Programiranje 2
8. predavanje

Saša Singer

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

PMF – Matematički odsjek, Zagreb

Sadržaj predavanja

- Samoreferencirajuće strukture (uvod):
  - Primjeri: Vezane liste. Binarna stabla.
- Vezane liste (detaljno):
  - Deklaracija vezane liste.
  - Kreiranje i uništavanje elemenata.
  - Ubacivanje i izbacivanje na početku liste.
  - Prolaz kroz listu. Broj elemenata i ispis liste.
  - Traženje elemenata u listi. Ubacivanje na kraj liste.

Informacije

Konzultacije (službeno):

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

Programiranje 2 je u kolokvijskom razredu C3.

Termin prvog kolokvija je:

- petak, 13. 4., u 15 sati.

Ne zaboravite, "žive" su i domaće zadaće na adresi

`http://degiorgi.math.hr/prog2/ku/`

Dodatni bodovi "čekaju na vas".

Samoreferencirajuće strukture. Vezane liste.

Sadržaj

- Samoreferencirajuće strukture (uvod):
  - Pokazivač na strukturu. Operator strelica (`->`).
  - Samoreferencirajuće strukture.
  - Primjeri samoreferencirajućih struktura:
    - Vezane liste.
    - Binarna stabla.

Pokazivač na strukturu — ponavljanje

Pokazivač na strukturu definira se isto kao i pokazivač na druge tipove objekata.

Primjer.

```
struct tocka {
   int x;
   int y;
} p1, *pp1 = &p1;
```

Varijabla `pp1` je

- pokazivač na strukturu `struct tocka`,
- inicijaliziran adresom strukture `p1`.

Operator strelica (->) — ponavljanje

Kad imamo pokazivač na neku strukturu, članovima te strukture može se izravno pristupiti korištenjem primarnog operatora strelica (`->`).

- Asocijativnost operatora `->` je L $\rightarrow$ D.

Ako je `ptvar` pokazivač na strukturu, a `clan` jedan član te strukture, onda je:

- `ptvar->clan` $\Longleftrightarrow$ `(*ptvar).clan`

Primjer.

```
struct tocka p1, *pp1 = &p1;
pp1->x = 18;    /* Isto sto i (*pp1).x = 18; */
pp1->y = 27;    /* Isto sto i (*pp1).y = 27; */
```

Strukture koje sadrže pokazivače

Znamo da pokazivač na objekt nekog tipa

- smije biti element polja.

Polje pokazivača smo koristili za sortiranje rječnika.

Slično je i kod struktura. Pokazivač na objekt nekog tipa

- smije biti član strukture.

To omogućava "povezivanje" objekata razno–raznih tipova, ovisno o tipu pokazivača.

Posebno, dozvoljeno je da pokazivač, koji je član strukture,

- "pokazuje" na istu takvu strukturu,

tj. da struktura sadrži pokazivač na "samu sebe".

Napomena. Struktura ne sadrži samu sebe! To "ne ide".

Samoreferencirajuće strukture

Struktura koja sadrži jedan ili više članova koji su

- pokazivači na strukturu tog istog tipa,

zove se samoreferencirajuća struktura — jer sadrži "pointer na samu sebe".

Upravo ovakve "rekurzivno vezane" strukture su glavna korist od pokazivača kao članova strukture. One omogućavaju

- "povezivanje" objekata istog tipa — na razne načine, ovisno o broju i svrsi pokazivača.

Služe za implementaciju "rekurzivno" definiranih složenih tipova podataka — kao što su

- vezane liste i binarna stabla.

Samoreferencirajuće strukture — primjeri

Kako izgledaju takve "rekurzivno vezane" strukture i kako se deklariraju?

Svaki element je struktura koja ima dva bitna dijela:

- nekakav "koristan" sadržaj — jedan ili više članova nekih tipova, i
- jedan ili više pokazivača na isti takav element (strukturu).

Članovi strukture koji sadrže pokazivače

- obično imaju standardna imena koja sugeriraju značenje pokazivača.

Pogledajmo kako izgledaju elementi

- vezane liste i binarnog stabla.

Element vezane liste

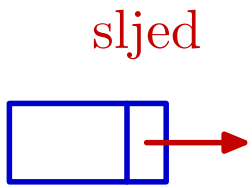
Element vezane liste, osim sadržaja, ima još

- jedan pokazivač na takav element — kojeg interpretiramo kao pokazivač na sljedeći element u listi.

"Standardna imena" za pripadni član strukture su

- `sljed`, `veza`, `next`, `link`.

Slika elementa:



Ako zamislimo cijelu listu istih ovakvih elemenata iza ovog, onda pokazivač možemo "rekurzivno" interpretirati i kao

- listu sljedbenika ovog elementa.

Element binarnog stabla

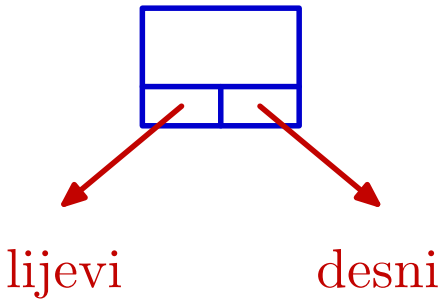
Element binarnog stabla obično se zove čvor stabla. Osim sadržaja, ima još

- dva pokazivača na takve elemente — koje interpretiramo kao pokazivače na lijevo i desno dijete tog čvora.

"Standardna imena" za pripadne članove strukture su

- `lijevi`, `desni`, ili `left`, `right`.

Slika elementa:



Ovdje pokazivače možemo "rekurzivno" interpretirati i kao

- lijevo i desno podstablo ovog elementa.

Deklaracija elementa takve strukture

Kako se deklariraju elementi ovakvih struktura?

Napomena. Odmah koristimo `typedef` za deklaraciju

- tipa cijele strukture za element,

zato da izbjegnemo stalno pisanje riječi `struct`.

Uzmimo da se "korisni" sadržaj elementa sprema u jednom članu strukture.

- Neka se taj član strukture zove `info`, a
- njegov tip neka se zove `sadrzaj` (i ranije je definiran).

Ovisno o vrsti strukture, u deklaraciju još treba dodati i

- jedan ili više pokazivača na takav element.

Deklaracija elementa vezane liste

Deklaracija tipa za element vezane liste takvih podataka:

```
typedef struct _element {
    sadrzaj info;                /* Sadrzaj. */
    struct _element *sljed;      /* Pokazivac. */
} element;
```

Ova deklaracija izgleda "rekurzivno", ali stvarno — nije.

- Član `sljed` je pokazivač na `struct _element`, a ne struktura.

Da nema znaka `*`, imali bismo pravu "rekurziju", tj. pokušaj deklaracije strukture koja "sadrži samu sebe", što (naravno) nije dozvoljeno!

Deklaracija elementa vezane liste — napomene

Napomene uz deklaraciju:

```
typedef struct _element {
    sadrzaj info;                /* Sadrzaj. */
    struct _element *sljed;      /* Pokazivac. */
} element;
```

U trenutku deklaracije pokazivača `sljed`,

- tip `struct _element` još nije potpuno određen.

Međutim, memorija potrebna za spremanje pokazivača na taj (ili neki drugi) tip — ne ovisi o tipu, pa je sve korektno.

Ovdje nam nužno treba ime strukture `_element`,

- za deklaraciju tipa pokazivača (taj tip moramo navesti).

Primjer deklaracije elementa vezane liste

Primjer. Elementi vezane liste trebaju sadržavati polje znakova od 80 znakova. Pripadana deklaracija tipa je

```
typedef struct _element {
    char ime[80];              /* Sadrzaj. */
    struct _element *next;     /* Pokazivac. */
} element;
```

Ovdje koristimo ime `next` za pokazivač na sljedeći element liste.

Tipični primjer kombinacije hrvatskih i engleskih imena!

Zadavanje vezane liste

Sad znamo kako izgledaju elementi vezane liste. Međutim, još nismo rekli kako izgleda cijela lista.

Po definiciji, vezana lista može biti prazna, tj. imati nula elemenata.

Zato se vezana lista ne zadaje prvim elementom, već

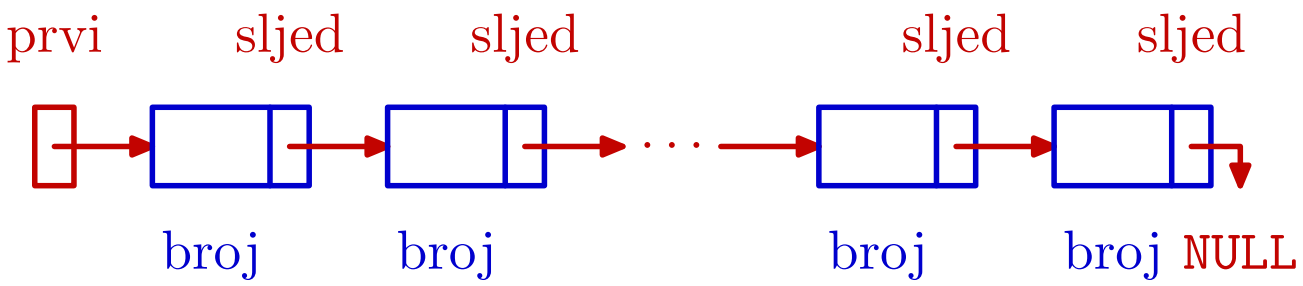
- pokazivačem na prvi element, ako takav element postoji.
- Lista je prazna, ako (i samo ako) je vrijednost tog pokazivača = `NULL`.

