Programiranje 2
6. predavanje

Saša Singer

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

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Stringovi (kraj od prošli puta):
  - Primjeri obrade stringova.
  - Korisne funkcije za pretvorbu iz `<stdlib.h>`.
- Pokazivači (drugi dio):
  - Polje pokazivača — deklaracija. Polje stringova.
  - Polje pokazivača i dvodimenzionalno polje.
  - Sortiranje rječnika zamjenana pokazivača.
  - Argumenti komandne linije.
  - Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova.
  - Pokazivač na funkciju.

Informacije

Trenutno nema bitnih informacija.

Stringovi (nastavak)

Sadržaj

- Stringovi (nastavak):
  - Primjeri obrade stringova.
  - Korisne funkcije za pretvorbu iz `<stdlib.h>`.
  - Implementacija funkcije `atoi`.
  - Obratna funkcija `itoa`.

Broj riječi u stringu

Primjer. Napisati funkciju koja broji riječi u stringu, koji je stigao kao argument. Riječ je niz znakova bez praznina, a riječi su odvojene bar jednom prazninom ili znakom `\t`.

U prolazu kroz string, koristimo logičku varijablu `razmak`, koja pamti jesmo li:

- u razmaku ("između" riječi) i tad je `TRUE` (`1`), ili
- u riječi i tad je `FALSE` (`0`).

Brojač riječi povećavamo na izlazu iz riječi.

```
int broj_rijeci(char *str)
{
    int brojac = 0;
    int razmak = TRUE;     /* Ispred prve rijeci. */
```

Broj riječi u stringu (nastavak)

```
    while (*str != '\0') {
        if (*str == ' ' || *str == '\t') {
            if (!razmak) {    /* Izlaz iz rijeci. */
                ++brojac;
                razmak = TRUE;
            }
        }
        else    /* Dio rijeci. */
            razmak = FALSE;
        ++str;
    }
    if (!razmak) ++brojac;    /* Zadnja rijec! */
    return brojac;
}
```

Broj riječi u stringu — glavni program

Primjer (nastavak). Glavni program (v. `br_rij_1.c`).

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

#define TRUE 1
#define FALSE 0

int broj_rijeci(char *str)
    ...
```

Broj riječi u stringu — glavni i izlaz

```
int main(void) {
    char s[] = "Ja sam mala Ruza, mamina sam kci.";
    printf("String:\n");
    printf("%s\n", s);
    printf("Broj rijeci: %d\n", broj_rijeci(s));
    return 0;
}
```

Izlaz:

```
String:
Ja sam mala Ruza, mamina sam kci.
Broj rijeci: 7
```

Zadatak. Napišite funkciju `broj_rijeci` koristeći indekse.

Broj riječi u stringu (nastavak)

Ovaj primjer možemo napraviti i tako da brojač povećavamo

- na ulazu u riječ (što je prirodnije = obavi posao odmah).

Prednost: onda ne treba paziti na zadnju riječ!

Umjesto `razmak`, zgodnije je koristiti logičku varijablu `rijec`, s obratnim značenjem:

- ako smo u riječi, vrijednost je `TRUE` (`1`),
- ako smo u razmaku ("između" riječi), onda je `FALSE` (`0`).

```
int broj_rijeci(char *str)
{
    int brojac = 0;
    int rijec = FALSE;     /* Ispred prve rijeci. */
```

Broj riječi u stringu (nastavak)

```
    for ( ; *str != '\0'; ++str)
        if (*str == ' ' || *str == '\t') {
            if (rijec)
                rijec = FALSE;    /* Moze BEZ if. */
        }
        else    /* Dio rijeci. */
            if (!rijec) {    /* Ulaz u rijec. */
                ++brojac;
                rijec = TRUE;
            }
    return brojac;
}
```

Umjesto `while` petlje, iskoristili smo `for` petlju.

Broj riječi u stringu — komentar

Napomena. Funkcija za brojanje riječi radi na principu konačnog automata. To je "jednostavniji" stroj od Turingovog — traka je samo ulaz, ne treba pisati na traku (v. Prog1).

Pripadni konačni automat ima samo 2 moguća stanja:

- unutar riječi,
- izvan riječi, tj. razmak "između" riječi.

Ta stanja smo pamtili u varijabli `razmak` ili `rijec`, koristeći samo 2 vrijednosti — 0 i 1.

Prijelaz iz stanja u stanje (ili ostanak u stanju) određen je samo trenutnim stanjem i sljedećim znakom na ulazu.

Povećanje brojača je dodatna akcija — koju radimo kod odgovarajućeg prijelaza iz jednog stanja u drugo.

Broj riječi u stringu — varijacije na temu

U prethodnoj funkciji, "separatori" riječi su samo 2 znaka:

- praznina (znak `' '`) i horizontalni tabulator (znak `'\t'`).

Svi ostali znakovi su dio riječi.

Varijacije. Promijenite funkciju `broj_rijeci` tako da "separatori" riječi budu i sljedeći znakovi:

- "bjeline" (kao u C-u za funkciju `scanf`), tj. znakovi:
  - `' '`, `'\t'`, `'\v'`, `'\n'`, `'\r'`, `'\f'`,
    (možete koristiti funkciju `isspace`),
- još i "interpunkcijski" znakovi:
  - `','`, `':'`, `';'`, `'.'`, `'!'`, `'?'`.

Kao i prije, svi ostali znakovi su dio riječi.

Broj riječi u stringu — zadaci

Zadaci. Napišite funkciju koja ima string kao argument i radi sljedeće:

- Broji riječi s određenim svojstvom:
  - samo "prave" riječi, sastavljene od slova (`alpha`),
  - samo "brojeve", sastavljene od dekadskih znamenki (`digit`),
  - samo operatore — po pravilima C-a.
    - Ovo nije lako: neki operatori su sastavljeni iz 2 znaka — poput `||`, `<<`, `<=`, `+=` (ima ih još).
- Nalazi najdulju riječ s određenim svojstvom i vraća pokazivač na početak te riječi (ili `NULL`, ako je nema).
  - Oprez: provjeru je li riječ najdulja (do sada) moramo napraviti na izlazu iz riječi.

Primjer — implementacija funkcije `atoi`

Primjer. Napišimo implementaciju funkcije `atoi` iz standardne biblioteke (zaglavlje `<stdlib.h>`). Ova funkcija pretvara niz znakova (string), koji sadrži zapis cijelog broja, u njegovu numeričku vrijednost. Funkcija treba:

- preskočiti sve početne bjeline (kao u funkciji `scanf`),
- učitati predznak (ako ga ima),
- i redom pročitati sve znamenke broja,

te ih pretvoriti u broj tipa `int` (v. `f_atoi.c`).

