

OOP1

Objektno-orijentisano programiranje 1

Veljko Selaković

prof. dr Igor Tartalja
prof. dr Dragan Milićev

Ako nadjete greske recite mi odmah da ispravim. Nebitno da li su slovne ili sam nesto pogresno lupio. Mozete i sami izmeniti na <https://github.com/veljkoselakovic/OOP1-skripta> i napraviti pull request

- **UML** - *Unified Modeling Language* (Kasnije predmet *Projektovanje softvera*, 5. semestar)

1 Osnovni ciljevi OOP

- Problem korišćenja postojećeg koda
 - **Biblioteka funkcija** - skupo održavanje, otklanjanje grešaka i proširivanje sistema
- Evolucija programskih jezika
 1. Apstrakcija izraza ~1950. - **FORTRAN**
 - Registri skriveni
 2. Apstrakcija kontrole ~1960. - **Algol60**
 - Tok kontrole programa - *petlje*
 3. Apstrakcija podataka ~1970. - **Pascal**
 - Razdvajanje detalja prezentacije podataka od apstraktnih operacija koje se definišu nad podacima - npr. *tipovi nabrajanja*
- Dodatni koncepti
 1. Zasebno prevođenje modula - **FORTRAN, C, Ada**
 2. Razdvajanje interfejsa od implementacije - **Ada**
 3. Koncept klase - **Simula67**
- 4 Osnovna principa OOP
 - Apstrakcija
 - (En)kapsulacija
 - Nasledivanje
 - Polimorfizam

2 C++

- Razvoj C++
 - $C \rightarrow C$ sa klasama $\rightarrow C++$
 - Svake 3 godine novi standard
 - ISO 98 \rightarrow ISO 03 \rightarrow ISO 11 \rightarrow ISO 14 \rightarrow ISO 17 \rightarrow ISO 20 (*još nije standardizovano*)
 - Spontani razvoj, za razliku od **Ade**
- Aspekti C++
 1. Da bude dovoljno blizak mašini
 - C++ je *nadskup* u velikoj većini slučajeva
 2. Da bude dovoljno blizak problemu
 - Klase iz **Simula67**
 - Preklapanje operatora iz Algola

3 Pregled gradiva koje će se raditi

- Klase i objekti
 - Klase su apstrakcije zajedničkih atributa i zajedničkog ponašanja jednog skupa srodnih objekata
 - Klasa sadrži
 1. Podatke članove (*atribut ili polje*)
 2. Funkcije članove (*metodi*)
 - Pristupačnost određenim članovima deklariraju programeri
 - **Implementaciju** klase čine \leftarrow *Kako radi?*
 1. Privatni podaci članovi
 2. Definicije funkcija
 - **Interfejs** klase čine \leftarrow *Šta radi?*
 1. Javni podaci članovi
 2. Deklaracije javnih funkcija
 - Instanca klase \rightarrow objekat $\left\{ \begin{array}{l} \text{Stanje} \\ \text{Ponašanje} \\ \text{Identitet} \end{array} \right.$
- Konstruktori i destruktori
 - Prilikom kreiranja i uništavanja objekta
 - Nemaju **return** tip
 - Automatsko izvršavanje prilikom kreiranja/uništavanja objekta
- Izvođenje i nasleđivanje
 - Iz opštije klase izvodimo specifične klase
 - Izvedene klase nasleđuju atribute i metode osnovne klase, i dodaju nove
 - Objekti izvedene klase su i indirektno instance osnovne klase
 - U izrazima izvedeni objekti mogu zameniti osnovnu klasu - *Liskov substitution principle*
 - Nasleđeni metodi se mogu redefinisati
- Polimorfizam
 - Ako se funkcija proglasi virtual na nju se primeni **dinamičko vezivanje**
 - **Dinamičko vezivanje** - Adresa se ne određuje u vreme povezivanja, poziv se vezuje za funkciju u vreme izvršenja
 - Ponašanje objekta ne zavisi samo od tipa pokazivača, već i od tipa pokazanog objekta
- Klasifikacija objektnih jezika
 1. Objektno-bazirani
 - Apstrakcija, (en)kapsulacija, modularnost
Ada83, Visual Basic 6
 2. Objektno-orijentisani
 - Princip nasleđivanja
Simula, Smalltalk, Ada95, C++, Java, VB.Net, C#
- Obrada izuztenih situacija
 - Nepostojeće datoteke, prekoračenje opsega indeksa,...
 - Tradicionalni jezici u funkciji vraćaju vrednost koja signalizira grešku, koja se naknadno analizira
 - Kod postane nepregledan
 - **try/catch/throw** ključne reči
- Šabloni (*Templates*)
 - Određene obrade ne zavise od tipa podataka
 - *Generičko programiranje*
 - Statički mehanizam - *u prevodu se zameni*
- Preklapanje operatora
 - Sam koncept nije OO, ali se dobro uklapa
 - Redefinicija standardnih jezičkih operatora
operator<simbol>
 - Ne mogu se preklopiti svi operatori, a za neke važe posebna pravila

4 Proširenja jezika C

- Deklaracija vs definicija

- Deklaracija je iskaz koji
 1. Uvodi ime u program
 2. Govori prevodiocu kojoj jezičkoj kategoriji pripada ime
- Definicija
 1. Kreira objekat ILI
 2. Navodi telo funkcije ILI
 3. U potpunosti navodi strukturu korisničkog tipa

```
void f(int x, float y);    // Deklaracija
void f(int x, float y) {...} // Definicija
extern int x; // Deklaracija
int x; //Definicija
class X; //Deklaracija
class X { ... }; //Definicija
```

- Samo jedna definicija, a proizvoljno mnogo deklaracija
- Objekat može biti definisan i deklarisan u istom redu

- Objekti

- Objekat u širem smislu - **podatak**
- Objekat u užem smislu - **instanca klase**
- Objekat ima
 1. Stanje
 2. Ponašanje
 3. Identitet → primitivni podaci nemaju identitet
- **Promenljiva** je lokacija u kojoj se čuva podatak
- Podela promenljivih
 1. Statička
 2. Automatska
 3. Dinamička
 4. Privremena (*tranzijentna*)

- Lvrrednosti (*LVALUE*)