"Standardna imena" za taj pokazivač na prvi element liste su

- `prvi`, `glava`, `first`, `head`.

Izgled vezane liste

Slika vezane liste elementa:



Ključne stvari koje treba zapamtiti:

- lista se zadaje pokazivačem na prvi element — ovdje je to pokazivač s imenom `prvi`,
- svaki element ima pokazivač na sljedeći element u listi,
- taj pokazivač (član `sljed`) možemo interpretirati i kao listu sljedbenika tog elementa,
- zadnji element u listi ima praznu listu sljedbenika, tj. njegov `sljed = NULL`.

Deklaracija pokazivača na element vezane liste

Pokazivač na prvi element liste možemo definirati ovako:

```
struct _element *prvi;   /* Pocetak liste. */
```

To može i prije deklaracije tipa `element`.

Nakon deklaracije tipa `element` smijemo pisati i

```
element *prvi;    /* Pocetak liste. */
```

Najbolje je odmah uvesti i deklaraciju tipa za pokazivače na elemente liste. Recimo, ovako:

```
typedef struct _element *lista;
```

Deklaracija tipa za pokazivač na element liste

Taj oblik deklaracije tipa za pokazivače na elemente liste

```
typedef struct _element *lista;
```

smijemo napisati i prije deklaracije tipa `struct _element`.

Međutim, "skraćenu" deklaraciju tipa

```
typedef element *lista;
```

ne smijemo napisati prije deklaracije tipa `element`, već samo poslije.

Zato, odmah na početku, pišemo prvi oblik (sa `struct`), a svagdje dalje koristimo tip `lista` — i u deklaraciji tipa `element`.

Sve deklaracije tipova za vezanu listu

Sve potrebne deklaracije tipova za vezanu listu imaju sljedeći oblik:

```
typedef struct _element *lista;

typedef struct _element {
    sadrzaj info;          /* Sadrzaj. */
    lista sljed;           /* Pokazivac. */
} element;
...
lista prvi = NULL;    /* Pocetak liste. */
```

Dodatno, u zadnjem redu definiramo pokazivač `prvi` ("početak liste") i inicijaliziramo ga na `NULL` — prazna lista.

Vezana lista kao dinamička struktura

Nakon svih ovih deklaracija, mogli bismo definirati i nekoliko varijabli za elemente liste i povezati ih.

```
element a, b, c;    /* Elementi liste. */
...
prvi = &a;
strcpy(a.ime, "prvi"); /* NE: a.ime = "prvi"; */
a.sljed = &b;
strcpy(b.ime, "drugi");
b.sljed = &c;
strcpy(c.ime, "treci");
c.sljed = NULL;
```

Međutim, to se nikad tako ne radi u praksi.

Vezana lista kao dinamička struktura (nastavak)

Vezana lista i sve slične strukture su idealne za

- dinamičku promjenu veza među elementima,
- dodavanje novih i izbacivanje postojećih elemenata.

Zato se elementi takvih struktura uvijek kreiraju dinamičkom alokacijom memorije.

```
prvi = (lista) malloc(sizeof(element));
if (prvi == NULL) {
    printf("Alokacija nije uspjela.\n");
    exit(-1);
}
strcpy(prvi->ime, "prvi");
prvi->sljed = NULL;
```

Deklaracija elementa binarnog stabla

Deklaracija tipa za element binarnog stabla naših podataka:

```
typedef struct _cvor {
    sadrzaj info;              /* Sadrzaj. */
    struct _cvor *lijevi;      /* Pokazivac. */
    struct _cvor *desni;       /* Pokazivac. */
} cvor;
...
cvor *korijen;     /* Pokazivac na korijen. */
```

"Početni" element stabla obično se zove korijen. On nije "dijete" niti jednog elementa, tj. nema "roditelja" u stablu.

U dinamičkoj strukturi, to je pokazivač na "početni" element stabla.

Deklaracije tipova za binarno stablo

Možemo odmah uvesti i tip za pokazivače, ovog puta na engleskom:

```
typedef struct _treenode *Treeptr;

typedef struct _treenode {
    ...                          /* Sadrzaj. */
    Treeptr left;               /* Pokazivac. */
    Treeptr right;              /* Pokazivac. */
} Treenode;
...
Treeptr root;     /* Pokazivac na korijen. */
```

Vezane liste

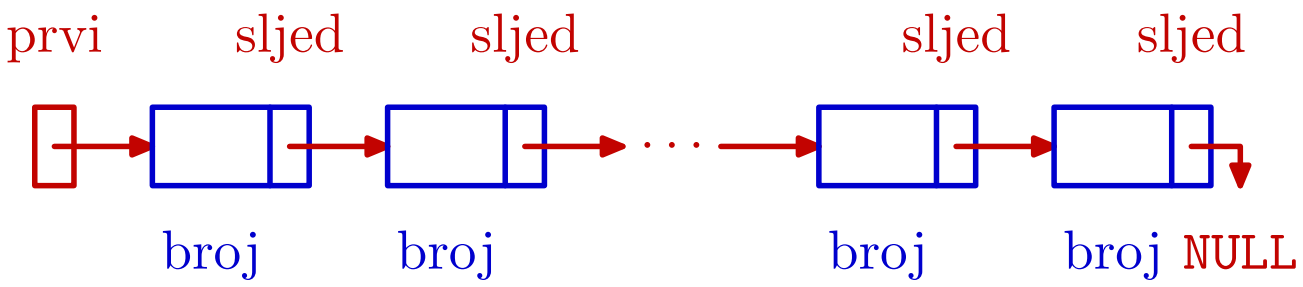
Sadržaj

- Vezane liste (detaljno):
  - Deklaracija vezane liste.
  - Kreiranje i uništavanje elemenata.
  - Ubacivanje na početak liste.
  - Izbacivanje s početka liste.
  - Prolaz kroz listu. Broj elemenata i ispis liste.
  - Traženje elemenata u listi.
  - Ubacivanje na kraj liste.

Vezana lista — uvod

Vezana lista je način spremanja uređenog niza podataka (kao i polje). Za razliku od polja,

- uređaj nije fizički, već je zadan pokazivačima.



Vezana lista je "fleksibilna" struktura (za razliku od polja). Zgodna je za spremanje uređenog niza kod kojeg se broj i uređaj podataka može dinamički mijenjati:

- dodavanje novih, brisanje postojećih elemenata,
- promjena veza (uređaja).

Probajte to napraviti na polju!

Operacije nad vezanim listama

Osnovne operacije nad vezanom listom su:

- kreiranje i uništavanje elemenata,
- dodavanje novog elementa u listu,
- brojanje elemenata liste,
- ispis liste,
- pretraživanje liste (prolaz kroz listu),
- izbacivanje ili brisanje elementa iz liste,
- spajanje (konkatenacija) dvije liste,
- sortiranje liste.

Neke od ovih operacija implementirat ćemo u sljedećim primjerima.

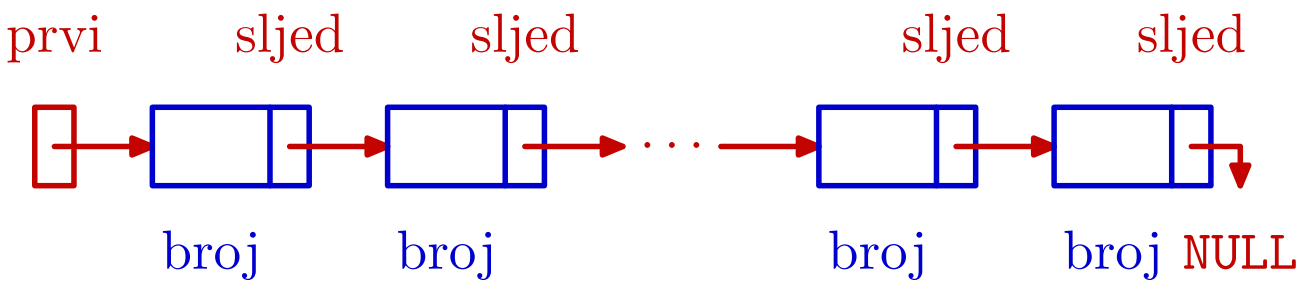
Modelni primjer liste

Kroz sve primjere koristimo vezanu listu cijelih brojeva:

```
    /* Tip za pokazivac na element liste. */

typedef struct _element *lista;

    /* Tip za element liste. */

typedef struct _element{
    int broj;               /* Sadrzaj je broj. */
    lista sljed;            /* Pokazivac na sljedeci */
} element;                  /* element u listi. */

lista prvi;    /* Pokazivac na pocetak liste. */
```

