži

- niz funkcija, tipova i makro-naredbi.

Pripadne deklaracije nalaze se u sljedećim standardnim zaglavljima (redom kao u KR2):

```
<assert.h>   <float.h>   <math.h>   <stdarg.h>
<stdlib.h>   <ctype.h>   <limits.h> <setjmp.h>
<stddef.h>   <string.h>  <errno.h>  <locale.h>
<signal.h>   <stdio.h>   <time.h>
```

Može biti još toga, poput `<complex.h>`.

Nastavak: Pregled matematičke biblioteke `<math.h>` i neke korisne stvari iz `<stdlib.h>` i `<time.h>`.

Matematičke funkcije u <math.h>

Konvencija: x i y su tipa `double`, a n je tipa `int`. Sve funkcije vraćaju rezultat tipa `double`.

Funkcija	Značenje
<code>sin(x)</code>	$\sin x$
<code>cos(x)</code>	$\cos x$
<code>tan(x)</code>	$\operatorname{tg} x$
<code>asin(x)</code>	$\arcsin x \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \quad x \in [-1, 1]$
<code>acos(x)</code>	$\arccos x \in [0, \pi], \quad x \in [-1, 1]$
<code>atan(x)</code>	$\operatorname{arctg} x \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$
<code>atan2(y, x)</code>	(x, y) su koordinate točke u ravnini, vraća $\operatorname{arctg} \frac{y}{x} \in [-\pi, \pi]$, jer prepoznaje kvadrant

Matematičke funkcije u `<math.h>` (nastavak)

Funkcija	Značenje
<code>sinh(x)</code>	$\operatorname{sh} x$
<code>cosh(x)</code>	$\operatorname{ch} x$
<code>tanh(x)</code>	$\operatorname{th} x$
<code>exp(x)</code>	e^x
<code>log(x)</code>	$\ln x, \quad x > 0$
<code>log10(x)</code>	$\log_{10} x, \quad x > 0$
<code>pow(x, y)</code>	x^y — greška ako $x = 0$ i $y \leq 0$, ili $x < 0$ i y nije cijeli broj
<code>sqrt(x)</code>	$\sqrt{x}, \quad x \geq 0$

Matematičke funkcije u `<math.h>` (nastavak)

Funkcija	Značenje
<code>ceil(x)</code>	$\lceil x \rceil$, u double formatu najmanji cijeli broj $\geq x$
<code>floor(x)</code>	$\lfloor x \rfloor$, u double formatu najveći cijeli broj $\leq x$
<code>fabs(x)</code>	$ x $
<code>ldexp(x, n)</code>	$x \cdot 2^n$
<code>frexp(x, int *exp)</code>	ako je $x = y \cdot 2^n$, uz $y \in [\frac{1}{2}, 1)$, vraća y , a eksponent n sprema u <code>*exp</code> . Ako je $x = 0$, onda je $y = n = 0$.

Matematičke funkcije u `<math.h>` (nastavak)

Funkcija

Značenje

`modf(x, double *ip)`

rastavlja x na cjelobrojni i razlomljeni dio, oba istog predznaka kao x . Razlomljeni dio vrati, a cjelobrojni dio spremi u `*ip`.

`fmod(x, y)`

realni (floating-point) ostatak dijeljenja x/y , istog znaka kao x . Ako je $y = 0$, rezultat ovisi o implementaciji.

Razlika atan i atan2

Razlika između funkcija

```
double atan(double x);  
double atan2(double y, double x);
```

atan(x) vraća

• $\operatorname{arctg} x \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right],$

atan2(y, x) interpretira argumente (paziti na poredak!)

• kao **koordinate** točke (x, y) u ravnini i vraća

• $\operatorname{arctg} \frac{y}{x} \in [-\pi, \pi],$ (radi i za $x = 0$, pita **prije** dijeljenja!)

jer prepoznaje **kvadrant** u kojem je točka (x, y) .