```
#include <ctype.h>

int f_atoi(const char s[]) {
    int i, n, sign;     /* Indeks, broj, predznak. */
```

Primjer — implementacija `atoi` (nastavak)

```
    /* Preskace sve bjeline, prazan for. */
    for (i = 0; isspace(s[i]); ++i) ;

    sign = (s[i] == '-') ? -1 : 1;   /* Predznak! */
    /* Preskoci predznak, ako ga ima. */
    if (s[i] == '+' || s[i] == '-') ++i;

    /* Hornerov algoritam za broj. */
    for (n = 0; isdigit(s[i]); ++i)
        n = 10 * n + (s[i] - '0');
    return sign * n;
}
```

Ovdje koristimo funkcije `isspace` i `isdigit` iz `<ctype.h>`.
Na primjer: `f_atoi("  -1234") = -1234` (broj tipa `int`).

Funkcije konverzije iz `<stdlib.h>`

U standardnoj biblioteci `<stdlib.h>` već postoje neke funkcije konverzije za pretvaranje stringa u broj odgovarajućeg tipa.

`double atof(const char *s)`	pretvara `s` u `double`,
`int atoi(const char *s)`	pretvara `s` u `int`,
`long atol(const char *s)`	pretvara `s` u `long`.

Ove funkcije rade slično kao čitanje broja odgovarajućeg tipa:

- preskaču se bjeline na početku stringa,
- a zatim se "čita" najdulji niz znakova koji odgovara pravilu za pisanje broja tog tipa,
- i pretvara u broj.

Funkcije konverzije iz `<stdlib.h>` — *primjer*

Primjer. Pretvaranje "početka" stringa u broj (v. `atox.c`).

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

int main(void) {
    printf("%d\n", atoi("  123"));       /* 123 */
    printf("%d\n", atoi("  12 3"));      /* 12 */
    printf("%d\n", atoi("  12abc3"));    /* 12 */
    printf("%d\n", atoi("abc12 3"));     /* 0 */

    printf("%g\n", atof(" 12.5a4c 3")); /* 12.5 */
    printf("%g\n", atof(" 12.5e4c 3")); /* 125000 */
    return 0;}
```

Još neke funkcije iz <stdlib.h>

Napomena. U datoteci zaglavlja <stdlib.h> deklarirane su i funkcije za apsolutnu vrijednost cijelih brojeva.

`int abs(int n)`	apsolutna vrijednost,
`long labs(long n)`	apsolutna vrijednost.

Funkcija `double fabs(double d)` nije tu, već u matematičkoj biblioteci <math.h>.

Zadatak: `itoa` — *ispis cijelog broja u string*

Zadatak. Napišite implementaciju funkcije `itoa` koja pretvara cijeli broj u string, kao kod ispisa.

Napomena. Funkcija `itoa` ne postoji u `<stdlib.h>`. Jedna moguća implementacija dana je u knjizi KR2, str. 64 (kôd je na sljedećoj stranici, v. `f_itoa_1.c`).

- Međutim, ta funkcija ne radi za najmanji prikazivi cijeli broj — na primjer, -2^{31} na 32 bita.

Probajte ju popraviti, tako da radi za sve prikazive cijele brojeve iz tipa `int`!

Funkcije `atoi` i `itoa` mogu se realizirati i čitanjem/pisanjem u string, pomoću funkcija `sscanf`, `sprintf` (v. kasnije).

Implementacija funkcije `itoa`

```
void f_itoa(int n, char s[])
{
    int i = 0, sign;    /* Indeks, predznak. */

        /* Zapamti predznak u sign i
           pretvori n u nenegativan broj. */
    if ((sign = n) < 0)
        n = -n;

        /* Generiraj znamenke u obratnom poretku. */
    do {
        s[i++] = n % 10 + '0';     /* Znamenka. */
    } while ((n /= 10) > 0);       /* Obrisi ju. */
```

Implementacija funkcije `itoa` *(nastavak)*

```
    if (sign < 0)
        s[i++] = '-';      /* Dodaj minus na kraj. */
    s[i] = '\0';           /* Kraj stringa. */

    invertiraj(s);

    return;
}
```

Funkciju `invertiraj` smo napravili ranije — evo primjene!

Zadatak. Objasnite (bez testiranja) zašto ova funkcija ne radi za najmanji prikazivi cijeli broj (na pr. -2^{31} na 32 bita).

Probajte ju popraviti (nije teško)!

Zadatak: funkcije `atof` i `ftoa`

Zadatak. Napišite implementaciju funkcije `atof` (`<stdlib.h>`) za pretvaranje niza znakova (stringa), koji sadrži zapis realnog broja, u njegovu numeričku vrijednost (tipa `double`).

- Realni broj smije biti napisan po svim pravilima C-a za pisanje realnih konstanti (točka, `e`)!

Zadatak. Razmislite kako biste napravili implementaciju funkcije `ftoa`, koja pretvara realni broj (tipa `double`) u string (kao kod ispisa u `printf`).

- Što sve treba zadati?

Izazov. Probajte realizirati obje funkcije tako da

- rade za sve prikazive `double` brojeve. (Nije lako!)

Dodatni primjeri

Domaća zadaća. Progledajte pažljivo primjere u prvom poglavlju knjige KR2.

- Vrlo su instruktivni u smislu tehnika programiranja.

Posebno se isplati pogledati odjeljak 1.5 (i nadalje), gdje je

- niz primjera o obradi "teksta" (ulaz i izlaz znakova, brojanje znakova, riječi i linija u tekstu).

Pokazivači (nastavak)

Sadržaj

- Pokazivači (drugi dio):
  - Polje pokazivača — deklaracija. Polje stringova.
  - Polje pokazivača i dvodimenzionalno polje.
  - Sortiranje rječnika zamjenana pokazivača.
  - Argumenti komandne linije.
  - Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova.
  - Pokazivač na funkciju.

Polje pokazivača

Polje pokazivača ima deklaraciju:

```
tip_pod *ime[izraz];
```

Napomena: Primarni operator `[ ]` ima viši prioritet od unarnog operatora `*`.

Primjer. Razlikujte polje pokazivača (ovdje, 10 pokazivača):

```
int *ppi[10];
```

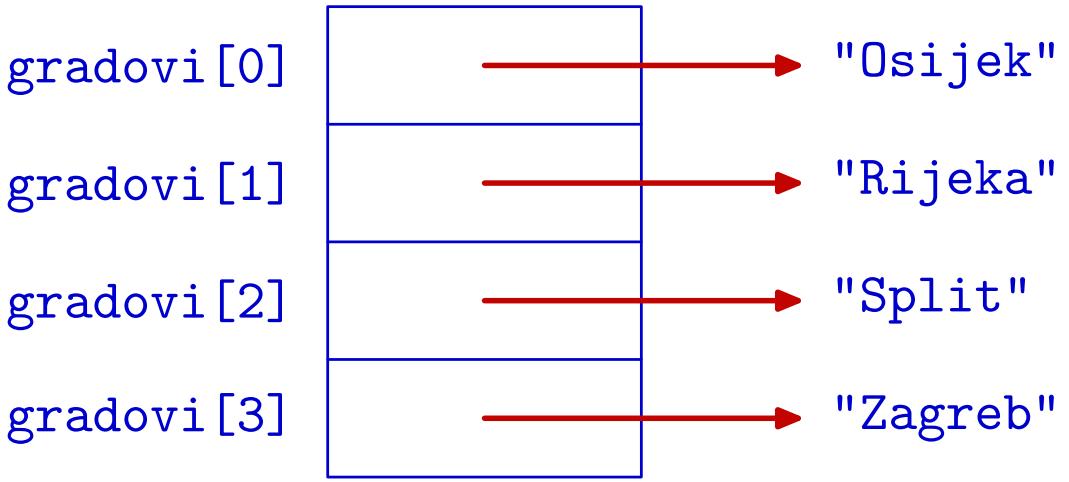
od pokazivača na polje (ovdje, od 10 elemenata):

```
int (*ppi)[10];
```

Polje pokazivača (nastavak)

Pokazivač na `char` možemo inicijalizirati stringom. Isto vrijedi i za polje takvih pokazivača — dobivamo "polje stringova".

```
static char *gradovi[] = { "Osijek", "Rijeka",
                           "Split", "Zagreb"};
```



Ovo se često koristi za fiksna imena objekata. Na primjer, dani u tjednu, mjeseci u godini (v. KR2, str. 113–114).