Modelni primjer liste (nastavak)

Slika takve vezane liste:



Operacije dodavanja i izbacivanja elemenata

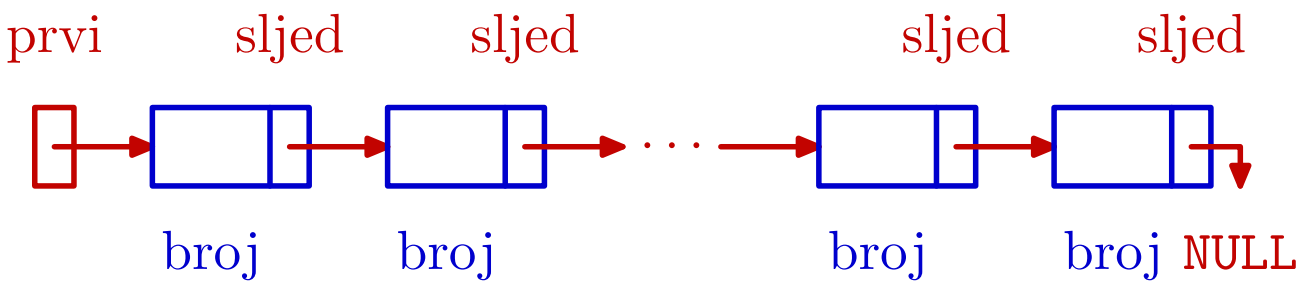
- najlakše se rade na početku liste,

zbog sekvencijalnog pristupa elementima.

Pristup bilo kojem elementu liste (ako lista nije prazna),

- moguć je samo preko pokazivača `prvi`,
- a onda se treba "prošetati" do elementa.

Pristup elementima — općenito



Elementi liste su "anonimni" — nemaju imena kao obične varijable. To znači da je pristup bilo kojem elementu moguć

- samo indirektno — preko nekog pokazivača na njega.

Ime takvog elementa je oblika `nesto->`, tj.

- "element na koji pokazuje pokazivač taj–i–taj".

Zato sve funkcije koje nešto rade s elementima vraćaju

- pokazivač na element, tj. objekt tipa `lista`.

Pristup elementima u vezanoj listi

Slično vrijedi i u vezanoj listi, kao sekvencijalnoj strukturi elemenata. Ako lista nije prazna, tj. ako je `prvi != NULL`,

- preko pokazivača `prvi` možemo pristupiti samo prvom elementu (`prvi->`).

Za pristup svim ostalim elementima u listi — iza prvog,

- moramo krenuti od `prvi` i "doći" do njegovog prethodnika u listi, a onda iskoristiti njegov `sljed`.

Ta "šetnja" se radi pomoćnim pokazivačem `pom`, jer

- pokazivač `prvi` uvijek pokazuje na početak liste!

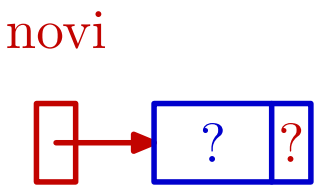
Zato sve funkcije koje nešto rade s listom vraćaju

- pokazivač na početak liste, čak i kad se on ne mijenja.

Kreiraj element

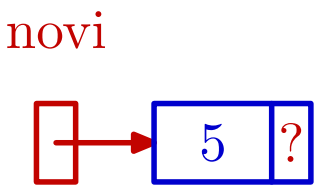

```
lista novi = NULL;
```

Kreiraj element



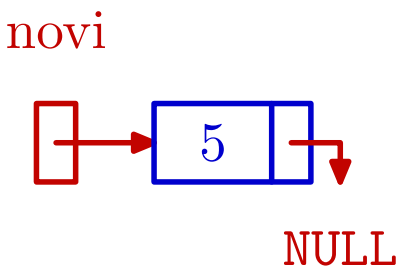

```
lista novi = NULL;
novi = (lista) malloc(sizeof(element));
```

Kreiraj element




```
lista novi = NULL;
novi = (lista) malloc(sizeof(element));
novi->broj = broj;
```

Kreiraj element

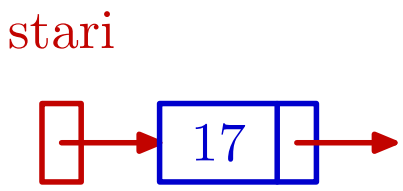



```
lista novi = NULL;
novi = (lista) malloc(sizeof(element));
novi->broj = broj;
novi->sljed = NULL;
```

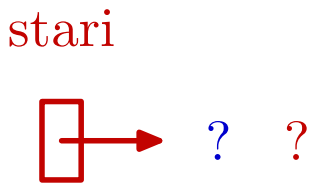
Funkcija kreiraj_novi

```
lista kreiraj_novi(int broj)
{
    lista novi = NULL;
    novi = (lista) malloc(sizeof(element));
    if (novi == NULL) {
        printf("Alokacija nije uspjela.\n");
        exit(-1);
    }
    novi->broj = broj;
    novi->sljed = NULL;

    return novi;
}
```

Obriši element



Obriši element




```
free(stari);
```

Obriši element

stari

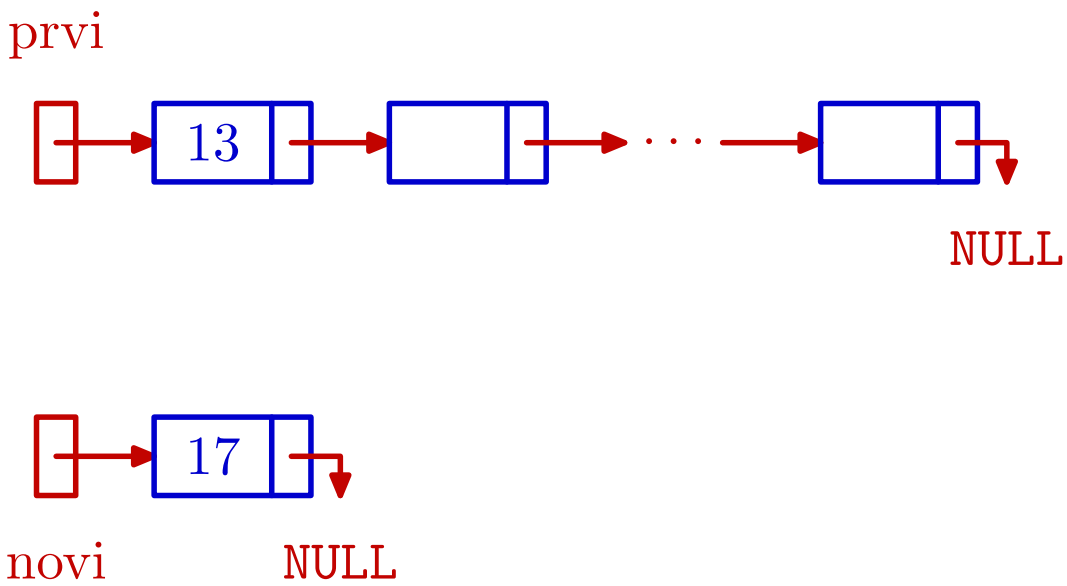
NULL

```
free(stari);
stari = NULL;
```

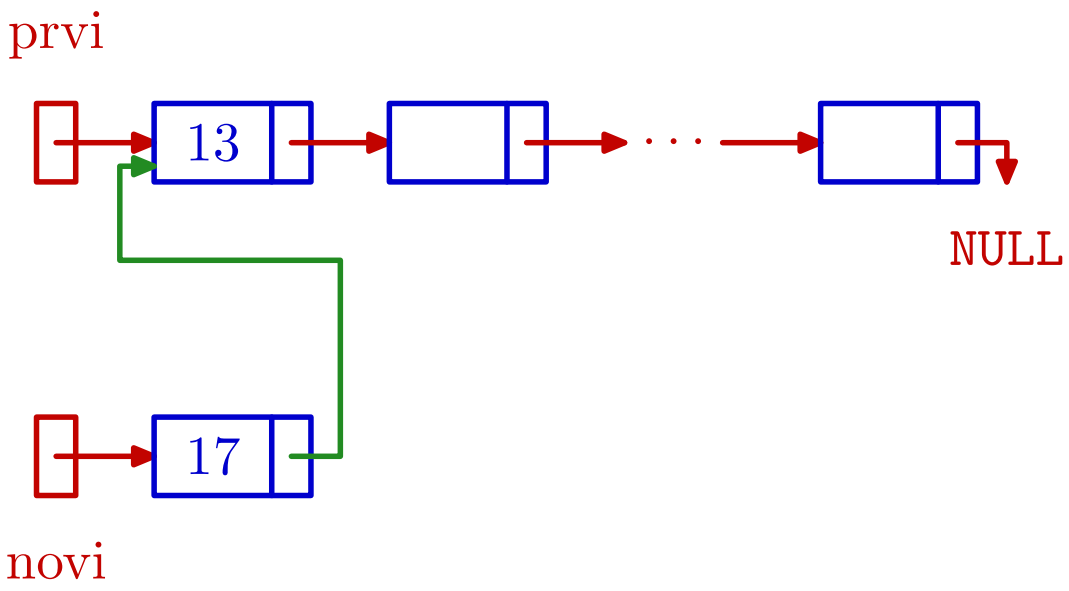
Funkcija obrisi_element

```
lista obrisi_element(lista stari)
{
    free(stari);

    return NULL;    /* umjesto stari = NULL; */
}
```