- Izraz koji upućuje na objekat ili funkciju
- Operatori čiji operandi moraju biti LVAL
unarni `&`, `++`, `--`, **levi operandi svih operatora dodele**
- Operatori čiji su rezultati LVAL
unarni `*`, `[]`, **prefiksni** `++` i `--`, **operatori dodele**
- DVrednost je sve što nije LVrednost (*RVALUE*)

```
int *q[100];
q[10]=&i; //q[10] je lvrednost
*q[10]=1; // *q[10] je lvrednost
q = &i; // ERROR, ime niza nije vrednost
int a=1, b=2, c=3;
(a=b)=c; // OK
(a+b)=c; // ERROR
++ ++i; // OK
i++ ++; // ERROR
```

- Oblast važenja (*Scope*)

- Onaj deo teksta programa u kome se deklarirano ime može koristiti
- **Dinamičko vezivanje** imena → od mesta deklaracije do kraja datoteke (globalna imena)
- **Lokalna** imena → od mesta deklarisanja do kraja odgovarajućeg bloka
- Sakrivanje imena
 1. Ako se definiše u nekom bloku, globalno je skriveno
 2. Ako se redefiniše u unutrašnjem bloku, ime iz spoljašnjeg bloka je sakriveno do izlaska iz bloka
- Pristup globalnom imeu koristeći operator ::

BITNO

```
int x = 0; // Globalno x
void f() {
    int y=x, x; // y dobija vrednost globalnog x
    x=1; // Lokalno x
    ::x=5; // Globalno x
    {
        int x; // Novo lokalno x, sakriva prethodno
        x=2;
    }
    x=3; // Pristup prvom lokalnom
}
int *p = &x; // Globalno x
```

- Specifični dosezi

- Oblast važenja funkcije imaju samo labele
- **for** petlja
- Ranije verzije kompajlera su imale doseg promenljivih koji je bio 1 blok **van** (**for** (MS VC++.6)
- U **if** doseg do kraja **else**

- Klasni/Strukturni doseg

- Oblast važenja imaju svi njeni članovi
 1. . → levi operand objekat
 2. -> → levi operand pokazivač na objekat
 3. :: → levi operand ime klase

- Životni vek objekata

- Vreme u toku izvršavanja programa u kojem objekat postoji i za koje mu se može pristupati
- Vek atributa klase = vek objekta
- Vek parametra = vek automatskog objekta
 1. Statički objekti
 2. Automatski objekti
 3. Dinamički objekti
 4. Privremeni (*tranzijentni*) objekat

- Statički i automatski objekti

- Automatski objekat je lokalni objekat koji nije definisan kao *static*
 1. **Životni vek** - od definicije do kraja oblasti važenja
 2. Svaki put se kreira iznova prilikom poziva bloka u kom je definisan
 3. Prostor se alocira na *stack*
- Statički objekat je globalni objekat ili lokalni deklarisan kao *static*

Globalni { 1. **Životni vek** - od definicije do kraja izvršenja *main*
 2. Kreiraju se jednom, na početku izvršavanja, pre funkcija objekta
 Lokalni { 3. Počinju da žive pri prvom nailasku na njih

- Dinamički i privremeni objekti
 - Dinamički objekti se kreiraju i uništavaju posebnim operacijama
 1. **Životni vek** - kontroliše programer
 2. **new/delete**
 3. Prostor alocira na *heap*
 - Privremeni objekti se kreiraju pri izračunavanju izraza
 1. **Životni vek** - kratak i nedefinisan
 2. Odlaganje međurezultata i privremeno smeštanja vraćenih vrednosti funkcije
 3. Najčešće se uništavaju čim nisu potrebni
- Leksički elementi
 - Komentari
 1. `//...`
 2. `/* ... */`
 - 73 ključne reči + alternative
 - C++11 `bool`, C11: `_Bool`
 - Specijalne (ali ne i rezervisane) reči: **final** i **override** (*Backwards compatibility*)
 - Ne treba započinjati imena donjom crtom
- Tipizacija
 - **Stroga tipizacija** - objekti različitih tipova se ne mogu proizvoljno zamenjivati
 - C++ je hibridan
 1. Za osnovne primitivne tipove ✓
 2. Za sve ostalo X
- Konverzija
 - Operatori zahtevaju određene tipove operanada
 - Naredbe zahtevaju određene tipove operanada
`for`, `if`, `while...`
- Vrste konverzija tipova
 - **Standarna konverzija** - ugrađeno u jezik
npr. `int` → `float`, `char` → `int`
 - **Korisnička konverzija** - definiše programer
 - Pored toga, konverzija može biti
 1. **Implicitna** - prevodilac je automatski vrši
 2. **EksPLICITna** - zahteva programer
 - C koristi *cast* operator
`(tip)izraz`
 - C++ uvodi 4 specifična *cast* operatora
 - Postoji i konverzioni konstruktor
- Priduživanje imena tipu
 - C-stil
`typedef opis_tipa = ime_tipa`
 - C++ stil, čitljivije
`using ime_tipa = opis_tipa`
- Određivanje tipa izrazom
`decltype (izraz) promenljiva [= vrednost]`
 - Izraz se **ne** izračunava
 - Primena kod *template-ova*

```
typedef unsigned long long int Ceo1;
using Ceo2 = unsigned long long int;
```

```
int x=1; double y=2.3;
decltype(x) a = x; // a je int
decltype(y) b = y; // b je float
decltype(a++) c = a; // c == a == 1
```

- Automatsko određivanje tipa

- auto ključna reč određuje tip na osnovu inicijalne vrednosti U C, auto označava automatsku lokalnu promenljivu, i ne piše se

```
auto int a = 10; // Samo u C
auto a = 10; // C++, a je int
```

- Odloženo navođenje tipa funkcije

auto ime_funkcije(parametri) -> tip

- Koristi se kod *template-ova*
- C++14 tip može da se izostavi
 1. U tom slučaju tip se odredi preko **return** tipa ili definicije
 2. Funkcija ne sme da se poziva pre navođenja definicija na mestima gde je tip bitan

```
auto func(int x) -> double { ... } // return tip je double
auto f() { return 1; }
auto g();
auto a = g(); // ERROR
auto g() { return 0.5; }
auto b = g() // OK
```

- Konstante

- Izvedeni tip
const tip ime = vrednost;
- Mora da se inicijalizuje pri definisanju
- Izraz ne morada bude konstantan