Razlika atan i atan2 (nastavak)

Primjer. Program

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
int main(void) {
    double x = -1.0, y = -1.0;
    printf("%f\n", atan(y / x));
    printf("%f\n", atan2(y, x));
    return 0; }
```

ispisuje

0.785398
-2.356194

Točni rezultati su $\pi/4$, $-3\pi/4$ (treći kvadrant).

Funkcije floor i ceil

Uočite da funkcije za “najmanje” i “najveće” cijelo

```
double floor(double x);  
double ceil(double x);
```

vraćaju rezultat tipa `double`, a **ne** `int`.

Primjer. Rezultat ispisa sljedećeg dijela kôda

```
printf("%g\n", floor(5.2));  
printf("%g\n", floor(-5.2));  
printf("%g\n", ceil(5.2));  
printf("%g\n", ceil(-5.2));
```

je: `5`, `-6`, `6`, `-5` (zbog `%g` formata).

Funkcija fmod

Funkcija

```
double fmod(double x, double y);
```

vraća

- “realni” ostatak pri dijeljenju x/y ,
- s tim da ostatak ima isti predznak kao x .

Princip je isti kao kod cjelobrojnog dijeljenja,

$$x = \text{cjelobrojni kvocijent} \cdot y + \text{ostatak},$$

s tim da je

$$|\text{ostatak}| < |y|,$$

ili

$$\text{ostatak} = x - ((\text{int})(x/y)) \cdot y.$$

Funkcija fmod (nastavak)

Primjer. Sljedeći odsječak kôda

```
printf("%g, ", fmod(5.2, 2.6));  
printf("%g, ", fmod( 5.57,  2.51));  
printf("%g, ", fmod( 5.57, -2.51));  
printf("%g, ", fmod(-5.57,  2.51));  
printf("%g\n", fmod(-5.57, -2.51));
```

ispisuje

0, 0.55, 0.55, -0.55, -0.55

zbog $(\text{int})(5.57/2.51) = 2$ i $5.57 = 2 \cdot 2.51 + 0.55$, itd.

Funkcija frexp

Funkcija

```
double frexp(double x, int *exp);
```

rastavlja broj x na binarnu “mantisu” i binarni eksponent.

Primjer. Sljedeći odsječak kôda

```
double x = 8.0;
int exp_2;
printf("%f, ", frexp(x, &exp_2));
printf("%d\n", exp_2);
```

ispisuje

```
0.500000, 4
```

Funkcije exp, log, log10 i pow

```
double exp(double x);  
double log(double x);  
double log10(double x);  
double pow(double x, double y);
```

Primjer. Sljedeći odsječak kôda

```
printf("%g\n", log(exp(22)));  
printf("%g\n", log10(pow(10.0, 22.0)));
```

ispisuje

22

22

Neke funkcije iz <stdlib>

Datoteka zaglavlja <stdlib.h> ima nekoliko vrlo korisnih funkcija. Na primjer:

- `qsort` — QuickSort algoritam za općenito sortiranje niza podataka,
- `bsearch` — Binarno traženje zadanog podatka u već sortiranom nizu.

U pozivu ovih funkcija, kao stvarni argument, moramo zadati

- funkciju za uspoređivanje podataka u nizu.

Funkcija za usporedbu dva objekta

Funkcija za usporedbu, nazovimo ju `comp`, prima **pokazivače** na **dva** objekta koje treba **usporediti** i vraća rezultat tipa `int`.

```
int comp(const nesto *a, const nesto *b);
```

Vraćeni rezultat određuje međusobni **poredak** objekata `*a` i `*b` (isto kao kod funkcije `strcmp` za usporedbu stringova):

• $\text{comp}(a, b) < 0 \iff *a < *b$ (`*a` je **ispred** `*b`),

• $\text{comp}(a, b) = 0 \iff *a = *b$ (`*a` je **jednak** `*b`),

• $\text{comp}(a, b) > 0 \iff *a > *b$ (`*a` je **iza** `*b`).

Funkcija `qsort` sortira niz **uzlazno**, prema tako zadanom poretku. Za **obrnuti** (= “silazni”) poredak, treba **okrenuti** predznak rezultata funkcije `comp` (zamjena “ispred” \leftrightarrow “iza”).

Funkcija qsort

Funkcija za **sortiranje** niza **QuickSort** algoritmom:

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

Primjer. Dio programa za uzlazno sortiranje **stringova**

```
char rjecnik[3][20] = {"po", "ut", "sri"};  
int i;  
  
qsort(rjecnik, 3, 20, strcmp);  
for (i = 0; i < 3; ++i)  
    puts(rjecnik[i]);
```

Funkcija za usporedbu stringova je baš **strcmp**.

Funkcija bsearch

Funkcija za **binarno traženje** zadanog podatka u **sortiranom** nizu (prema poretku zadanom funkcijom **comp**):

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

Vraća **pokazivač** na **nađeni** podatak (ako ga ima), ili **NULL**.

Primjer.