Polje pokazivača i dvodimenzionalno polje

Postoji bitna razlika između polja pokazivača (na znak, odnosno, string):

```
char *mjesto[] = { "Hum", "Kanfanar",
                   "Pjescana Uvala" };
```

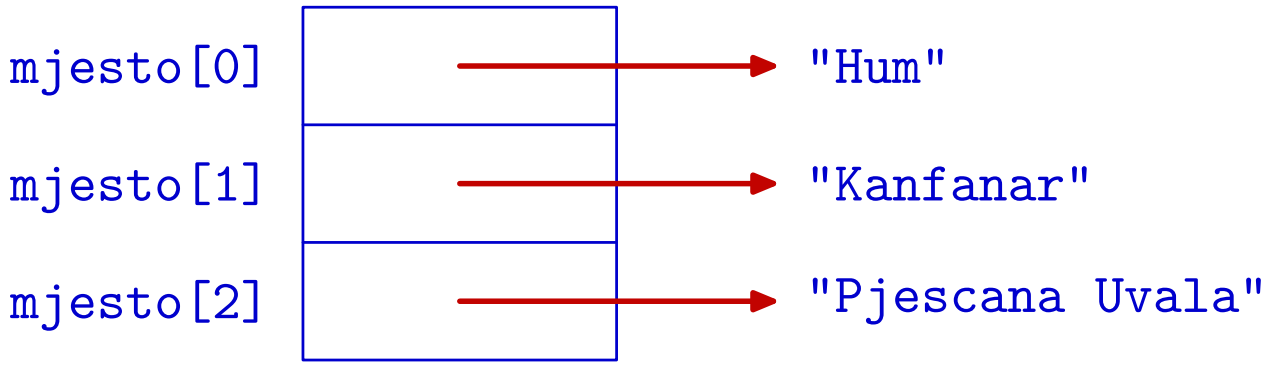
i dvodimenzionalnog polja znakova:

```
char amjesto[][16] = { "Hum", "Kanfanar",
                       "Pjescana Uvala" };
```

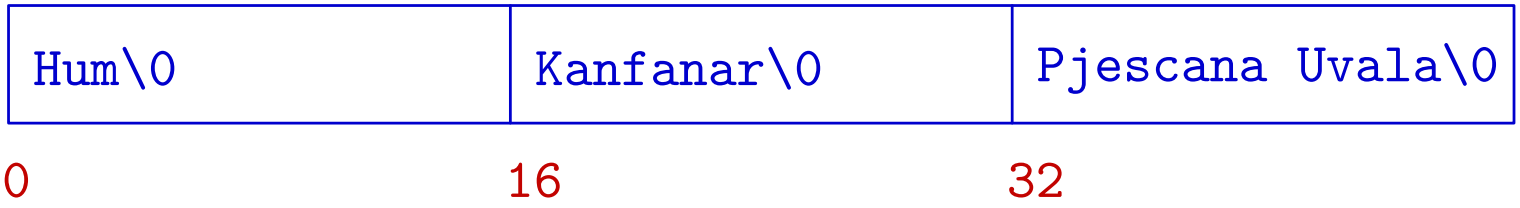
Razlika se najbolje vidi na sljedećim slikama.

Polje pokazivača i dvodimenzionalno polje

Polje pokazivača `mjesto`:



Dvodimenzionalno polje `amjesto`:



Sortiranje rječnika

Problem. Imamo hrpu riječi, raznih duljina, koje treba:

- učitati sa standardnog ulaza,
- leksikografski sortirati (uzlazno),
- ispisati u sortiranom poretku.

Očito je da pojedine riječi treba spremati kao stringove. Da ne kompliciramo, pretpostavit ćemo da

- svaka pojedina riječ stane u string od 80 znakova.

(Dinamičko spremanje stringova proizvoljne duljine — sami.)

Dogovor: ulaz sadrži po jednu riječ u svakom redu. Ideja je

- jednostavno čitanje stringova funkcijom `gets` ili `gets_s`.

Kako ćemo spremiti našu "hrpu" riječi?

Sortiranje rječnika (nastavak)

Ako ih spremimo u dvodimenzionalno polje, onda je sve relativno lako — sortiranje niza "redaka = riječi" (v. Prog1). Međutim, to je loše:

- spremanje je memorijski rastrošno (v. prošlu sliku),
- sortiranje je vrlo sporo — zbog zamjena stringova (polja).

Zato ćemo program realizirati preko polja pokazivača na stringove (riječi). U tom polju, nazovimo ga `p`,

- `i`-ti element sadrži pokazivač na `i`-tu riječ.

Sortiranje riječi realiziramo

- zamjenama pokazivača u polju `p`, a ne stringova!

Problem: učitavanje i stvarno spremanje riječi.

Digresija — čitanje stringa u redu

Čitanje je jednostavno zamišljeno — ali je postalo problem!

- Neki kompajleri više "ne znaju" za funkciju `gets` ("nije sigurna"), dok drugi još "ne znaju" za funkciju `gets_s` (sigurna varijanta iz C11 standarda).

Da izbjegnem taj problem, u nastavku koristim svoju funkciju

```
char *my_gets(char *s, int n)
```

Funkcija `my_gets` uvijek čita cijeli red ulaza, do (uključivo) kraja reda (`\n`), kraja datoteke ili greške. U string `s` sprema

- najviše $n - 1$ znak s ulaza (bez `\n`) i dodaje nul-znak,
- a eventualni višak znakova u redu se ignorira (preskače).

Izlaz je `s` ili `NULL`, kao kod `gets`. Cijeli kôd je u `my_gets.c`.

Sortiranje rječnika — čitanje riječi

Primjer. Učitavanje rječnika — ne ovako!

```
int main() {
    char *p[2], q[80];

    my_gets(q, 80);     /* plava */
    p[0] = q;

    my_gets(q, 80);     /* crvena */
    p[1] = q;

    puts(p[0]);     /* Sto ce se ispisati? */
    puts(p[1]);     /* Sto ce se ispisati? */
    return 0; }
```

Sortiranje rječnika — čitanje riječi (nastavak)

Izlaz:

```
crvena
crvena
```

Razlog: `p[0]` i `p[1]` sadrže istu adresu = onu od `q`, pa "vide"

- isti string = zadnji učitani.

Funkciji za čitanje (`my_gets`) treba poslati pravo mjesto za spremanje stringa!

Jedno moguće rješenje za stvarno spremanje riječi:

- koristimo jedno "veliko" jednodimenzionalno polje znakova, u koje redom "trpamo" riječi, jednu za drugom.

(Dinamičko alociranje stringova za riječi — sami, v. vježbe.)

Sortiranje rječnika — spremanje riječi

Dakle, imamo dva jednodimenzionalna polja:

- polje znakova `w` — koje sadrži sve riječi (kao stringove), jednu za drugom, bez "rupa",
- polje pokazivača na znakove `p` — tako da `p[i]` sadrži pokazivač na početak `i+1`-e riječi u polju `w`.

Radi jednostavnosti, pretpostavit ćemo još da

- imamo najviše 100 riječi.

To je maksimalni broj elemenata — pokazivača u polju `p`.

Uz ove pretpostavke, polja `w` i `p` onda možemo definirati

- kao polja fiksne dimenzije.

(Dinamičko alociranje ovih polja — sami, v. vježbe.)

Sortiranje rječnika — spremanje riječi (nast.)