- Konstante inicijalizovane **konstantnim** izrazom (*simboličke* ili *kompilacione* konstante) mogu da se koriste u izrazima koji moraju biti konstantni (računaju se **u toku** prevođenja)
npr. Dimenzija statičkog niza

BITNO

- **Simboličke** konstante NE alociraju memoriju

```
const char* pk = niz; ← pokazivač na konstantu
char* const kp = niz; ← konstantni pokazivač
```

- Ubacivanje **const** u parametre funkcije obezbeđuje da se dati objekat ne menja
- Ubacivanje **const** u **return** tipu funkcije obezbeđuje da se privremeni objekat rezultata ne može menjati
- POGLEDATI **constexpr**

```
char niz[] = { 'i', 'd', 'e', ' ', 'g', 'a', 's', '\0' };
const char* pk = niz; // Pokazivac na konstantu
pk[3] = '-';          // ERROR
pk = "OOP:(";          // OK
char* const pk = niz // Konstantni pokazivac
pk[3] = '-';          // OK
pk = "OOP:(";          // ERROR
```

- Znakovne konstante

- U C → int (65 i 'A' su ista stvar)
- U C++ → char
- U izrazima **false** → 0, a u dodeli vrednosti logičkim promenljivama 0 → **false**

- Prostori imena (**namespace**)

- Mehanizam za izbegavanje konflikata imena
`namespace ID { sadržaj }`
- Jednoznačno ime
 1. Celo ime `A::i`
 2. Uvoz imena `using A::i`
 3. Uvoz svih imena `using namespace A`

- Stringovi

- C stil - niz znakova koji se završava sa `\0`
- Literal C++ stringa je `const char*`
- Literal C stringa je `char*`
- C++ - podrazumevani string je

- Tipovi **enum**, **struct** i **union**

- Identifikatori ova 3 tipa mogu da se koriste kao oznaka tipa, bez ključne reči
- Ako u doseg postoji objekat sa istim identifikatorom, sam ID označava objekat, a ne tip

```
enum RadniDan {Pon, Uto, Sre, Cet, Pet};
RadniDan r_dan = Uto;
int RadniDan;
enum RadniDan r1 = Sre; // OK
RadniDan r1 = Pon;      // ERROR
```

- Tip nabiranja (enum)

- Svaki **enum** je poseban celobrojni tip
- Definisana je samo operacija dodele vrednosti
 1. Eksplicitna konverzija celobrojne vrednosti u tip nabiranja je obavezna
 2. Ne otkriva se greška ako konvertovana vrednost nije u opsegu
- U aritmetičkim i relacijskim izrazima, kao i pri dodeli promenljivoj tipa `int`, konverzija je automatska

```
enum Dani {PO=1, UT, SR, CE, PE, SU, NE, POSLEDNJI=7}; // NE i POSLEDNJI su 7
Dani dan=SR; // OK
Dani d=4; // ERROR - nije eksplicitna konverzija
dan++; // ERROR - nije definisana operacija ++
dan=(Dani)(dan+1); // OK
if (dan<NE) { ... } // OK
dan=(Dani)8; // Ne prijavljuje se logicka greska
```

- Pripadajući tip nabiranja

- Numerička reprezentacija nabiranja
- Kompaktnije, podrazumeva se `int`
`enum ime: pripadajući_tip {imenovane_konstante}`
- Paziti opsege

- Nabiranja sa ograničenim dosegom

- Isti doseg kao i tip nabiranja
- Rešenje - **struct** ili **class** iza **enum**
- Pristup konstanti sa `::`
- Obavezna eksplicitna konverzija u ceo broj
`int i = (int)tip::ime`

```
enum SemaforPesaci {CRVENO, ZELENO};
enum SemaforVozila {ZELENO, ZUTO, CRVENO}; // ERROR
enum struct SemaforPesaci {CRVENO, ZELENO};
enum struct SemaforVozila {ZELENO, ZUTO, CRVENO};
SemaforPesaci sp = SemaforPesaci::CRVENO;
SemaforVozila sv = ZUTO; // ERROR
int i = (int) SemaforVozila::ZELENO; // Obavezna konverzija
```

- Inicijalizatorske liste

{vrednost, vrednost, ..., vrednost}

- Inicijalizacija **svih** vrsta podataka, čak i prostih
- Paziti na nebezbedne konverzije
- Vrednosti se dodeljuju redom (čak i strukturama, uniji se popuni prvo polje)
- Manjak vrednosti → popunjava se nulama
- Višak vrednosti → Greška
- Argumenti funkcija i izrazi u **return** mogu biti ove liste
- Bezimeni podatak
- Niz ne može da dobije vrednost liste nakon inicijalizacije, sem ako je deo neke strukture

ČUDNO

```
int i1={1}, i2{1}, i3={i1+i2};
i1={2};
int i4={0.5}; // ERROR - nije bezbedno
int *pi=&i1;
int n1[5]={1,2,3}, n2[5]{1,2,3}, n3[] {1,2,3};
int m[] [3]{{1,2},{},{1,2,3}};
n1={4,5,6}; // ERROR
struct S1{int a,b};
S1 s11={1,2}, s12{1,2}; s11={3,4};
struct S2{int a; S1 b; int c[3]};
S2 s21={1,{2,3}, {4,5,6}}, s22{1,2,3,4,5,6};
s21 = {6, {5,4}, {3,2,1}};
```

- Bezimena unija

- Predstavlja objekat koji sadrži u raznim trenucima razne tipove podataka
- Datotečki ili blokovski doseg
- Unija za koju je definisan barem 1 objekat ili pokazivač → nije bezimena unija, iako nema ime

```
union{ int i; double d; char *pc; };
i=55; d=123.456; pc="ABC";
```

- Uvek promenljiva polja (mutable)

- Polje označeno sa **mutable** može da se menja čak i za **const** parametre

```
struct X{
    int a;
    mutable int b;
};
int main(){
    X x1;
    const X x2;
    x1.a = 4;
    x1.b = 2;
    x2.a = 3; // ERROR
    x2/b = 4; // OK
}
```