```
printf("%s\n",  
       bsearch("ut", rjecnik, 3, 20, strcmp));
```

Pripadni **indeks** možemo izračunati aritmetikom pokazivača, samo treba **paziti** na **tipove**.

Korektno baratanje s tipovima

Na **ovako** napisan program (v. `qs_1.c`) compiler se “**buni**” na nekoliko mjesta, upozorenjem

🔴 zbog **miješanja** tipova `char *` i `void *`.

Program **radi** korektno, ali ... **nije lijepo!**

Popravak. Funkciju `strcmp` za usporedbu stringova treba “**zatvoriti**” u funkciju **korektnog prototipa** — nazovimo ju **usporedi**, a iznutra **pretvorimo** tipove pokazivača:

```
int usporedi(const void *a, const void *b)
{
    return strcmp((char *) a, (char *) b);
}
```

Korektno baratanje s tipovima (nastavak)

Poziv funkcije `qsort` onda glasi:

```
qsort(rjecnik, 3, 20, usporedi);
```

Sasvim analogno, povratnu vrijednost funkcije `bsearch` treba propisno “`castati`” u `char *`

```
printf("%s\n",  
      (char *) bsearch("ut", rjecnik, 3, 20, usporedi));
```

Na popravljeni program (v. `qs_1a.c`) compiler “`nema teksta`”.

Napomena. Kod sortiranja rječnika zamjenama pokazivača, a ne stringova (kao `ovdje`), treba paziti na tipove u `usporedi`!

Elegantnije rješenje = pretvoriti tip u pozivu

Elegantnije i čitljivije rješenje je (v. KR2, str. 119–121):

- funkcija za usporedbu ima **korektne** tipove argumenata,
- u **pozivu** `qsort` i `bsearch` pretvoriti **tip** funkcije u zadani.

Dakle, funkcija za usporedbu stringova je baš `strcmp`, a poziv izgleda ovako (v. `qs_1b.c`):

```
qsort(rjecnik, 3, 20,  
      (int (*)(const void*, const void*)) strcmp);
```

Još **preglednije** je uvesti **ime tipa** za funkciju (v. `qs_1c.c`):

```
typedef int (*Comp_fun) (const void*, const void*);  
qsort(rjecnik, 3, 20, (Comp_fun) strcmp);
```

Definiranje kriterija sortiranja

Primjer. Sortiranje polja cijelih brojeva (v. `qs_2c.c`, `qs_3.c`).

```
typedef int (*Comp_fun) (const void*, const void*);

int main(void) {
    int i, polje[4] = {1, 3, -4, 2};

    qsort(polje, 4, sizeof(int),
          (Comp_fun) usporedi); /* Cast funkcije */

    for (i = 0; i < 4; ++i)
        printf("%d\n", polje[i]);
    return 0;
}
```

Funkcija usporedi — *za uzlazno sortiranje*

Funkcija `usporedi` za **uspoređivanje** cijelih brojeva (uzlazno):

```
int usporedi(const int *p_a, const int *p_b)
{
    /* Nije dobro: return *p_a - *p_b;
       jer rezultat ne mora biti korektno prikaziv! */

    if (*p_a < *p_b)
        return -1;
    else if (*p_a > *p_b)
        return 1;
    else
        return 0;
}
```

Funkcije rand i srand

Funkcije za generiranje “slučajnih” cijelih brojeva:

```
int rand(void);  
void srand(unsigned int seed);
```

Funkcija `rand()` vraća

- tzv. “pseudo-slučajni” cijeli broj u rasponu od 0 do `RAND_MAX`, s tim da `RAND_MAX` mora biti barem $2^{15} - 1 = 32767$ (tj. 16-bitni `int`, bez negativnih).

Funkcija `srand(seed)`

- postavlja tzv. “sjeme” za generator “pseudo-slučajnih” brojeva na zadanu vrijednost `seed`.

Standardno “sjeme” je 1, ako ga ne postavimo sami!

Funkcije rand i srand (nastavak)

Primjer.