Ubaci na početak

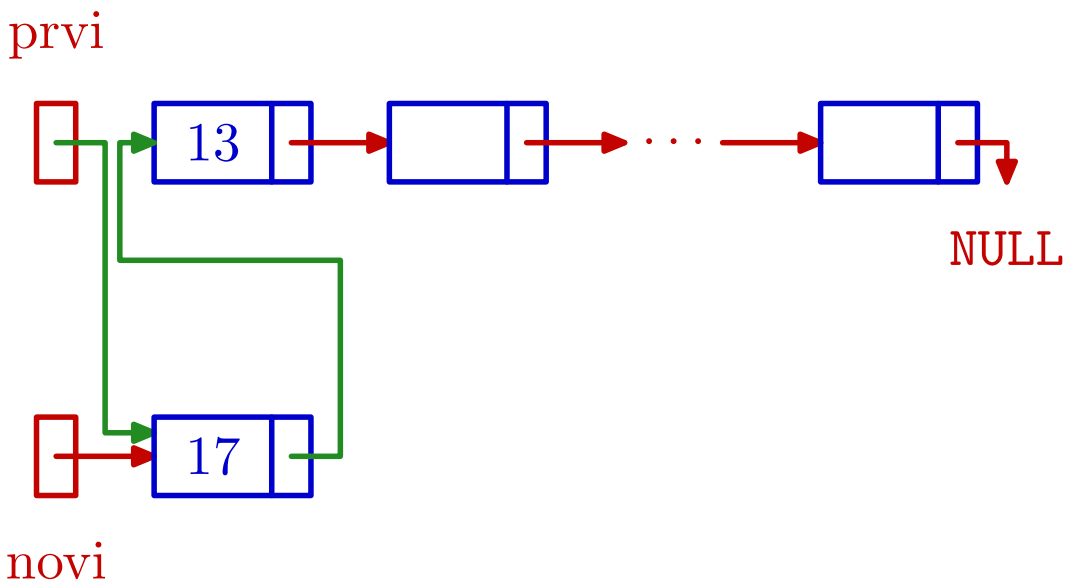


Ubaci na početak




```
novi->sljed = prvi;
```

Ubaci na početak




```
novi->sljed = prvi;
prvi = novi;
```

Funkcija ubaci_na_pocetak

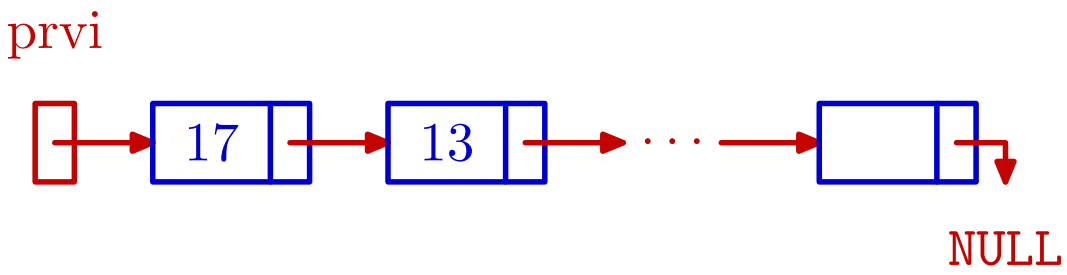
```
lista ubaci_na_pocetak(lista prvi, lista novi)
{
        /* Ne provjerava novi != NULL. */
    novi->sljed = prvi;
    prvi = novi;

    return prvi;
}
```

Ideja poziva za sve funkcije za rad s listom je

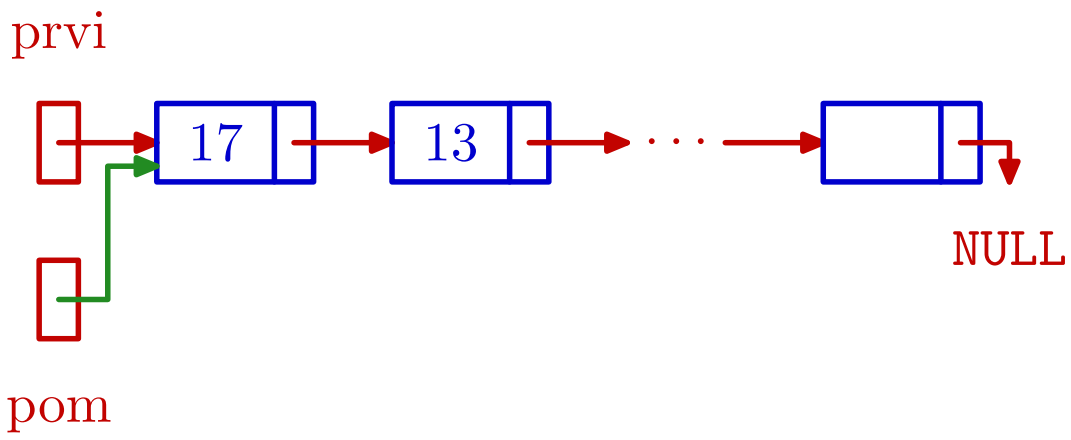
```
    prvi = funkcija_na_listi(prvi, ...);
```

s tim da je dozvoljeno da je lista prazna (na ulazu i izlazu).

Obriši prvog

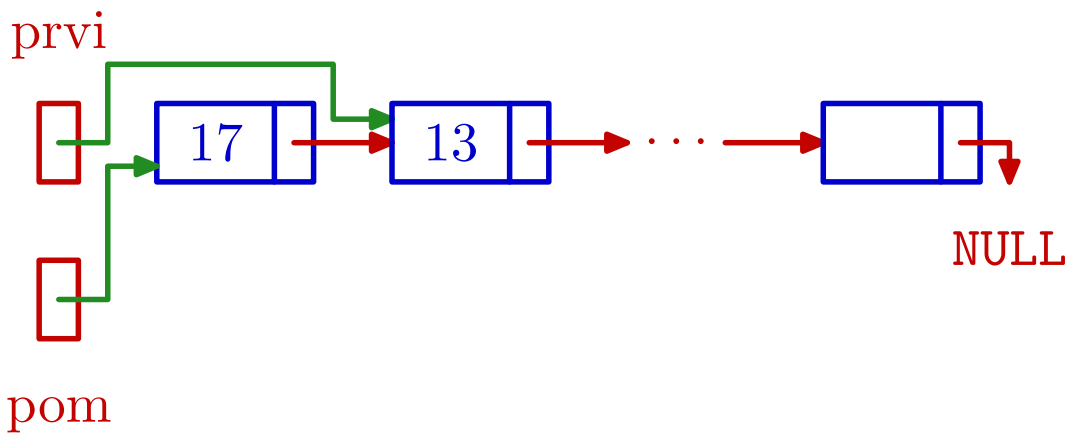


Obriši prvog



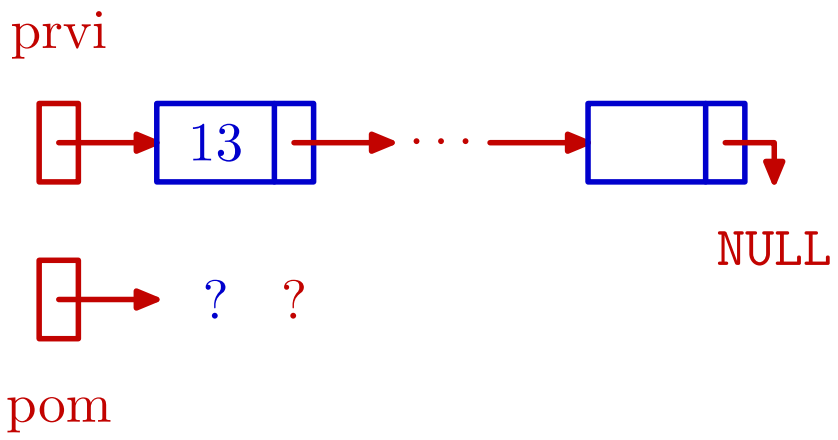

```
pom = prvi;
```

Obriši prvog




```
pom = prvi;
prvi = prvi->sljed;
```

Obriši prvog




```
pom = prvi;
prvi = prvi->sljed;
free(pom);
```

Funkcija obrisi_prvog

```
lista obrisi_prvog(lista prvi)
{
    lista pom;

    if (prvi != NULL) {
        pom = prvi;
        prvi = prvi->sljed;
        free(pom);
            /* Ne treba pom = NULL; */
    }

    return prvi;
}
```