- Dinamički objekti

- `new/delete`
- Operand operatora `new` je identifikator tipa `T` sa eventualnim inicijalizatorima
 1. Alocira potreban prostor za objekat datog tipa
 2. Poziva konstruktor tipa
- Ako nema mesta `bad_alloc` exception
U nestandardizovanom C++ vraća se `nullptr`
- Vraća pokazivač na kreirani objekat
`T *t = new (nothrow)T;` ← Ignorisanje exceptiona, vraća `nullptr` ako ne uspe
- Stavlja na *heap*

- Uništavanje dinamičkih objekata

- `delete` ima 1 operand (pokazivač nekog tipa)
- Mora biti objekat kreiran pomoću `new`, inače će ponašanje biti nepredviđeno
- `delete nullptr` ne radi ništa
 1. Poziva destruktora za pokazani objekat
 2. Oslobađa zauzeti prostor
- `delete` vraća `void`

- Dinamički nizovi

- Sve dimenzije niza osim prve moraju biti konstantni izrazi
- Inicijalizacija
 1. Podrazumevani konstruktor ILI
 2. Generisani konstruktor
- `delete [] pt;`
- Redosled konstrukcije po rastućem indeksu
- Redosled destrukcije obrnut od redosleda konstrukcije
- Može inicijalizatorska lista

- Reference

- C isključivo po vrednosti prenosi argumente
- C++ prenosi argumente i po referenci

```
void f(int i, int &j){ // i po vrednosti, j po referenci
    i++; // stvarni argument se nece promeniti
    j++; // stvarni argument ce se promeniti
}
int main () {
    int si=0,sj=0;
    f(si,sj);
    cout<<"si="<<si<<" , sj="<<sj<<endl;
}
Izlaz: si=0, sj=1
```

- Definisanje referenci

- Reference na LVrednosti (`lvalue`)
- Znak `&` ispred imena
- Sinonim za objekat, ne može se promeniti
- U definiciji mora da se inicijalizuje objektom
- Svaka naredba nad referencom je operacija nad pokazanim objektom

```
int i=1; // celobrojni objekat i
int &j=i; // j upucuje na i
i=3; // menja se i
j=5; // opet se menja i
int *p=&j; // isto sto i &i
j+=1; // isto sto i i+=1
int k=j; // posredan pristup do i preko reference
int m=*p; // posredan pristup do i preko pokazivaca
```

- Implementacija referenci

- Slično konstanom pokazivaču

```
int &j = *new int(2);
delete &j;
```
- Ako je referenca na `const` objekat, ne sme se menjati
- Ne postoje nizovi referenci, pokazivači na referencu, kao ni reference na reference
- Referenca na pokazivač je dozvoljena

- Funkcije koje vraćaju reference

- Funkcija mora da vrati referencu na objekat koji je *živ* i posle funkcije
- Rezultat poziva funkcija je LVrednost (lvalue) samo kao funkcija vraća referencu

```
int& f(int &i) { int &r = *new int(i); return r; } // OK
int& f(int &i) { return *new int(i); } // OK
int& f(int &i) { return i; } // OK
int& f(int &i) { int r = i; return r; } // NIJE OK
int& f(int i) { return i; } // NIJE OK
int& f(int &i) { int r = *new int(i); return r; } // NIJE OK
int& f(int &i) { int j = i; &r = j; return r; } // NIJE OK
```

- Obilazak elemenata niza u petlji

`for(tip ime: niz) naredba`

- `foreach`, range petlja
- Može se staviti referenca na objekat, čime omogućavamo menjanje svakog elementa kom pristupamo - bez njega su *read-only*

```
for(auto& it: arr){ // it od iterator
    cout<<it++<<endl;
}
```

- Reference na DVrednosti (rvalue)

- Tip reference na DVrednost

```
osnovni.tip && ime = vrednost;
```
- Referenca na DVrednost je LVrednost
- Posledica - privremeni podaci dobijaju imena, pa možemo da ih menjamo
- Podatak može biti nepromenljiv

```
int i=1; // i je promenljiv podatak
const int ci=i; // ci je nepromenljiv podatak
int && rd1=i; // ERROR - i je promenljiva lvrednost
int && rd2=ci; // ERROR - ci je nepromenljiva lvrednost
int && rd3=i+1; // (i+1) je promenljiva dvrednost
int && rd4=10; // 10 je nepromenljiva dvrednost
rd3++; rd4++; // rd3==3, rd4==11
```

- Reference na DVrednosti kao parametri

- Ne postoji *bočni efekat*
- `const` nema smisla

- Podrazumevane vrednosti argumenata

- Može biti samo nekoliko poslednjih argumenata
- Proizvoljni izrazi

- Neposredno ugrađivanje funkcije u kod

- Jednostavne, kratke funkcije
`inline tip ime(parametri) { definicija }`
- Izbegavanje prenosa argumenata i poziva funkcija
- Funkcija članica klase je `inline` ako se definiše u definiciji klase
- Ako se definiše van definicije klase, mora se staviti ključna reč
- Prevodilac ne mora da poštuje `inline`
- Ako je u više datoteka, mora se definisati u svakoj
- Često rešenje je sprovođenje sa dodatnom datotekom-zaglavljem, ali se tad funkcija može direktno videti od strane drugih korisnika
- Eliminise potrebu za makroima

```
#define max(i,j)((i)>(j))?(i):(j)
max(i++, k++);
((i++)>(j++))?(i++):(j++); // 2x se inkrementira
```

- Preklapanje imena funkcija

- *Function name overloading*
- Funkcije koje realizuju logički istu operaciju, sa različitim tipovima argumenata
- U C nema preklapanja - funkcije moraju imati različita imena
- Mora da se razlikuje broj i/ili tip argumenata
- Tip rezultata **ne mora** da se razlikuje
- Takođe, **nije dovoljno** da se razlikuje samo `return` tip
- Statički koncept, sve se odvija u prevođenju
- Prevodilac prioritira slaganje tipova
 1. Potpuno slaganje - uključuje niz → pokazivač, ili referenca → objekat
 2. Slaganje standardnim konverzijama
npr. `char` → `int`
 3. Slaganje korisničkim konverzijama

```
double max (double i, double j)
{ return (i>j) ? i : j; }
const char* max (const char *p, const char *q)
{ return (strcmp(p,q)>=0)?p;q; }
double r=max(1.5,2.5); // max(double,double)
double p=max(1,2.5); // (double)1; max(double,double)
const char *q=max("Pera","Mika");// max(const char*,const char*)
```