```
unsigned int seed; int i;

printf("%d\n", RAND_MAX);    /* 32767 */

scanf("%u", &seed);
srand(seed);

for (i = 1; i <= 10; ++i)
    printf(" %6d\n", rand());
```

Napomene o svrsi generatora “pseudoslučajnih” brojeva,
🕒 uložiti i ispravnom korištenju sjemena (**seed**).

Povećanje raspona slučajnih brojeva

Povećanje **raspona** na “dvostruki” (kvadratni), ako je **prikaziv**:

```
int randint(void) {  
    return RAND_MAX * rand() + rand(); }  
}
```

Još **bolje** — daje raspon od 0 do $(RAND_MAX + 1)^2 - 1$:

```
int randint(void) {  
    static int RAND_BASE = RAND_MAX + 1  
    return RAND_BASE * rand() + rand(); }  
}
```

Ako **znamo** da je $RAND_MAX = 2^{15} - 1$, može s **pomakom**:

```
int randint(void) {    /* int od 0 do 2^30 - 1 */  
    return ( rand() << 15 ) + rand(); }  
}
```

Transformacije slučajnih cijelih brojeva

Skaliranje nenegativnog `randint` na zadani interval $[l, u]$:

```
int randint_interval(int l, int u) {  
    return l + randint() % (u - l + 1);  
}
```

Za dobivanje “uniformno” distribuiranih realnih brojeva iz intervala $[0, 1]$, bitno je znati `RANDINT_MAX` (za naš `randint`):

```
double rand_double() {  
    return (double) randint() / RANDINT_MAX;  
}
```

Primjer implementacije: v. `rand_impl.c` na `RAND_Implem`.

Savjet: Ako vam **zaista** treba, uzeti **bolji** generator (**ima toga**)!

Mjerenje vremena

Datoteka zaglavlja <time.h>

U datoteci zaglavlja <time.h> deklarirani su **tipovi** i **funkcije** za manipulaciju

- **anima**, **datumima** i **vremenom**.

Detaljnije ćemo opisati samo funkcije za **vrijeme**, s ciljem:

- kako napraviti jednostavnu “štopericu” za **vrijeme izvršavanja** pojedinih dijelova programa.

Za početak, deklarirana su **dva aritmetička** tipa za prikaz vremena:

- **time_t** — za prikaz stvarnog **kalendarskog** vremena,

- **clock_t** — za prikaz **procesorskog** vremena.

Razlog za **dva** različita tipa = **različite** jedinice!

Stvarno vrijeme — funkcija time

Stvarno kalendarsko vrijeme mjeri se

- u nekim “standardnim” jedinicama za vrijeme (recimo, sekundama — nije bitno).

Funkcija za “očitanje” trenutnog vremena je:

```
time_t time(time_t *tp);
```

Vraća

- trenutno vrijeme, ili `-1`, ako vrijeme nije dostupno.

Ako pokazivač `tp` nije `NULL`,

- onda se izlazna vrijednost sprema i u `*tp`.

To je katkad zgodno napraviti — radi preglednosti.

Razlika vremena — funkcija difftime

Stvarna vrijednost rezultata nije naročito korisna (uključivo i jedinice). Najčešće je to

- broj sekundi proteklih od nekog “nultog” trenutka!

Za “štopericu” realnog vremena treba nam samo

- razlika vremena: vrijeme na kraju — vrijeme na početku.

Tome služi funkcija

```
double difftime(time_t time2, time_t time1);
```

koja vraća

- razliku `time2 - time1` izraženu u sekundama.

Primjer — mjerenje realnog vremena

Primjer. Treba izabrati neki posao koji **dovoljno dugo** traje, da nešto i vidimo. Zato koristimo **dvije** cjelobrojne petlje, da dobijemo “**kvadratnu**” složenost.

• Za **demo**, radimo oko $5 \cdot 10^9$ poziva funkcije **rand**.

Cijeli **program** za ovaj eksperiment je (v. **time_1.c**)

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

int main(void)
{
    int i, j;
    time_t t1, t2;
```


Primjer — mjerenje realnog vremena

```
time(&t1);    /* Moze i t1 = time(NULL); */

for (i = 1; i < 100000; ++i)
    for (j = 1; j < i; ++j)
        rand();

time(&t2);    /* Moze i t2 = time(NULL); */

printf("%g\n", difftime(t2, t1));

return 0;
}
```

Na mom računalu (uz Intelov C), rezultat je 96 (sekundi).