Funkcija kreiraj_sprijeda

```
lista kreiraj_sprijeda(lista prvi, int broj)
{
    lista novi = NULL;
    novi = (lista) malloc(sizeof(element));
    if (novi == NULL) {
        printf("Alokacija nije uspjela.\n");
        exit(-1);
    }
    novi->broj = broj;
    novi->sljed = prvi;

        /* Ne treba prvi = novi, vec samo ovo: */
    return novi;
}
```

Funkcija `obrisi_listu`

Brisanje cijele liste $\Longleftrightarrow$ u petlji `while (prvi != NULL)` ponavljamo `prvi = obrisi_prvog(prvi);` pa dobijemo:

```
lista obrisi_listu(lista prvi)
{
    lista pom;

    while (prvi != NULL) {
        pom = prvi;
        prvi = prvi->sljed;
        free(pom);
    }
    return NULL;    /* <=> return prvi; */
}
```

Funkcija broj_elemenata

Broj elemenata u listi treba izračunati, vrlo slično kao kod stringova — "šetnjom" do kraja liste.

```
int broj_elemenata(lista prvi)
{
    lista pom;
    int brojac = 0;

    for (pom = prvi; pom != NULL; pom = pom->sljed)
        ++brojac;

    return brojac;
}
```

Funkcija ispisi_listu

```
void ispisi_listu(lista prvi)
{
    lista pom;
    int brojac = 0;

    for (pom = prvi; pom != NULL; pom = pom->sljed)
    {
        printf(" Element %2d, broj = %2d\n",
               ++brojac, pom->broj);
    }

    return;
}
```

Funkcija `trazi_broj`

Funkcija za traženje zadanog broja — vraća

- pokazivač na prvi element koji sadrži zadani broj, ili `NULL`, ako takvog elementa nema u listi.

Uočite "skraćeno" računanje uvjeta u `while`.

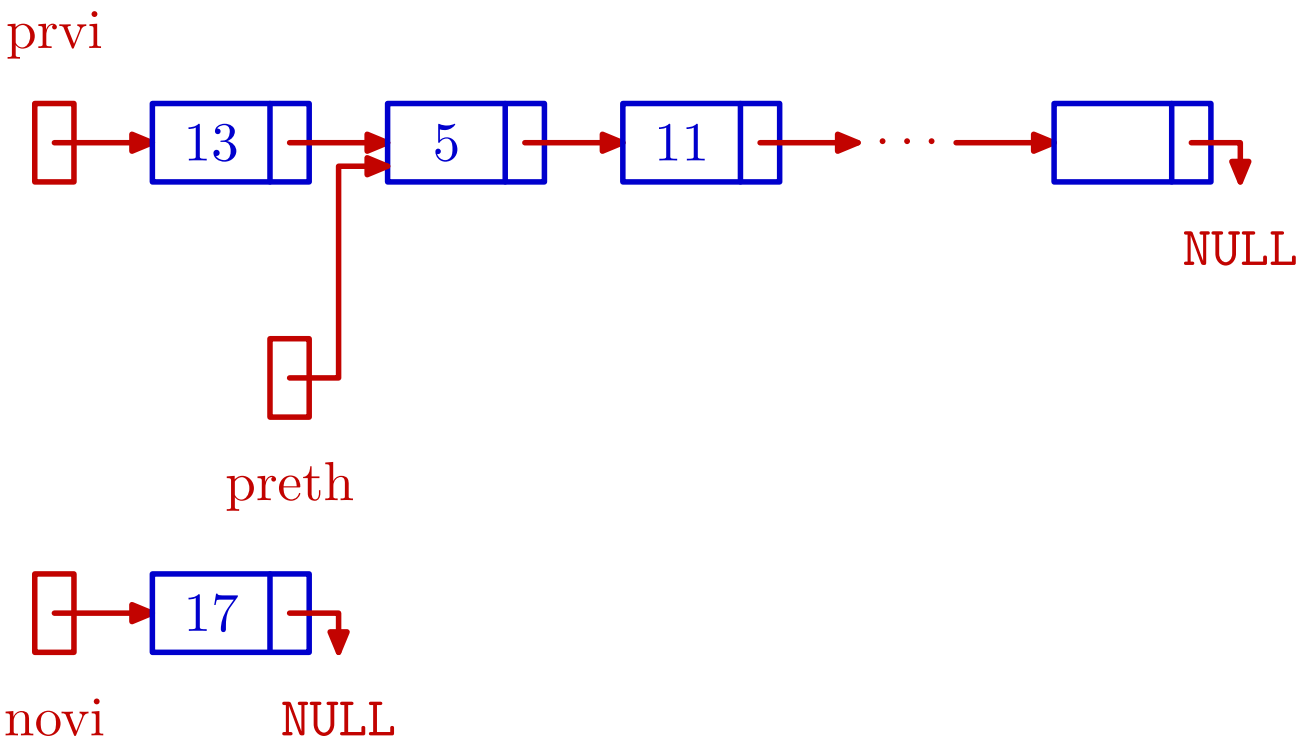
```
lista trazi_broj(lista prvi, int broj)
{
    lista pom = prvi;

    while (pom != NULL && pom->broj != broj)
        pom = pom->sljed;

    return pom;
}
```

Funkcija `trazi_zadnji`

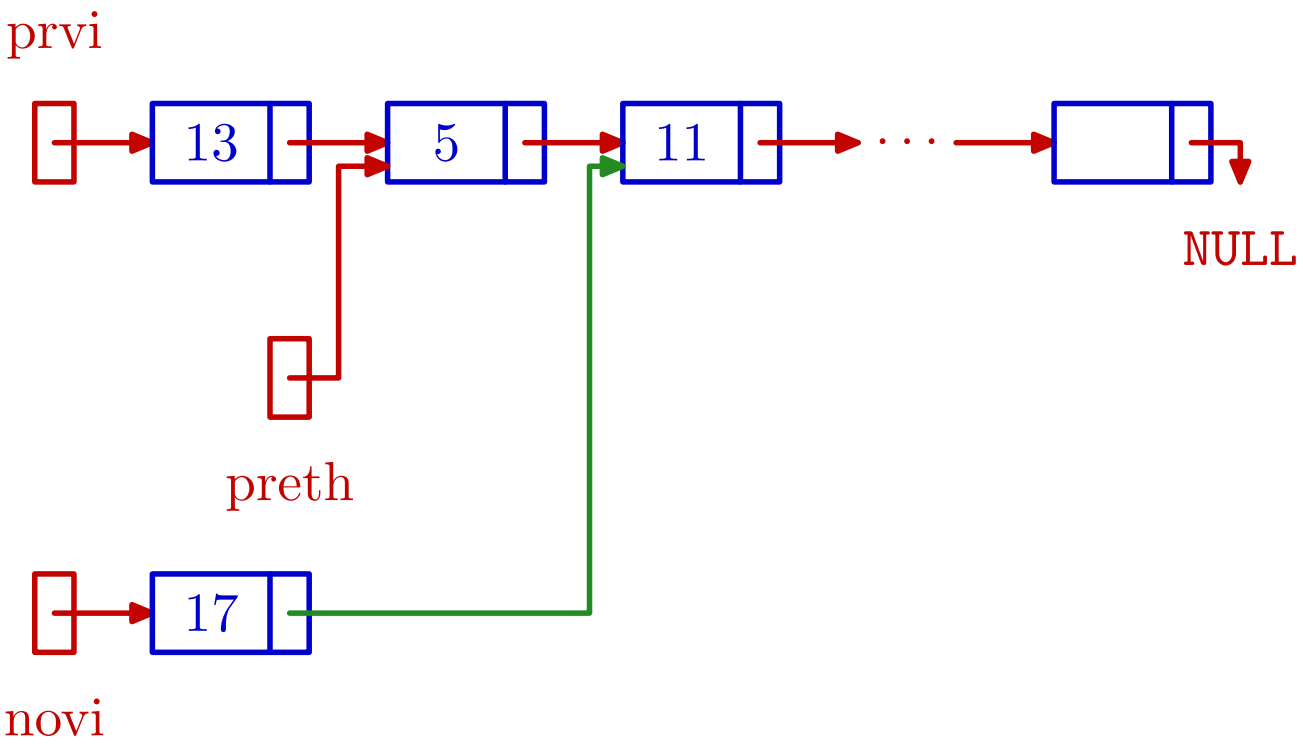
Funkcija vraća pokazivač na zadnji element u listi, ili `NULL`, ako takvog elementa nema.

```
lista trazi_zadnji(lista prvi)
{
    lista pom = prvi;

    if (prvi == NULL) return NULL;

    for ( ; pom->sljed != NULL; pom = pom->sljed);

    return pom;
}
```