- Pristup elementima

- Složeni podaci
- Problem 2 definicije koje imaju identično telo sa različitim parametrima
- Druga funkcija poziva prvu ← Rešenje
- Slično za pokazivače i reference
- Čudan slajd, izgleda kao dodatno objašnjavanje overloadinga

```
int& elem( int *a, int i) { return a[i]; }
const int& elem(const int *a, int i) { return a[i]; }
int a[20],i=10;
const int b[20]={0};
elem(a,i)=1;
elem(b,i)=1; // ERROR
int x=elem(b,i);
```

- Napomene
 - Uputstva za prevodioca, **anotacije** `[[napomena]]`
 - Služe prevodiocu za provere i optimizacije
 - Prevodilac može da ih zanemari
- Funkcije koje se ne vraćaju
 - Postoje funkcije koje se ne vraćaju na mesto poziva
 - Nasilno prekida rad programa sa `exit(kod)`
 1. Kod = 0 ✓
 2. Kod ≠ 0 X
 - Anotacija `[[noreturn]]`
 - Ako ima negde `return`, kod postaje nepredvidiv
- Operatori i izrazi
 - Novi operatori (12)
 - unarni `::`, `:::`, `new`, `delete`, `.*`, `->*`, `typeid`, `throw`, `alignof`, 4 *cast* operatora
 - Postfiksni `++`, `--` imaju viši prioritet od prefiksni
 - Prefiksni `++`, `--` → *lvalue*
 - Dodela vrednosti → *lvalue*
 - Ternarni operator je *lvalue* ako su drugi i treći operator *lvalue*
- Operatori konverzije tipa
 - C *cast*
 - (tip) *izraz* ← Ne preporučuje se
 - Novi *cast* operatori
 1. `static_cast <oznaka_tipa> (izraz)`
 2. `reinterpret_cast <oznaka_tipa> (izraz)`
 3. `const_cast <oznaka_tipa> (izraz)`
 4. `dynamic_cast <tip_pokazivača_ili_reference> (izraz)`
 - Bezbedne i nebezbedne konverzije
 - `int` → `float` ✓
 - `float` → `int` X
 - Notacija je nezgrapna i kabasta iz 2 razloga
 1. Lakše se uoči u tekstu
 2. Da programeri ne bi koristili
 - Ako postoji potreba za eksplicitnim konverzijama → Preispitati projektne odluke
- Statička konverzija
 - Prenosive konverzije
 1. Između numeričkih tipova
 2. Između pokazivača i `void*`
 3. Nestandardne konverzije - definiše programer
 - Primenjuju se automatski kad su bezbedne
 - Eksplicitan poziv kad je nebezbedno
 - npr. `void*` → drugi pokazivač, numerički tip → `char`
 - `nullptr` može da se dodeli bilo kom tipu pokazivača
 - Ne preporučuje se korišćenje `NULL` ili 0
- Reinterpretirajuća konverzija
 - Konverzija tipova bez logičke veze
 - npr. `int` → pokazivač
 - Nema pretvaranja vrednosti, istu vrednost različito interpretiramo
 - Jako nebezbedno
- Konstanta konverzija
 - Dodavanje ili uklanjanje `const`
 - Dodavanje je bezbedno, uklanjanje nije

5 Klase i objekti

- Osnovni pojmovi

- Klasa je strukturirani korisnički tip koji obuhvata
 1. Podatke koji opisuju stanje objekta klase
 2. Funkcije namenjene definisanju operacija nad podacima
- Klasa je formalni opis apstrakcije koja ima
 1. Internu implementaciju
 2. Javni interfejs
- Instanca klase → objekat
- Podaci klase → **atributi**, polja, podaci članovi
- Funkcije klase → **metodi**, primitivne operacije, funkcije članice

- Komunikacija objekata

- Objekti klase komuniciraju da ostvare složene funkcije
- Poziv metoda → **upućivanje poruke**
- Objekat može da menja stanje kad se pozove metod
- **Objekat-klijent** - poziva metod
- **Objekat-server** - metod mu je pozvan
- Iz svog metoda se može pozvati metod drugog objekta iste ili druge klase
- Unutar metode, članovima objekta-servera pristupa se navođenjem imena

- Pravo pristupa

- Sekcije
 1. **private**
 - Zaštićeni od spolja (**kapsulirani**)
 - Pristupaju im samo metodi klase
 2. **protected**
 - Dostupni metodima iste klase + sve klase izvedene iz nje
 3. **public**
 - Dostupni spolja bez ograničenja
- Preporučuje se redosled **private** → **protected** → **public**
- Može da postoji više sekcija iste vrste
- Podrazumevana labela je **private**
- | |
|---|
| Kontrola pristupa je stvar klase, a ne objekta
Metod jednog objekta može da pristupa privatnim članovima drugog objekta iste klase |
|---|
- Kontrola pristupa je odvojena od koncepta dosegaa
 1. Odredi se postojanje
 2. Proveravanje prava pristupa

BITNO

- Definisanje klase

- Atributi
 1. Mogu da budu i inicijalizovane - od C++11
 2. Ne mogu da budu tipa klase koja se definiše, ali su dozvoljeni pokazivači i reference na tu klasu
- Metodi
 1. U definiciji mogu da se
 - Deklarišu - samo prototip
 - Definišu - kompletno telo
 2. Funkcije definisane u definiciji klase su **inline** i mogu pristupati članovima imenom
 3. Funkcije koje su samo deklarirane u definiciji klase moraju biti definisane kasnije, van definicije, sa proširenim dosegom za pristup članovima
`<ime_klase>::<ime_funkcije>`
 4. Vrednost rezultata metoda može biti tipa klase koja se definiše, kao i pokazivač ili referenca na nju
- Definicija se piše tamo gde se klasa koristi, obično u *header* fajl (.h)
- Nepotpuna definicija klase je **deklaracija**
- Pre definicije, a posle deklaracije
 1. Mogu da se definišu pokazivači i reference
 2. Ne mogu da se definišu objekti te klase

- Objekti klase

- Uobilajeno definisanje, kao kod standardnih tipova
- Za svaki objekat formira se poseban komplet svih nestatičkih atributa
- Nestatički metodi se pozivaju za objekte, a statički za klase
- Lokalne **static** promenljive metoda
 1. Zajedničke za sve objekte
 2. Žive od nailaska na njih do kraja programa
 3. Imaju svojstva lokalnih promenljivih globalnih funkcija