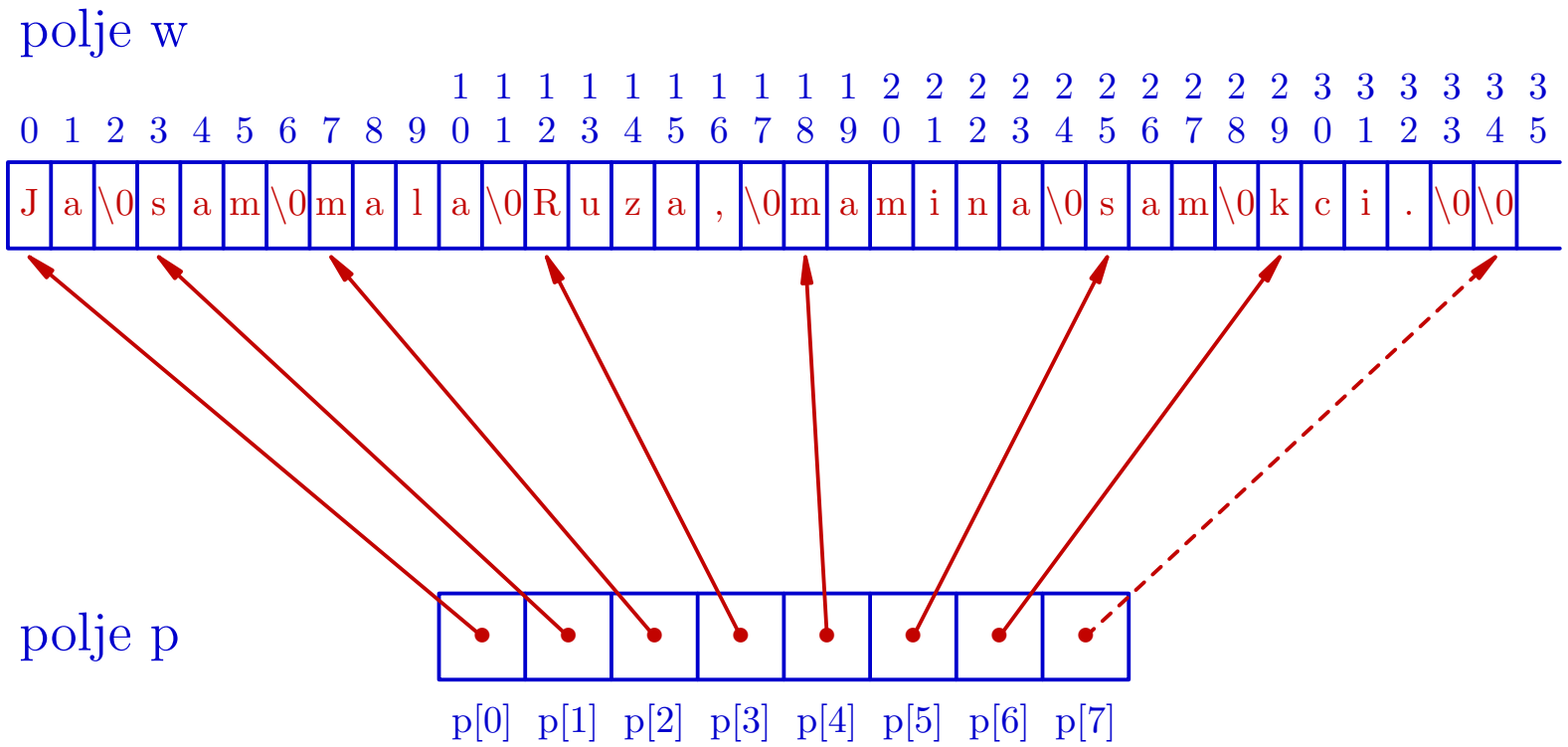
Izgled polja `w` i `p`:

- Prva riječ počinje na početku polja `w`, tj. na mjestu `w[0]`, pa je `p[0] = &w[0] = w`.
- Uzmimo da prva riječ zauzima ukupno `n_1` znakova.
  - Oprez: `n_1` = `strlen` od prve riječi `+ 1`, zbog nul-znaka na kraju prve riječi.
- Druga riječ ide odmah iza prve. Dakle, počinje na mjestu `w[n_1]`, pa je `p[1] = &w[n_1] = w + n_1`.

I tako redom.

Sljedeća slika prikazuje izgled polja `w` i `p` (v. sljedeća stranica).

Spremanje riječi u rječniku



Sortiranje rječnika — detalji implementacije

Radi jednostavnosti, oba polja `w` i `p` definiramo kao globalna (statička). Stvarno,

- samo `w` koristimo kao globalno polje,
- dok je `p` "uredno" argument svih funkcija.

Dogovor: da ne bude "prejednostavno",

- stvarni broj riječi nije unaprijed zadan, već
- čitamo riječi sve dok ne učitamo prazan red (praznu riječ, tj. string duljine 0 — poput `*p[7]` na prošloj slici).

Za sortiranje koristimo:

- sortiranje izborom ektrema (v. Prog1).

U nastavku je cijeli program `dicts_1.c`.

Sortiranje rječnika — početak programa

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

  /* Sortiranje rjecnika. */

    /* Funkcija my_gets za citanje stringa. */
#include "my_gets.c"

    /* Simbolicke konstante:
       MAXBROJ = max. broj rijeci,
       MAXDULJ = max. duljina pojedine rijeci. */
#define MAXBROJ 100
#define MAXDULJ  80
```

Sortiranje rječnika — globalne definicije

```
    /* Globalno polje znakova za rjecnik. */
char w[MAXBROJ * MAXDULJ];

    /* Globalno polje pokazivaca na
       pojedine rijeci - stringove. */
char *p[MAXBROJ];

    /* Stvarni broj rijeci u rjecniku. */
int broj_rijeci;
```

Sortiranje rječnika — učitavanje rječnika

```
    /* Ucitava rijeci i vraca broj rijeci.
       Kraj ucitavanja je prazna rijec. */
int unos(char *p[])
{
    char *q = w;
    int broj = 0, dulj;
    while (1) {
        if (broj >= MAXBROJ) return -1;
        p[broj] = my_gets(q, MAXDULJ);
        if ((dulj = strlen(q)) == 0) break;
        q += dulj + 1;
        ++broj;
    }
    return broj;
}
```

Sortiranje rječnika — sortiranje

```
    /* Sortiranje rjecnika izborom ekstrema.
       Dovodimo najmanji element na pocetak.

       Rjecnik je zadan poljem pokazivaca na rijeci
       (element polja je pokazivac na znak-string).
       Koristimo samo zamjene pokazivaca. */

void sort(char *p[], int n)
{
    int i, j, ind_min;
    char *temp;
```

Sortiranje rječnika — sortiranje (nastavak)

```
    for (i = 0; i < n - 1; ++i) {
        ind_min = i;
        for (j = i + 1; j < n; ++j)
            if (strcmp(p[j], p[ind_min]) < 0)
                ind_min = j;
        if (i != ind_min) {
            temp = p[i];
            p[i] = p[ind_min];
            p[ind_min] = temp;
        }
    }

    return;
}
```

Sortiranje rječnika — ispis rječnika

```
    /* Ispisuje sve rijeci u rjecniku. */

void ispis(char *p[])
{
    int i;

    for (i = 0; i < broj_rijeci; ++i)
        puts(p[i]);

    return;
}
```

Sortiranje rječnika — glavni program

```
    /* Glavni program. */

int main(void)
{
    if ((broj_rijeci = unos(p)) >= 0) {
        printf("Broj rijeci = %d\n", broj_rijeci);
        sort(p, broj_rijeci);
        ispis(p);
    }
    else
        printf("Previse rijeci na ulazu.\n");

    return 0;
}
```

Sortiranje rječnika — primjer ulaza

Ulaz:

```
Ja
sam
mala
Ruza,
mamina
sam
kci.
```

Sortiranje rječnika — izlaz

Izlaz:

```
Broj rijeci = 7
Ja
Ruza,
kci.
mala
mamina
sam
sam
```

Sortiranje rječnika — poboljšanje unosa

Funkcija `unos` strogo očekuje praznu riječ kao kraj ulaza i javlja grešku ako pokušamo učitati preveliki broj riječi.

Modificirana verzija funkcije `unos` kontrolira sve što može.

- Uredno prekida čitanje ako učitamo maksimalni broj riječi (prije prazne) i to nije greška. U ostatku programa radimo samo s riječima koje su "stale" u rječnik (polje `p`).
- Provjerava je li `my_gets` uspješno učitao string, ili je vratio `NULL` (signal greške), i samo tad javlja grešku.

Jedina modifikacija u glavnom programu je poruka o grešci (v. `dicts_2.c`).

Zadatak. Kraj ulaza je `EOF` (kraj datoteke), a ne prazna riječ.

Sortiranje rječnika — modificirani unos