Ubaci bilo gdje iza prvog

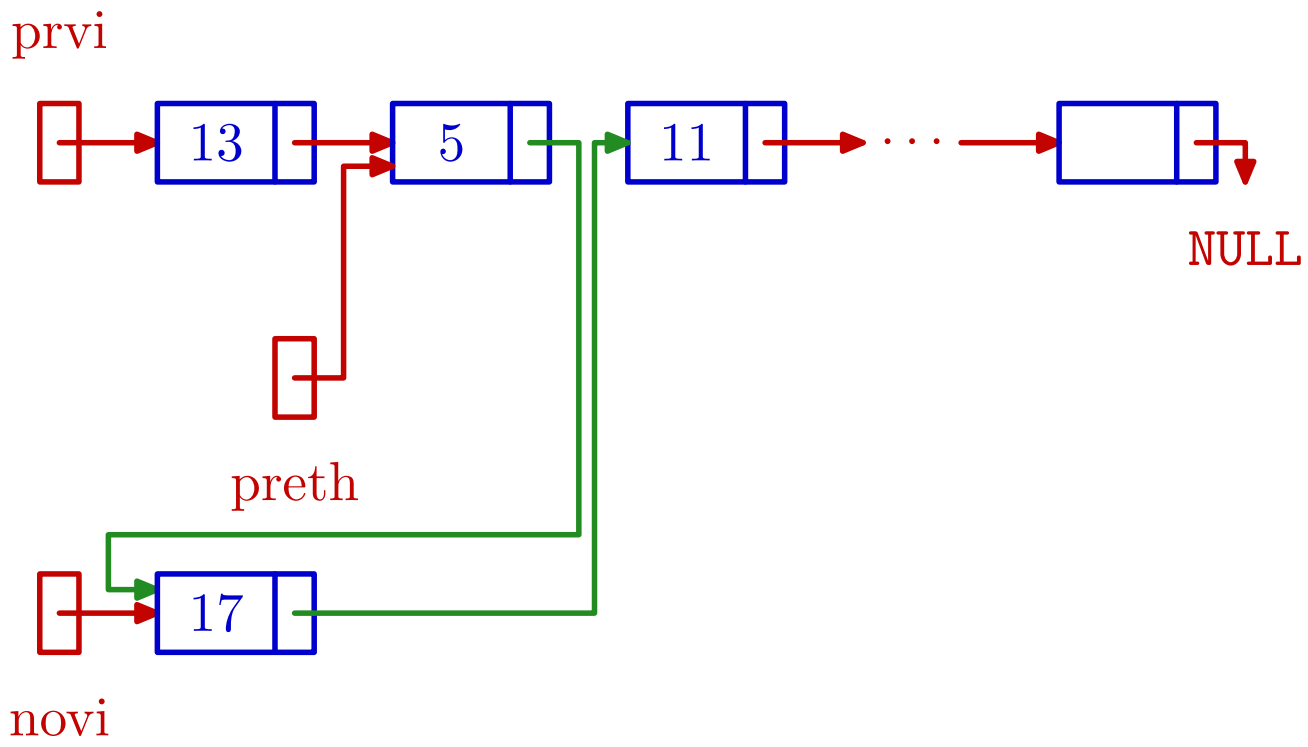


Ubaci bilo gdje iza prvog




```
novi->sljed = preth->sljed;
```

Ubaci bilo gdje iza prvog




```
novi->sljed = preth->sljed;
preth->sljed = novi;
```

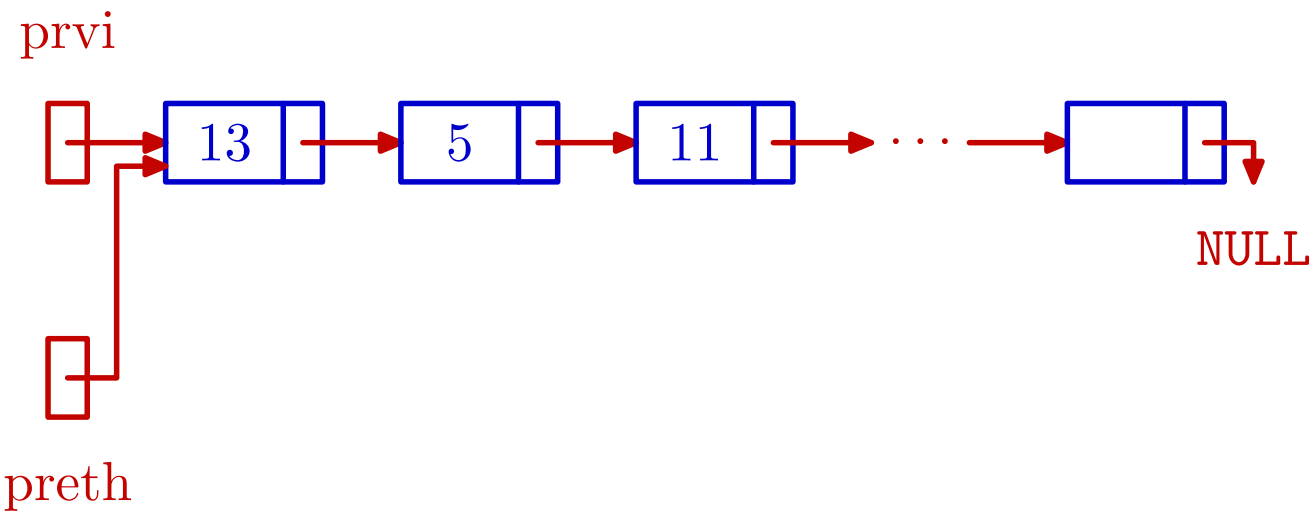
Funkcija `ubaci_iza`

```
lista ubaci_iza(lista prvi, lista preth, lista novi)
{
        /* Ne provjerava novi != NULL. */
```

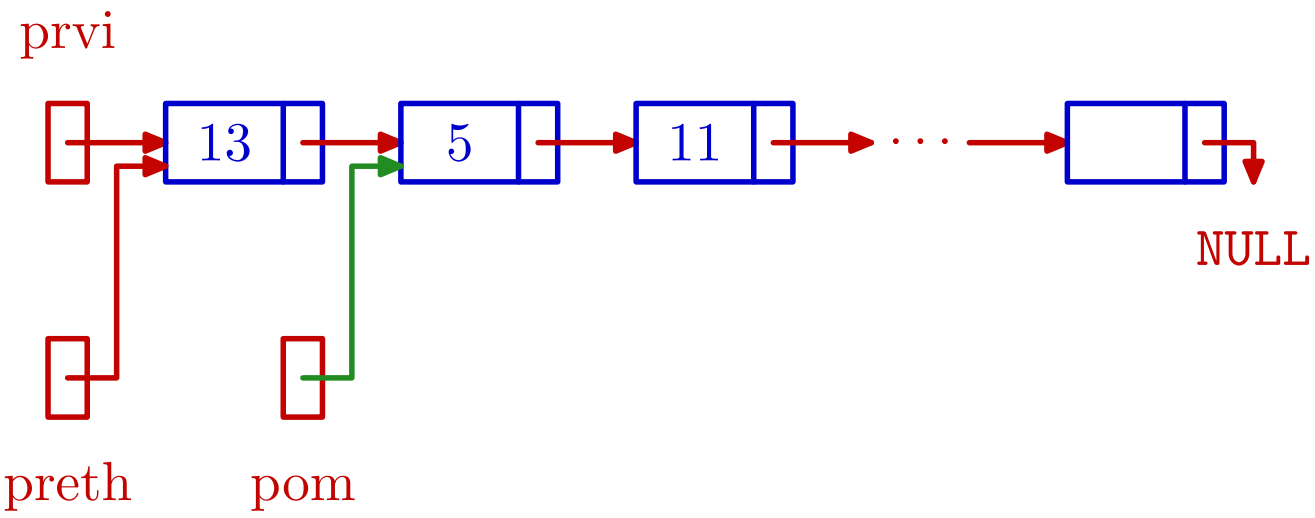
Funkcija `ubaci_iza` — *nastavak*

```
  /* Ako je preth == NULL, ubacujemo na pocetak. */

    if (preth == NULL) {
        novi->sljed = prvi;
        prvi = novi;
    }
    else {
        novi->sljed = preth->sljed;
        preth->sljed = novi;
    }

    return prvi;
}
```