WTF

- Podrazumevane operacije

- Definisanje objekata, pokazivača i referenci na objekte i nizove objekata
- Dodela vrednosti jednog objekta drugo
- Uzimanje adrese **&**
- Pristupanje objektu preko pokazivača *****
- Pristupanje atributima i pozivanje metode neposredno pomoću **.**
- Pristupanje atributima i pozivanje metoda posredno pomoću pokazivača **->**
- Pristupanje elementima niza **[]**
- Prenosenje objekta kao argumenata po vrednosti, referenci ili pokazivaču
- Vraćanje objekta iz funkcije po vrednosti, referenci ili pokazivaču
- Preklapanje operatora može redefinisati dosta gorenavedenog

- Pokazivač **this**

- Pokazivač na tekući objekat
- Unutar svako nestatičkog objekta je implicitno, **this** je skriveni argument svakog metoda
`objekat.f() ~ f(&objekat)`
- Konstanti pokazivač na klasu čiji je metod član
Klasa **X**, **this** → **X* const**
- Pristup se obavlja neposredno
- Primeri korišćenja
 1. Tekući objekat vratiti kao rezultat metoda
 2. Adresa objekta je potrebna kao argument
 3. Tekući objekat ubaciti u listu

```
// Definicija metoda zbir(Kompleksni) klase Kompleksni
Kompleksni Kompleksni::zbir(Kompleksni C){
    Kompleksni t = *this; // u t se kopira tekuci objekat
    t.real+=c.real;
    t.imag+=c.imag;
    return t;
}
//...
int main(){
    Kompleksni c, c1,c2;
    //...
    c=c1.zbir(c2);
}
```

- Inspektori i mutatori

- **Inspektor** ili selektor → ne menja stanje objekta
- **Mutator** ili modifikator → menja stanje objekta
- Dobra praksa da se kaže koji tip od ova dve je metod
- `const` iza liste parametara → inspektor
- Postoji konstantan metod, ali je to druga stvar

- Definisane inspektora

<tip> ime(parametri) const {definicija}

- Notaciona pogodnost
- Prevodilac nema načina da osigura da inspektor ne menja atribute
Eksplisitna konverzija može da probiju kontrolu konstantnosti
- U inspektoru `this` je `const X* const`
- Nije moguće menjati objekat pomoću `this`
- Za nepromenljive objekte nije dozvoljeno pozivati metod koji nije inspektor

```
class X {
public:
    int citaj () const { return i; }
    int pisi (int j=0) { int t=i; i=j; return t; }
private:
    int i;
};
X x; const X cx;
x.citaj(); // OK - inspektor promenljivog objekta
x.pisi(); // OK - mutator promenljivog objekta
cx.citaj(); // OK - inspektor nepromenljivog objekta
cx.pisi(); // ERROR - mutator nepromenljivog objekta
```

- Nepostojani metodi (`volatile`)

- Suprotnost konstantnog metoda
- Veza sa konkurentnim programiranjem
- Neki drugi *thread* može u svakom trenutku da promeni stanje objekta
- Prevodilac ne izvršava optimizaciju
- `volatile` može da se poziva za nepostojane i promenljive objekte
- `const volatile` - za sve vrste objekata

```
class X {
public:
    X(){ kraj=false; }
    int f() volatile { // da nije volatile, moguca optimizacija:
        while(!kraj){/*...*/} // if (!kraj) while() {/*...*/}
    } // u telu (...) se ne menja kraj
    void zavrsono(){ kraj=true; }
private:
    bool kraj;
};
```

- Modifikatori metoda `&` i `&&`

- Bez modifikatora `&` i `&&` metod se može primeniti na `lvalue` i `rvalue`
- Modifikator `&` - tekući objekat može biti samo `lvalue`
- Modifikator `&&` - tekući objekat može biti samo `rvalue`
- Mogu da postoje metodi čiji se potpisi razlikuju samo po ovom modifikatoru

BITNO

```
class U {
public:
    int f() & {return 1;}
    int f() const & {return 2;}
    int f() && {return 3;}
};
U u1; const U u2=u1;
int i = u1.f(); int j = u2.f(); int k = U().f();
```

- Pojam konstruktora

- Specifična funkcija klase koju definiše početno stanje objekta
- Isto ime kao klasa
- Nema `return` tip, čak ni `void`
- Proizvoljan broj proizvoljnih tipova parametara
 1. Ne sme biti tip klase koju definiše ako je jedini parametar ili ako svi ostali imaju podrazumevanu vrednost
 2. Dozvoljen tip pokazivača na `lvalue` i `rvalue` date klase
- Implicitno se poziva prilikom kreiranja
- Pristup članovima objekta kao i bilo koji drugi metod
- Može biti preklapljen \ *overloaded*

- Podrazumevani konstruktor

- Može se pozvati bez stvarnih argumenata - nema parametre ili su svi podrazumevani
- Ugrađeni podrazumevani konstruktor je bez parametara i ima prazno telo
- Ugrađeni konstruktor postoji smao ako klasa nije definisala nijedan drugi konstruktor
- Definisanje nekog konstruktora se suspenduje ugrađeni
Restauracija ugrađenog konstruktora - deklaracija iza koje sledi = `default`
- Kad se kreira niz objekata poziva se podrazumevani konstruktor po rastućem redosledu indeksa

- Pozivanje konstruktora
 - Stvaranje bilo kakvog objekta
 - 1. Definicija statičkog objekta
 - 2. Definicija automatskog objekta
 - 3. Dinamički objekat kreiran operatorom **new**
 - 4. Kad se stvarni argument klasnog tipa prenosi u formalni
 - 5. Kada se kreira privremeni objekat pri povratku iz funkcije
- Argumenti konstruktora
 - Pri stvaranju objekta moguće je navesti inicijalizator iza imena
 - Inicijalizator sadrži listu argumenata konstruktora u zagradama
 1. () ili {}
 2. Ako {} → može se pisati i = {...}
 3. Nisu dozboljene prazne zagrade ()
Deklaracija funkcije
 - Moguća notacija <objekat> = <vrednost>
 - Poziva se onaj konstruktor koji se najbolje salže po potpisu
 - Može da ima podrazumevane vrednosti

```

class X {
    char a; int b;
public:
    X ();
    X (char, int=0);
    X (const char*);
    X(X); // ERROR
    X(X*);
    X(X&);
    X(X&&);
};
X f () {
    X x1; // X()
    X x2{}; // X()
    X x3={}; // X()
    X x(); // dekl. f-je
    return x1;
}