```
    /* Ucitava rijeci i vraca broj rijeci.
       Kraj ucitavanja je prazna rijec. */
int unos(char *p[])
{
    char *q = w;
    int broj = 0, dulj;
    while (1) {
        if (broj >= MAXBROJ) break;
        if (my_gets(q, MAXDULJ) == NULL) return -1;
        if ((dulj = strlen(q)) == 0) break;
        p[broj++] = q;
        q += dulj + 1;
    }
    return broj;
}
```

Sortiranje rječnika — pripadni glavni program

```
    /* Glavni program. */

int main(void)
{
    if ((broj_rijeci = unos(p)) >= 0) {
        printf("Broj rijeci = %d\n", broj_rijeci);
        sort(p, broj_rijeci);
        ispis(p);
    }
    else
        printf("Greska u citanju rijeci.\n");

    return 0;
}
```

Sortiranje rječnika — varijacije na temu

U prethodnom programu, polja `w` i `p` imaju fiksnu dimenziju (zadali smo maksimalni broj riječi i maksimalnu duljinu riječi).

Varijacija 1. Promijenite program tako da se polja `w` i `p`

- dinamički alociraju i, po potrebi, realociraju (ako treba povećati "duljinu" nekog polja).

Varijacija 2. Umjesto polja `w`, koristite dinamičku alokaciju za svaku učitanu riječ:

- ako se zna maksimalna duljina riječi,
- isto, s tim da maksimalna duljina riječi nije zadana (ili ograničena).

Pažljivo kontrolirajte da ne "gazite" po memoriji!

Sortiranje rječnika — zadatak

Zadatak. Prilagodite i iskoristite QuickSort algoritam za sortiranje rječnika.

Oprez: funkcija `swap` treba zamijeniti vrijednosti pokazivača na znakove (stringove).

- Argumenti funkcije `swap` moraju biti pokazivači na te pokazivače, tj. tip argumenata je `char **`.

Zadatak. Za sortiranje rječnika iskoristite funkciju `qsort` iz standardne biblioteke `<stdlib.h>` (treba znati pokazivač na funkciju). Uputa: Pogledajte primjer na zadnjem predavanju i pazite na tipove, kao za `swap`!

Razmislite kako biste iskoristili `qsort` da radimo zamjene cijelih stringova, a ne pripadnih pokazivača.

Argumenti komandne linije

Argumenti komandne linije

Programi vrlo često koriste parametre koji se zadaju zajedno s imenom programa i onda se učitavaju iz tog programa. Takvi parametri zovu se argumenti komandne linije.

```
cp ime1 ime2
```

Ako želimo koristiti argumente komandne linije, onda moramo funkciju `main` deklarirati s dva formalna argumenta (ne `void`). Standardna imena za te argumente su (prema KR2):

- `argc` — tipa `int`, i
- `argv` — polje pokazivača na `char` (= polje stringova).

```
int main(int argc, char *argv[])
{ ... }
```

Argumenti komandne linije (nastavak)

Značenje `argc` ("argument count"):

- Broj `argc - 1` je broj argumenata komandne linije. Ako ih nema, onda je `argc = 1`.

Značenje `argv` ("argument value"):

- U `argv` je polje pokazivača na argumente komandne linije.
- `argv[0]` uvijek pokazuje na string koji sadrži ime programa, onako kako je pozvan na komandnoj liniji.
- Ostali parametri smješteni su redom kojim su upisani.
- Iza svega je `argv[argc] = NULL` ("za svaki slučaj").

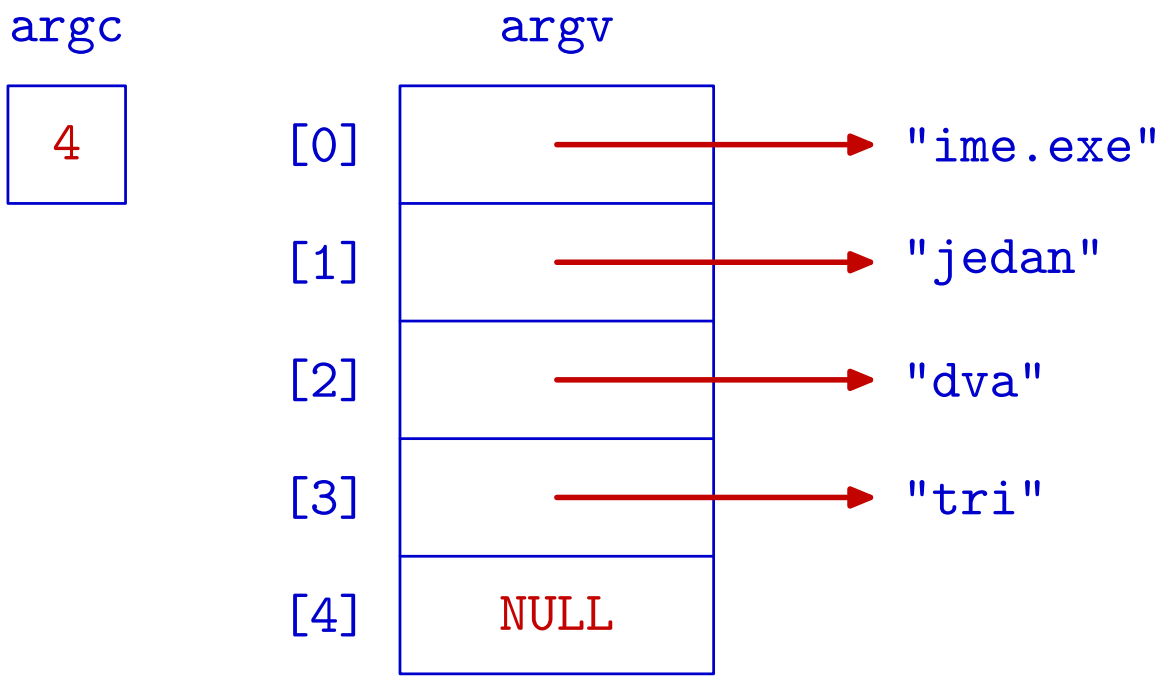
Argumenti se "čitaju" kao stringovi u funkciji `scanf`, tj. bjeline su separatori (osim kad je argument u navodnicima).

Argumenti komandne linije (nastavak)

Primjer. Ako program pozovemo s:

```
ime.exe jedan dva tri
```

onda je:



Argumenti komandne linije (nastavak)

Primjer. Program koji ispisuje argumente komandne linije:

```
#include <stdio.h>    /* Program arg_1. */

int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;

    printf("argc = %d\n", argc);
    for (i = 0; i < argc; ++i)
        printf("argv[%d]: %s\n", i, argv[i]);

    return 0;
}
```

Argumenti komandne linije (nastavak)

Komandna linija (izvršavanje u komandnom prozoru!):

```
arg_1 Ja sam mala Ruza, mamina sam kci.
```

Izlaz:

```
argc = 8
argv[0]: arg_1
argv[1]: Ja
argv[2]: sam
argv[3]: mala
argv[4]: Ruza,
argv[5]: mamina
argv[6]: sam
argv[7]: kci.
```

Čitanje brojeva s komandne linije

Ranije smo napravili program koji s ulaza čita broj `n`, a zatim dinamički kreira polje `a` s `n` elemenata.

Primjer. Broj `n` možemo učitati i s komandne linije, samo ga treba pretvoriti iz stringa u tip `int` (funkcija `atoi`).

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

int main(int argc, char *argv[])
{   ...
    n = atoi(argv[1]);
    ...
}
```

Provjera argumenata komandne linije

Napomena. Ako program očekuje neke argumente na komandnoj liniji, onda uvijek treba provjeriti:

- jesu li zaista upisani pri pozivu programa — test `argc`,
- imaju li svi `argv[i]` korektan (očekivani) oblik.