Obriši bilo gdje iza prvog

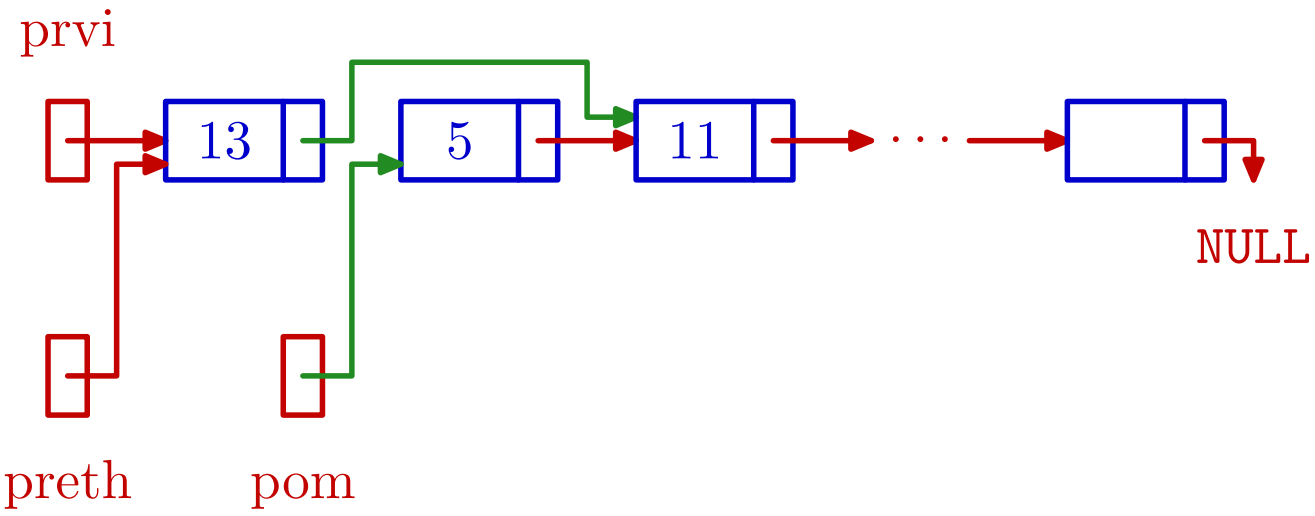


Obriši bilo gdje iza prvog



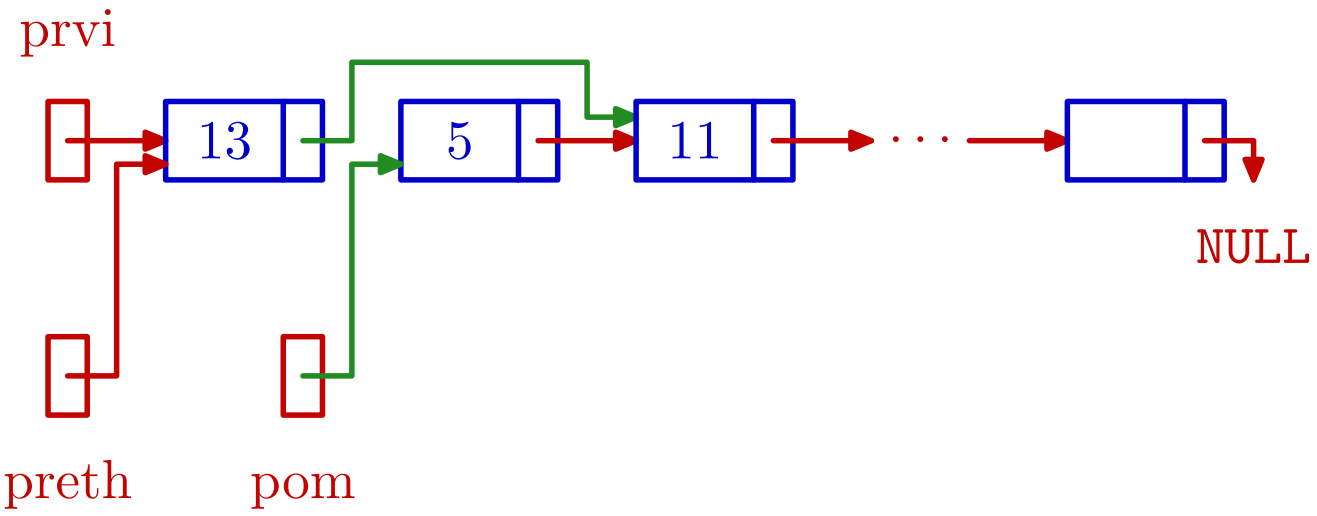

```
pom = preth->sljed;
```

Obriši bilo gdje iza prvog




```
pom = preth->sljed;
preth->sljed = pom->sljed;
```

Obriši bilo gdje iza prvog




```
pom = preth->sljed;
preth->sljed = pom->sljed;
```

Ako izbačeni element (na `pom`) zaista želimo "obrisati", onda

`pom = obrisi_element(pom);` ili samo `free(pom);`

No, s tim elementom možemo raditi i druge operacije.

Funkcija obrisi_iza

```
lista obrisi_iza(lista prvi, lista preth)
{
    lista pom;
```

Funkcija `obrisi_iza` — *nastavak*

```
  /* Ako je preth == NULL, brisemo prvi element. */

    if (preth == NULL) {
        pom = prvi;
        prvi = prvi->sljed;
    }
    else {
        pom = preth->sljed;
        preth->sljed = pom->sljed;
    }
    free(pom);

    return prvi;
}
```

Funkcija `obrisi_iza` — *komentari*

Ovaj oblik funkcije `obrisi_iza` ima dva nedostatka:

- ne provjerava je li ulazna lista prazna, tj. ne testira da li na početku vrijedi `prvi == NULL`,
- ne pazi na kraj liste, ako je `preth == zadnji`, tj. `preth->sljed == NULL`.

Uvjerite se da u oba slučaja funkcija ne radi dobro!

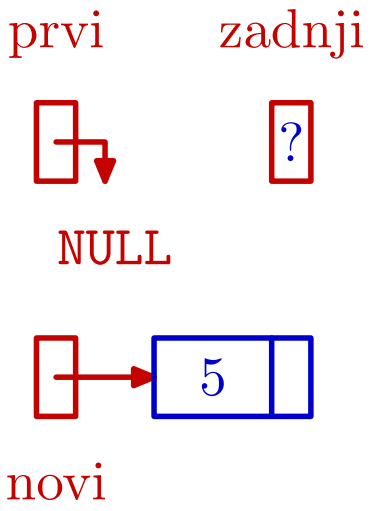
Što sve treba popraviti?

Još "pedantnija" varijanta:

- provjerava da li pokazivač `preth` zaista pokazuje na neki element liste zadane pokazivačem `prvi`.

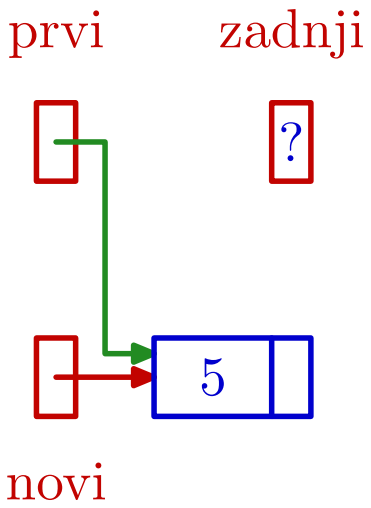
Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

Dodaj u praznu listu:



Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

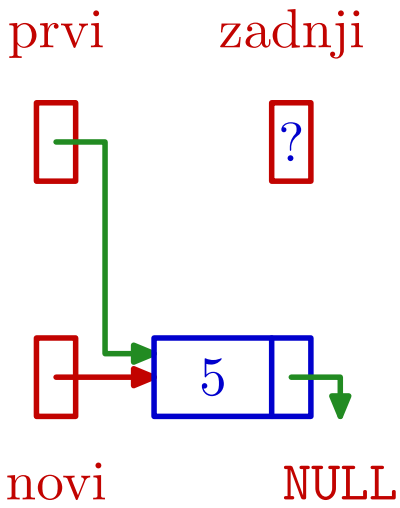
Dodaj u praznu listu:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
```

Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

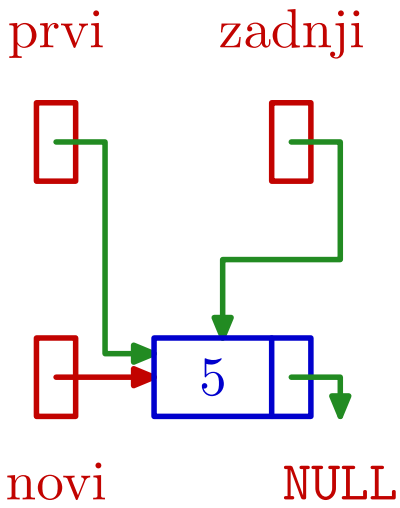
Dodaj u praznu listu:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
novi->sljed = NULL;
```

Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

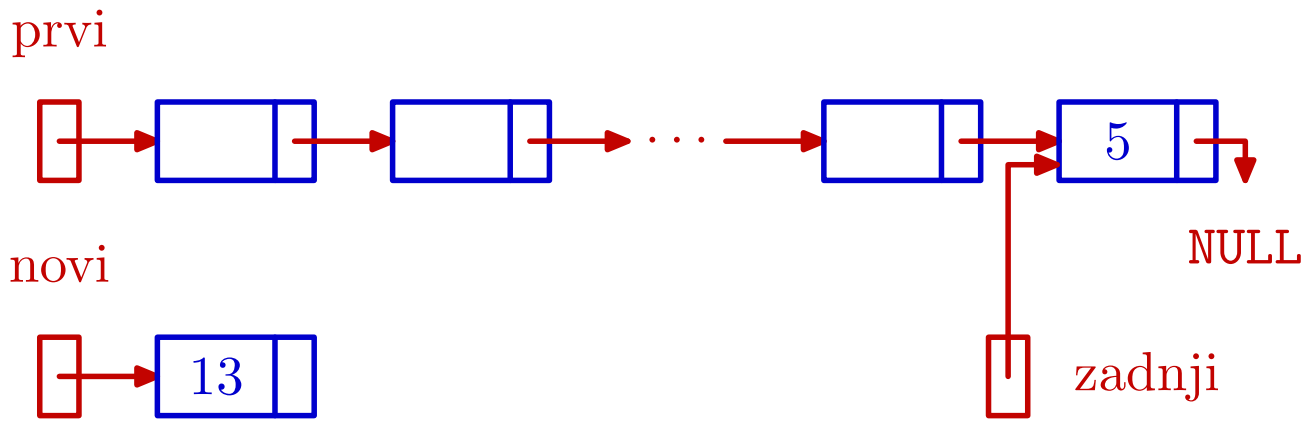
Dodaj u praznu listu:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
novi->sljed = NULL;
zadnji = novi;
```

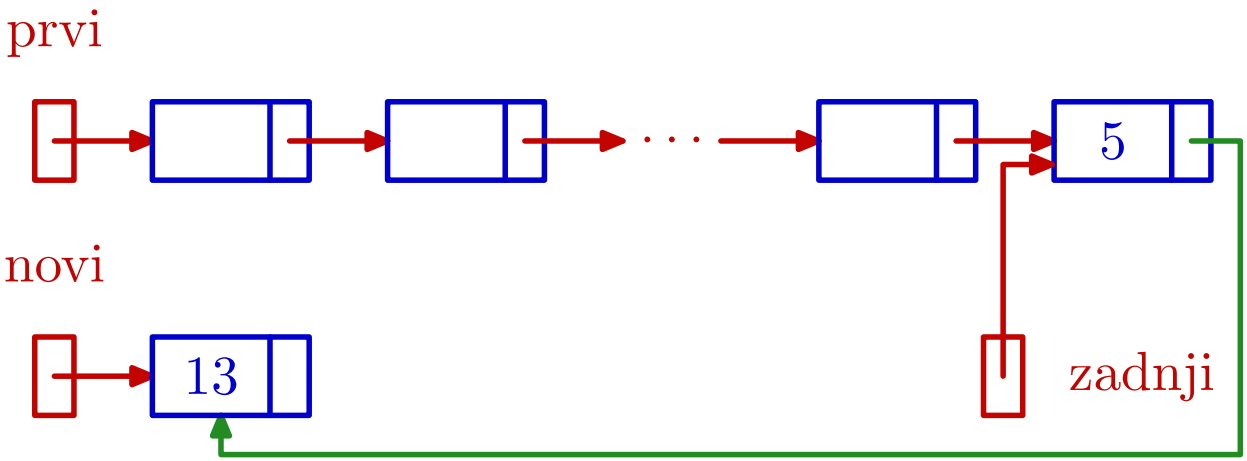
Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

Situacija nakon barem jednog ubacivanja na kraj:



Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

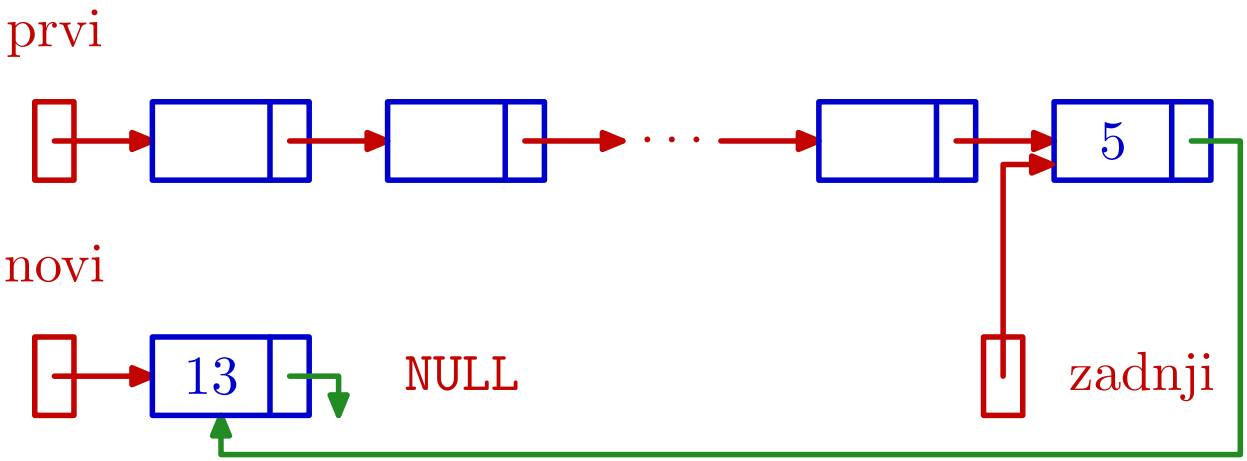
Situacija nakon barem jednog ubacivanja na kraj:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
```

Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

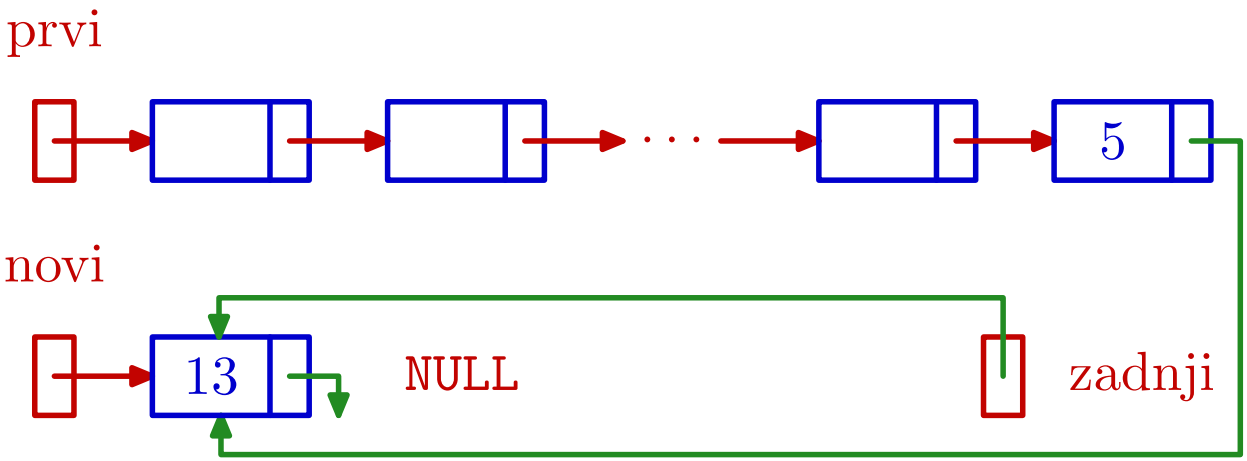
Situacija nakon barem jednog ubacivanja na kraj:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
novi->sljed = NULL;
```

Ubaci na kraj s pamćenjem zadnjeg

Situacija nakon barem jednog ubacivanja na kraj:




```
if (prvi == NULL)
    prvi = novi;
else /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
    zadnji->sljed = novi;
novi->sljed = NULL;
zadnji = novi;
```

Funkcija ubaci_na_kraj

```
lista ubaci_na_kraj(lista prvi, lista *p_zadnji,
                    lista novi)
{
        /* Ne provjerava novi != NULL. */
        /* Vraca zadnji kroz varijabilni
           argument - pokazivac p_zadnji. */

    lista zadnji = *p_zadnji;
```

Funkcija `ubaci_na_kraj` — *nastavak*

```
        /* Ovdje se moze dodati test:
           prvi == NULL || zadnji == NULL. */
    if (prvi == NULL)
        prvi = novi;
    else    /* Ocekujemo zadnji->sljed == NULL. */
        zadnji->sljed = novi;

    novi->sljed = NULL;
    zadnji = novi;
    *p_zadnji = zadnji;  /* Vrati zadnji! */

    return prvi;
}
```