```

```

void g () {
    char c='a';
    const char *p="Ne volim OOP";

    X x1(c); // X(char,int)
    X x2=c;
    X x3(c,10);
    X x4{c,20};
    X x5={c,30};
    X x6(p); // X(char*)
    X x7(x1); // X(X&)
    X x8{x1};
    X x9={x1};
    X x10=f(); // X(X&&)
    X* p1=new X; // X()
    X* p2=new X(); // X(char,int)
    X* p4=new X{c,10};
}

```

- Konstrukcija članova

- Pre izvršavanja tela konstruktora
 1. Inicijalizuju se prosti tipovi
 2. Pozivaju se konstruktori za klasne tipove
- Inicijalizatori mogu da se navedu u zaglavlju definicije (NE deklaracije) konstruktora, iza znaka :

Ako atributi ima inicijalizatoru telu klase i u definiciji konstruktora → primenjuje se inicijalizator iz definicije konstruktora

Inicijalizacija atributa - **redosled navođenja u definiciji klase**

- Bez obzira da li su primitivni ili klasni tipovi
- Bez obzira na redosled u listi inicijalizatora

BITNO

```
class X {
private:
    int i = 0;
}
```

- Do C++11 nije bila dozvoljena inicijalizacija atributa u definiciji klase
- Inicijalizacija je različita od operacije dodele koja se može vršiti jedino unutar tela konstruktora
- Inicijalizacija je neophodna
 1. Kada ne postoji podrazumevani konstruktor klase atributa
 2. Kada je atribut nepromenljiv
 3. Kada je atribut referenca

```
class YY { public: YY (int j) {...} };
class XX {
    YY y; int i=0;
public:
    XX (int);
};
XX::XX (int k) : y(k+1), i(k-1) {...} // y=k+1, i=k-1
```

```
// Primer konstrukcija dva objekta od kojih jedan sadrzi drugi
class Kontejner {
public:
    Kontejner () : deo(this) {...}
private:
    Deo deo;
};
class Deo{
public:
    Deo(Kontejner* kontejner):mojKontejner(kontejner) {...}
private:
    Kontejner* mojKontejner;
};
```

- Delegirajući konstruktor

- U listi inicijalizatora definicije delegirajućeg konstruktora može da se navede poziv drugog konstruktora
- Pre izvršenja tela delegirajućeg konstruktora, izvršava se ciljani konstruktor

```
class T {
    T(int i){}
    T():T(1){} // delegirajuci: T(), ciljani: T(int)
    T(char c): T(0.5){} // ERROR - rekurzija
    T(double d): T('a'){}
```

- Kad se navodi ciljani konstruktor, navodi se samo on
- Ako dolazi do neposrednog ili posrednog delegiranja → greška
Prevodilac ne otkriva ovakav tip greške

- Eksplicitni poziv konstruktora
 - Ovakav poziv kreira privremeni objekat klase pozivom odgovarajućeg konstruktora
 - Isto se dešava ako se u inicijalizatoru objekta eksplicitno navede poziv konstruktora
`Kompleksni c = Kompleksni(0.1, 5);`
 Privremeni objekat se kopira u `c` - zavisi od prevodioca
- Konstruktor kopije
 - Kopirajući konstruktor
 - Pri inicijalizaciji objekta O1 drugim objektom O2 iste klase poziva se konstruktor kopije
 - Ugrađeni, implicitno definisani, konstruktor kopije
 1. Vršiti inicijalizaciju članova O1 članovima O2 (pravi **plitku kopiju** - *shallow copy*)
 2. Primitivni atributi se prosto kopiraju - uključujući i pokazivače
 3. Za klasne atribute se pozivaju njihovi konstruktori kopije
 - Ugrađeni konstruktor kopije se briše ili suspenduje
 1. Eksplicitno
`X(const X&) = delete`
 2. Implicitno - pisanjem premeštajućeg konstruktora ili premeštajućeg operatora deodele
 Restauriranje konstruktora kopije `X(const X&) = default`
 - Problem pokazivača → pravimo **duboku** kopiju - *deep copy*
 - Parametri konstruktora kopije su `X&` ili `const X&`
 - Ostali eventualni parametri moraju biti podrazumevane vrednosti
- Pozivanje konstruktora kopije
 - Poziva se jednim stvarnim argumentom
 - Konstruktor kopij se poziva kada se objekat inicijalizuje objektom iste klase i to
 1. Prilikom stvaranja trajnog, automatskog, dinamičkog ili privremenog objekta
 2. Prilikom prenosa argumenata po vrednosti u funkciju (stvara se automatski objekat)
 3. Prilikom vraćanja vrednosti iz funkcije (stvara se privremeni objekat)
 - Prevodilac sme da preskoči poziv konstruktora kopije zbog optimizacije
 - Ako se stvarani objekat inicijalizuje privremenim objektom iste klase
 - Izostaju bočno efekti koje programer očekuje
 - Čak i tada mora postojati konstruktor kopije ili premeštajući konstruktor

```

class XX {
public:
    XX (int);
    XX (const XX&); // konstruktor kopije
    //...
};
XX f(XX x1) {
    XX x2=x1; // poziv konst. kopije XX(XX&) za x2
    return x2; // poziv konst. kopije za privremeni
} // objekat u koji se smesta rezultat
void g() {
    XX xa=3, xb=1;
    xa=f(xb); // poziv konst. kopije samo za parametar x1,
    // a u xa se samo prepisuje
    // privremeni objekat rezultata, ili se
} // poziva XX::operator= ako je definisan