Procesorsko vrijeme — funkcija clock

Procesorsko vrijeme mjeri se

- u broju tzv. “otkucaja” procesorskog sata.

Funkcija za “očitanje” procesorskog vremena je:

```
clock_t clock(void);
```

Vraća

- procesorsko vrijeme (u broju otkucaja sata) od početka izvršavanja programa, ili `-1`, ako vrijeme nije dostupno.

Dodatno, simbolička konstanta `CLOCKS_PER_SEC` sadrži

- broj “otkucaja” procesorskog sata u jednoj sekundi.

Primjena u “štoperici” ide po istom principu razlike vremena.

Primjer — mjerenje procesorskog vremena

Primjer. Pretvaranje u **sekunde** realiziramo funkcijom `dsecnd`.
Cijeli **program** za ovaj eksperiment je (v. `time_2.c`)

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

double dsecnd (void) {
    return (double)( clock() ) / CLOCKS_PER_SEC;
}

int main(void)
{
    int i, j;
    double t1, t2, time;
```

Primjer — mjerenje procesorskog vremena

```
t1 = dsecnd();

for (i = 1; i < 100000; ++i)
    for (j = 1; j < i; ++j)
        rand();

t2 = dsecnd();

time = t2 - t1;
printf("%g\n", time);

return 0;
}
```

Rezultati za dva izvršavanja su 93.709, 93.759 (sekundi).

Pametniji primjer — trajanje QuickSorta

Primjer. Trajanje `qsort` algoritma iz `<stdlib.h>` na slučajno generiranom polju od 10^7 cijelih brojeva (v. `qs_time.c`).

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

```
/* Globalno polje x za sortiranje, zato da nema
   problema s velicinom programskog stoga za
   automatske varijable u funkcijama. */
```

```
#define MAXN 10000000    /* 107 */
```

```
int x[MAXN];
```

Trajanje QuickSorta (nastavak)

```
/* Funkcija za procesorsko vrijeme
   u sekundama. */

double dsecnd (void) {
    return (double)( clock() ) / CLOCKS_PER_SEC;
}

/* Slučajni broj iz [0, 230 - 1]. KORISTI da je
   RAND_MAX = 215 - 1. Dvostruki poziv rand(),
   uz pomak prvog broja za 15 bitova. */

int randint(void) {
    return ( rand() << 15 ) + rand();
}
```

Trajanje QuickSorta (nastavak)

```
    /* Usporedba cijelih brojeva za qsort. */  
  
int intcomp(const int *p_a, const int *p_b)  
{  
    /* Opcenito, NIJE dobro: return *p_a - *p_b;  
       jer rezultat ne mora biti korektno prikaziv! */  
  
    /* Medjutim, to RADI za brojeve iz [0, 2^30 - 1],  
       dobivene iz randint. */  
  
    if (*p_a < *p_b) return -1;  
    else if (*p_a > *p_b) return 1;  
    else return 0;  
}
```

Trajanje QuickSorta (nastavak)

```
    /* Tip funkcije za usporedbu, kod casta u pozivu
       qsort. */

typedef int (*Comp_fun) (const void*, const void*);

    /* Glavni program. */

int main(void)
{
    int n = MAXN;    /* Broj elemenata u polju. */
    int i;
    double start, stop;
```


Trajanje QuickSorta (nastavak)

```
    /* Generiranje slucajnog polja x s
       n intova. */

for (i = 0; i < n; ++i)
    x[i] = randint();

    /* Quicksort na polju x, sa stopericom
       oko poziva. */

start = dsecnd();
qsort(x, n, sizeof(int), (Comp_fun) intcomp);
stop = dsecnd();
```

Trajanje QuickSorta (nastavak)

```
    /* Provjera sortiranosti polja x. */  
  
    for (i = 1; i < n; ++i)  
        if (x[i-1] > x[i])  
            printf(" Greska na [%d, %d]\n", i-1, i);  
  
    /* Ispis vremena. */  
  
    printf(" n = %8d,  vrijeme = %9.3f [s]\n",  
          n, stop - start);  
    return 0;  
}
```

Na mom računalu (uz Intelov C), rezultat je 2.161 (sekundi).