U prošlom primjeru to bi izgledalo ovako:

```
if (argc < 2) {
    printf("Broj elemenata nije zadan.\n");
    exit(EXIT_FAILURE); }    /* exit(1); */
n = atoi(argv[1]);
if (n <= 0) {
    printf("Broj elemenata nije pozitivan.\n");
    exit(EXIT_FAILURE); }    /* exit(1); */
```

Argumenti komandne linije u Code::Blocks

Ako izvršnu verziju programa (na pr., `arg_1.exe`) izvršavate sami — kroz vlastiti komandni prozor (iz Windowsa),

- uz ime programa `arg_1`, napišete i željene argumente.

Za izvršavanje unutar Code::Blocks, treba koristiti projekte.

- Treba otvoriti (novi) projekt, tipa "Console application".
- Sve potrebne datoteke treba dodati u projekt.
  Na pr., pod "Sources", dodate `arg_1.c`.
- Pod "Project", ima "Set program arguments ...".
- Tamo, pod "Program arguments", u (bijelom) prostoru ispod, napišete željene argumente.
- Kad izvodite program (kroz Run), ti argumenti se dodaju na komandnu liniju za izvršavanje.

Razlika:
2D polje i niz nizova

Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova

Prijenos dvodimenzionalnog polja (matrice), kao argumenta funkcije, odgovara deklaraciji s pokazivačem

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

Ovdje je `ime` = pokazivač na (prvi) redak, tj.

- pokazivač na polje od `izraz_2` elemenata tipa `tip_pod`,

odnosno (ekvivalencija pokazivač — polje),

- `ime` = polje redaka matrice.

Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova

Nažalost, to se često "miješa" s deklaracijama oblika

```
tip_pod **ime
tip_pod *ime[]
```

Ovdje je `ime` = pokazivač (ili polje pokazivača) na objekt(e)

- tipa pokazivač na `tip_pod`, odnosno,
- tipa "neki niz (ili neko polje) objekata tipa `tip_pod`".

Međutim, ovo nije matrica, nego polje nizova ili niz nizova!

Razlika: kod sortiranja rječnika i argumenata komandne linije

- radimo s nizom nizova znakova, a ne s matricom.

Pogledajte vježbe — poglavlje 4.3.

Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova

Ključna razlika je u tome što se stvarno pamti:

- Za 2D polje (matricu), pamti se samo jedan pokazivač — onaj na prvi redak, tj. na cijelo polje redaka matrice.

  Matrica je spremljena "u bloku" — redak za retkom.

- Za polje nizova, pamti se cijelo polje pokazivača — na svaki pojedini niz u polju nizova.

  Pojedini nizovi ne moraju imati iste duljine i mogu biti "razbacani" po memoriji — svaki niz u svom bloku.

Razlog za zabunu = pristup elementima se jednako piše:

- `ime[i][j]` = `j`-ti element u `i`-tom retku matrice,
- `ime[i][j]` = `j`-ti element u `i`-tom nizu.

Međutim, računanje stvarnih adresa je bitno drugačije!

Razlika — dvodimenzionalno polje i niz nizova

Ako "pobrkamo" matrice i nizove nizova, to može dovesti do

- teško uočljivih grešaka i "gaženja" memorije.

Naime, neku matricu A (na primjer, brojeva),

- zaista možemo spremiti u strukturu "niza nizova", na pr., kao "niz redaka" (tj. nizova iste duljine).

S tom strukturom možemo raditi kao s "matricom", u smislu

- da pristup elementu pišemo kao `A[i][j]`, s dva indeksa.

Međutim, tako spremljena matrica A nije 2D polje i

- ne smije se poslati kao argument funkciji koja očekuje "pravu" matricu — spremljenu u obliku 2D polja!

Zato oprez, kad koristite pakete programa za matrice.

Problem u C90 — dinamička alokacija matrice

Po C90 standardu, dinamička alokacija je moguća

- samo za 2D polja s konstantnim brojem stupaca.

Za matricu tipa $m \times 10$, smijemo napisati (v. tip pokazivača)

```
p = (int(*)[10]) malloc(m * 10 * sizeof(int));
```

Međutim, za matricu tipa $m \times n$, nije dozvoljeno napisati

```
p = (int(*)[n]) malloc(m * n * sizeof(int));
```

jer u C90 standardu nema polja varijabilne duljine!

Zato se, u C90, matrice često spremaju kao "niz nizova" (**), ili u jedan vektor (niz), duljine $m \times n$, pa sami indeksiramo.

Pokazivač na funkciju

Pokazivač na funkciju

Pokazivač na funkciju deklarira se kao:

```
tip_pod (*ime)(tip_1 arg_1, ..., tip_n arg_n);
```

Ovdje je `ime` varijabla tipa — pokazivač na funkciju, koja

- uzima `n` argumenata, tipa `tip_1` do `tip_n`,
- i vraća vrijednost tipa `tip_pod`.

Slično kao i u prototipu funkcije, u deklaraciji ne treba pisati imena argumenata `arg_1` do `arg_n`.

Primjer:

```
int (*pf)(char c, double a);
int (*pf)(char, double);
```

Pokazivač na funkciju (nastavak)

U deklaraciji pokazivača na funkciju — zagrade su nužne.

- Primarni operator `( )` — "poziva" ili argumenata funkcije, ima viši prioritet od unarnog operatora `*`.

Primjer. Razlikujte funkciju koja vraća pokazivač na neki tip (ovdje, na `double`):

```
double *pf(double, double);
double *(pf(double, double));    /* Isto */
```

od pokazivača na funkciju koja vraća vrijednost nekog tipa (ovdje, tipa `double`):

```
double (*pf)(double, double);
```

Pokazivač na funkciju — svrha

Pokazivač na funkciju omogućava da jedna funkcija prima neku drugu funkciju kao argument. Realizacija ide tako da

- prva funkcija dobiva pokazivač na drugu funkciju.

```
int prva(int, int (*druga)(int));
```

U pozivu prve funkcije navodimo samo stvarno ime druge funkcije (koja negdje mora biti deklarirana s tim imenom), tj.

- ime funkcije je sinonim za pokazivač na tu funkciju.

```
prva(n, stvarna_druga);
```

Cijela stvar je vrlo slična onoj za polja!

Pokazivač na funkciju — primjer

Primjer. Treba izračunati vrijednost integrala zadane (realne) funkcije f na segmentu $[a, b]$

$$I = \int_a^b f(x)\,dx.$$

Za računanje integrala obično se koriste približne (numeričke) formule. Slično Riemannovim sumama, te formule koriste

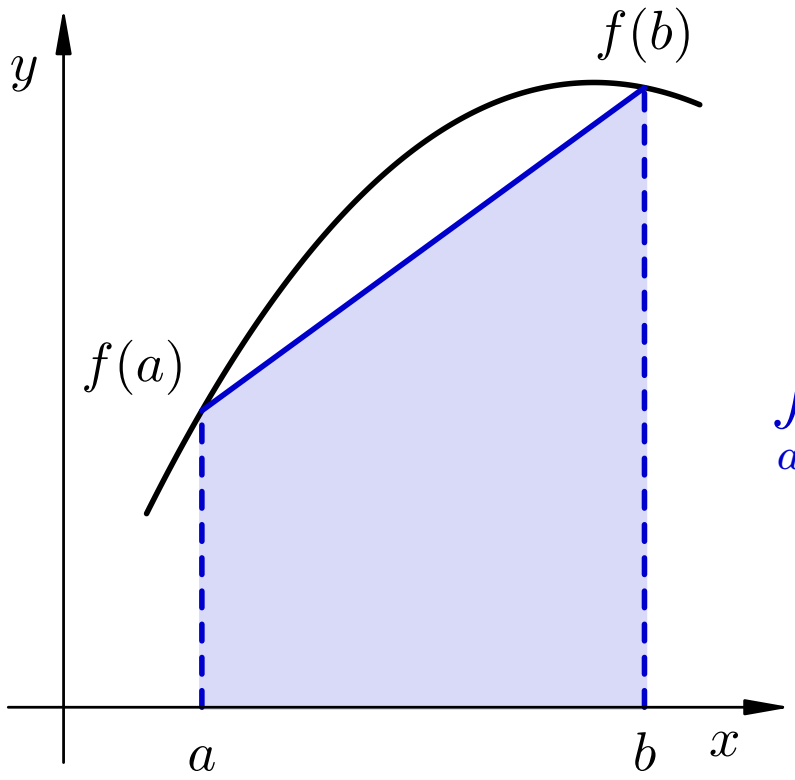
- vrijednosti funkcije f u određenim točkama iz $[a, b]$.

Funkcija za (približno) računanje integrala I onda mora imati (barem) 3 argumenta:

- granice integracije a, b, i
- funkciju koja računa vrijednost $f(x)$ u zadanoj točki x.

Primjer — trapezna formula

Primjer. Napisati funkciju koja približno računa integral zadane funkcije, po tzv. trapeznoj formuli. Trapezna formula ima oblik ("srednjica puta visina trapeza"):



$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{f(a)+f(b)}{2}\,(b-a).$$

Trapezna formula — program

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
double integracija(double, double,
                   double (*)(double));
int main(void) {
    printf("Sin: %f\n", integracija(0, 1, sin));
    printf("Cos: %f\n", integracija(0, 1, cos));
    return 0; }

double integracija(double a, double b,
                   double (*f)(double)) {
    return 0.5 * (b - a) * ( (*f)(a) + (*f)(b) );
}
```

Trapezna formula — rezultati i komentar

Uočite da u pozivima funkcije `integracija` navodimo

- samo imena funkcija `sin` i `cos`

iz matematičke biblioteke `<math.h>`.

Rezultati:

```
Sin: 0.420735
Cos: 0.770151
```

Točnost ovih približnih vrijednosti i "nije nešto". Provjerite!

Puno bolju točnost možemo postići korištenjem tzv.

- produljene trapezne formule.

Produljena trapezna formula — ideja

Produljena trapezna formula za približnu integraciju.

- Izaberemo prirodni broj $n \in \mathbb{N}$.
- Segment $[a, b]$ podijelimo na n podintervala točkama x_i, za $i = 0, \ldots, n$, tako da je

$$a = x_0 < x_1 < \cdots < x_{n-1} < x_n = b.$$

  Pripadni podintervali su $[x_{i-1}, x_i]$, za $i = 1, \ldots, n$.

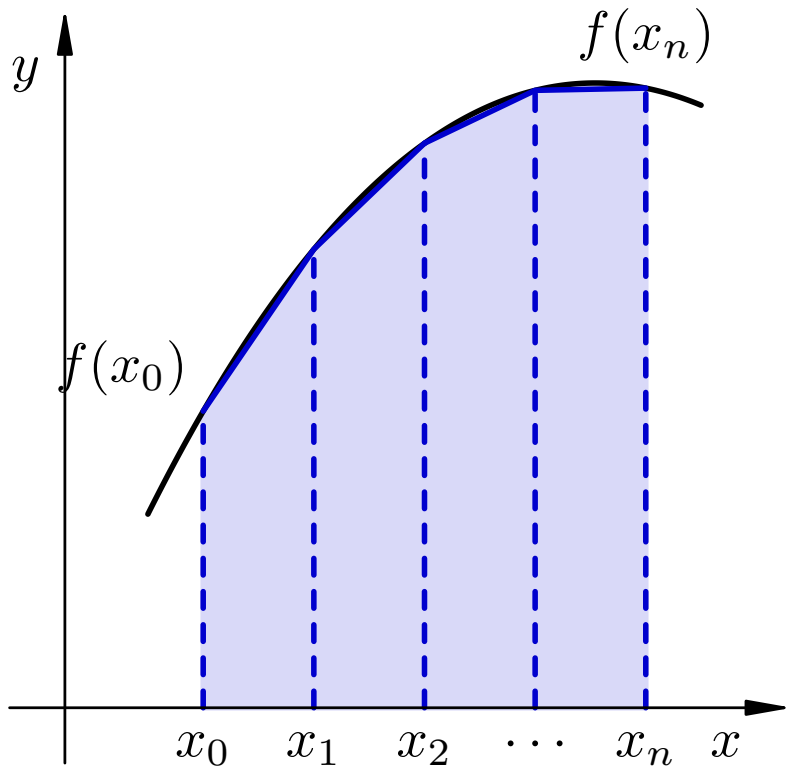
- Zato vrijedi

$$I = \int_a^b f(x)\,dx = \sum_{i=1}^{n} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx.$$

- Na svakom podintervalu $[x_{i-1}, x_i]$, za $i = 1, \ldots, n$, iskoristimo običnu trapeznu formulu i sve zbrojimo.

Produljena trapezna formula

Obično se točke x_i uzimaju ekvidistantno, tako da svi podintervali imaju jednaku duljinu — označimo ju s h.



Onda je duljina podintervala

$$h = \frac{b-a}{n},$$

a točke su

$$x_i = a + i \cdot h, \quad i = 0, \ldots, n.$$

Produljena trapezna formula — formula

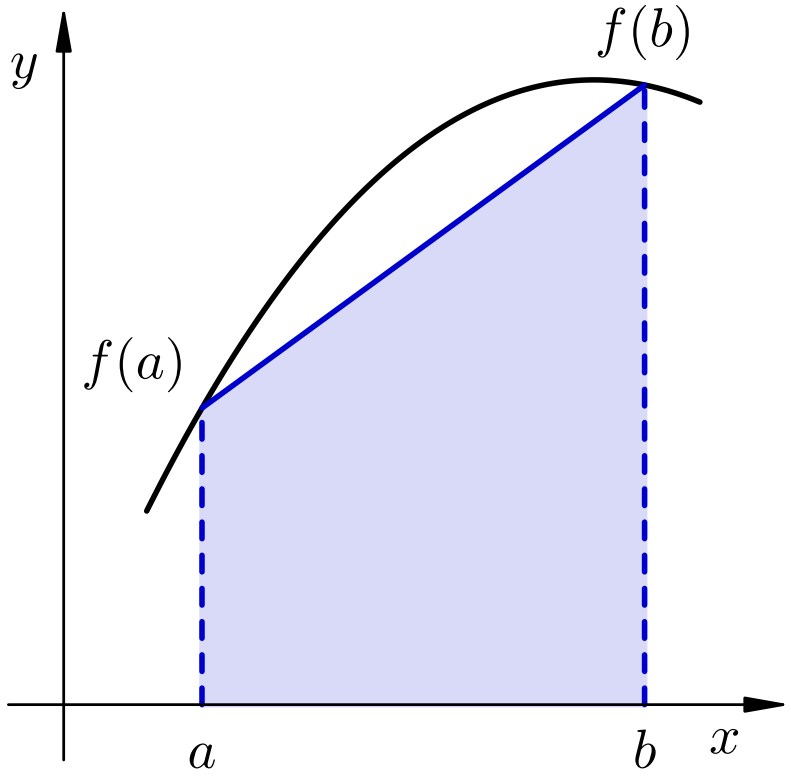
Obična trapezna formula na podintervalu $[x_{i-1}, x_i]$ daje

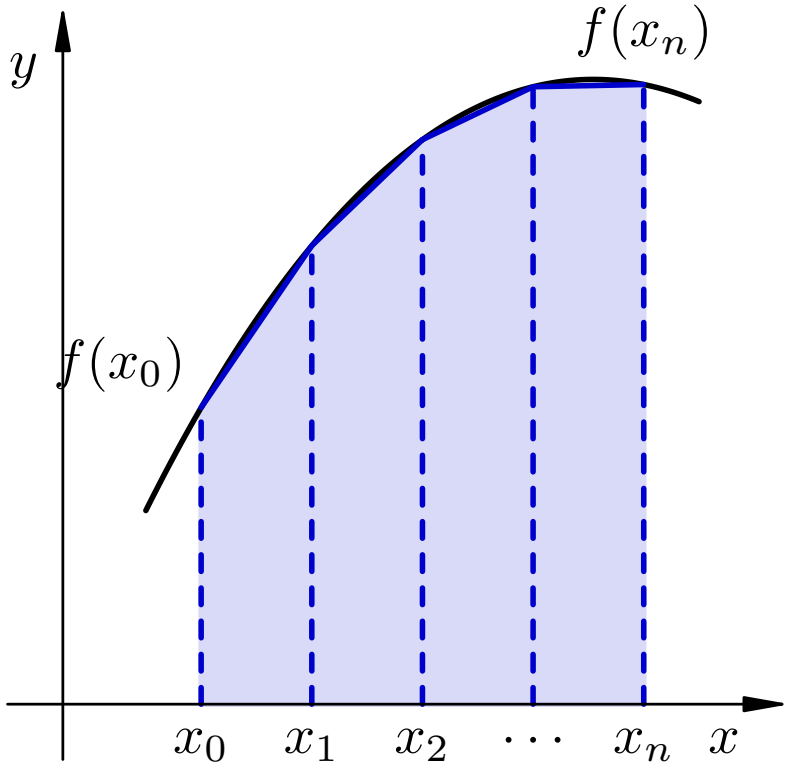
$$\int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x)\,dx \approx \frac{f(x_{i-1}) + f(x_i)}{2}\,(x_i - x_{i-1}) = \frac{h}{2}(f(x_{i-1}) + f(x_i)).$$

Kad zbrojimo za sve podintervale, izlazi

$$\begin{aligned} I \approx I_n &:= \sum_{i=1}^{n} \frac{h}{2}\,(f(x_{i-1}) + f(x_i)) \\ &= \frac{h}{2}\,\big(f(x_0) + 2f(x_1) + \cdots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)\big) \\ &= h\left(\frac{1}{2}\,\big(f(a) + f(b)\big) + \sum_{i=1}^{n-1} f(a + ih)\right). \end{aligned}$$

Obična i produljena trapezna formula — slike





Povećavanjem n dobivamo sve bolju aproksimaciju integrala.

Produljena trapezna formula — deklaracije

Primjer. Program za produljenu trapeznu formulu, koji povećava broj podintervala n (v. `integ_2.c`):

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

double integracija(double, double, int,
                   double (*)(double));
```

Produljena trapezna formula — funkcija

```
double integracija(double a, double b, int n,
                   double (*f)(double))
{
    double suma, h = (b - a) / n;
    int i;

    suma = 0.5 * ( (*f)(a) + (*f)(b) );
    for (i = 1; i < n; ++i)
        suma += (*f)(a + i * h);
    return h * suma;
}
```

Produljena trapezna formula — glavni program

```
int main(void)
{
    double a = 0.0, b = 2.0 * atan(1.0);  /* pi/2 */
    int n = 1;

    printf("Integral sinusa od 0 do pi/2:\n");
    while (n <= 100000) {
        printf(" [n = %6d]: %13.10f\n", n,
               integracija(a, b, n, sin));
        n *= 10;
    }
    return 0;
}
```

Produljena trapezna formula — rezultati

Izlaz:

```
Integral sinusa od 0 do pi/2:
 [n =      1]:  0.7853981634
 [n =     10]:  0.9979429864
 [n =    100]:  0.9999794382
 [n =   1000]:  0.9999997944
 [n =  10000]:  0.9999999979
 [n = 100000]:  1.0000000000
```

Ha! Nije loše! Zadnja vrijednost je točna na svih 10 decimala.

Više o metodama za numeričku integraciju u Numeričkoj matematici.

Ime funkcije = pokazivač na tu funkciju

Uputa: Kako koristiti pokazivač na funkciju — kod stvarnog i formalnog argumenta neke funkcije (v. KR2, str. 118–120).

Za propisno deklariranu funkciju,

- ime funkcije je sinonim za pokazivač na tu funkciju.

Zato, na primjer, u pozivu funkcije `integracija` navodimo samo ime funkcije `sin` — kao stvarni argument:

```
i_sin = integracija(0, 1, sin);
```

Adresni operator `&` ispred `sin` nije potreban (kao ni ispred imena polja), iako ga je dozvoljeno napisati:

```
i_sin = integracija(0, 1, &sin);
```

Poziv funkcije zadane pokazivačem

Slično smijemo napraviti i kod poziva funkcije koja je formalni argument — zadan pokazivačem, unutar neke druge funkcije.

- Međutim, nemojte to raditi!

Na primjer, `f` je formalni argument funkcije `integracija`:

```
double integracija(double a, double b,
                   double (*f)(double)) {
    return 0.5 * (b - a) * ( (*f)(a) + (*f)(b) );
}
```

Strogo govoreći, tj. pazeći na tipove objekata,

- `f` je pokazivač na funkciju,
- a `*f` je funkcija, nakon dereferenciranja!

Poziv funkcije zadane pokazivačem (nastavak)

U tom smislu, prošli primjer je potpuno korektno napisan.

Naprotiv, iako je dozvoljeno, nije sasvim korektno napisati

```
double integracija(double a, double b,
                   double (*f)(double)) {
    return 0.5 * (b - a) * ( f(a) + f(b) );  }
```

Analogno, dozvoljeno napisati i ovo (ekvivalentno gornjem):

```
double integracija(double a, double b,
                   double (*pf)(double)) {
    double (*f)(double) = pf;
    return 0.5 * (b - a) * ( f(a) + f(b) );  }
```

Pokazivač na funkciju i obrada znakova (zadaci)

Pokazivač na funkciju — dodatni primjeri

Pokazivač na funkciju može se zgodno iskoristiti kod obrade znakova u stringu (v. predavanje o stringovima).

Vrsta znakova koju želimo obraditi (na pr. samoglasnici) zadana je odgovarajućom funkcijom oblika

```
int vrsta(int c);
```

Takva funkcija provjerava pripada li zadani znak `c` određenoj vrsti znakova ili ne (kao funkcije iz `<ctype.h>`). Nekoliko takvih funkcija smo već napisali.

Funkcija za obradu takvih znakova u zadanom stringu dobiva (osim stringa) i pokazivač na funkciju za provjeru znakova:

```
int (*vrsta)(int c)
```

Pokazivač na funkciju — zadaci

Zadaci. Napišite funkciju koja, kao argumente, prima string (tj. pokazivač na `char`) i pokazivač na funkciju za provjeru znakova, i radi sljedeće:

1. vraća broj takvih znakova u stringu,
2. to isto, a kroz varijabilni argument vraća prvi takav znak u stringu, ako ga ima (u protivnom, ne mijenja taj argument),
3. vraća pokazivač na prvi takav znak u stringu, ako ga ima (u protivnom, vraća `NULL`),
4. to isto, a kroz varijabilni argument vraća broj takvih znakova u stringu,
5. vraća pokazivač na zadnji takav znak u stringu, ako ga ima (u protivnom, vraća `NULL`).