```

- Premeštajući konstruktor

- Konstruktor koji se poziva za konstrukciju objekta istog tipa, pri čemu je izvorišni objekat na kraju životnog veka
- Izvorišni objekat je **nvrednost** (nestajuća vrednost) - *xvalue* (*expiring value*)
- Izvorišni objekat ne mora da se sačuva
- Samo premetimo njegove dinamičke delove u odredišni objekat
- Nema kopiranja dinamičkih delova
- Posledica → premeštajući konstruktor je efikasniji od kopirajućeg
- Modifikovati izvorišni objekat da njegova destrukcija ne povuče razaranje premeštenih delova
- Postoji ugrađeni, implicitno definisani, premeštajući konstruktor, ali ona ima problem - ne briše originalne pokazivače u izvorišnom objektu
- Ugrađeni premeštajući konstruktor se briše ako se eksplicitno definiše bar jedan od navedenih:
 1. Premeštajući konstruktor
 2. Kopirajući konstruktor
 3. Destruktor
 4. Operator dodele

Nisam 100%
siguran za ovo
BAR

- Pozivanje premeštajućeg konstruktora

- Parametar je **X&&**, ostali su podrazumevani parametri
- Prevodilac poziva premeštajući konstruktor
 1. Ako izvorišni objekat nestaje
 2. Ako u klasi postoji premeštajući konstruktor
- Ako u klasi ne postoji premeštajući
 1. Poziva se kopirajući konstruktor
 2. Semantika je ista
 3. Promena je samo u efikasnosti

BEZ CONST

```
class Niz {
    double* a; int n;
public: ... Niz( Niz&& niz ){ a=niz.a; niz.a=nullptr; n=niz.n; }
} ...
Niz f(Niz niz){ return niz; }
```

- Konverzioni konstruktor

- Konverzija između tipova od kojih je bar jedan klasa
- Odredišni tip mora biti klasa
 $X::X(T\&) \quad X::X(T) \rightarrow \text{konverzija tipa } T \text{ u } X$
- Korisničke konverzije se primenjuju automatski ako je jednoznačan izbor konverzije, izuzev u slučaju **explicit** konstruktora
- Konverzija mora biti posredna
 $U::U(T\&), V::V(U\&) \rightarrow V(U(t))$ eksplicitno
- Nije moguće konvertovati u primitivni tip
- Konverzija argumenata i rezultat funkcije
 1. Pri pozivu funkcije
 - Inicijalizuju se parametri stvarnim argumentima uz eventualnu konverziju tipa
 - Parametri se ponašaju kao automatski lokalni objekti pozvane funkcije
 - Ovi objekti se konstruišu pozivom odgovarajućih konstruktora
 2. Pri povratku iz funkcije
 - Konstruiše se privremeni objekat koji prihvata vrednost **return** izraza na mestu poziva

```

//Konverzioni konstruktor - PRIMER
class T {
public:
    T(int i); // Konstruktor
};
T f (T k) {
    //...
    return 2; // Poziva se konstruktor T(2)
}
int main () {
    T k(0);
    k=f(1); // Poziva se konstruktor T(1)
    //...
}

```

- Destruktor

- Specifična funkcija članica koja uništava objekat
- Nosi isto ime kao klasa, uz ~ ispred imena
- Nema tip rezultata i ne može imati parametre → najviše 1 po klasi
- Destruktor se piše kada treba osloboditi memoriju i ostale resurse
- Česta potreba → klasa sadrži članove koji su pokazivači ili reference na druge objekte
Dobra praksa tad → metod za uništavanje delova, pozvan iz konstruktora
- Ponašanje kao i drugim metodima

- Pozivanje destruktora

- Implicitno se poziva na kraju životnog veka objekta
- Pri uništavanju dinamičkog objekta koristeći **delete**
- Pri uništavanju dinamičkog niza - u smeru opadajućih indeksa
- Redosled je uvek obrnut od konstruktora
- Eksplicitno pozivanje
`X.~X()`, `px->~X()`, `this->~X()`
 - Ne preporučuje se, objekat nastavi da živi i posle ovoga
- Posle izvršenja automatskog destruktora se oslobađa zauzeta memorija

- Statički (zajednički) atributi

- Pri stvaranju objekta klase → poseban komplet nestatičkih atributa
- Ključna reč - **static**
- Jedan primerak za celu klasu, svi objekti ga dele
`static <tip> ime;`

- Definisanje statičkog atributa

- U klasi se samo deklarise
- Mora da se definiša na globalnom nivou
- Svi oblici inicijalizatora ✓
- Inicijalizacija
 1. Pre prvog pristupa njemu
 2. Pre stvaranja objekta date klase
- Obraćanje `int <klasa>::X=5; // bez static`
- Ako se navede inicijalizator → 0

- Imenovana **celobrojna** konstanta može se definisati i u definiciji klase

ČUDNO

Ima veze sa
constexpr?

- Statički i globalni podaci
 - Sličnosti
 1. Trajni podaci → sličan životni vek
 2. Definicija na globalnom nivou
 - Razlike
 1. Statički atributi pripadaju klasi
 2. Doseg imena statičkog atributa je klasa
 3. Statičkim atributima je moguće ograničiti pristup
 - Statički atribut ima sva svojstva globalnog statičkog podatka osim dosega imena i kontrole pristupa
 - Smanjuje se potreba za globalnim objektima
- Statički (zajednički) metodi
 - Funkcija klase, a ne svakog posebnog objekta
 - Zajednički za sve objekte
 - Primena
 1. Opšte usluge
 2. Obrada statičkih atributa
 - Deklarišu se dodavanjem **static** ispred deklaracije
 - Svojstva globalnih funkcija osim dosega i kontrole pristupa
 - Nemaju **this**
 1. Ne mogu pristupati nestatičkim članovima direktnim imenovanjem
 2. Modifikatori **const** i ostali nemaju smisla
 - Mogu pristupati nestatičkim članovima konkretnih objekata
 1. Pristup preko parametra
 2. Pristup lokalnom objektu
 3. Pristup globalnom objektu
 - Direktan pristup statičkim članovima
`<klasa>::<ime_funkcije>(argumenti);`
 - Može se pozvati za konkretan objekat, ali izbegavati
 Levi operand tada samo nađe tip bez ikakvog izračunavanja
 - Mogu se pozivati i pre stvaranja objekta klase
 - Uslužna klasa → sve statički metodi, obrisano ugrađenog konstruktora - kao biblioteka

<pre> class X { static int x; // staticki atribut int y; public: static int f(X); // staticki metod (deklaracija) int g(); }; int X::x=5; // definicija statickog atributa int X::f(X x1){ // definicija statickog metoda int i=x; // pristup statickom atributu X::x int j=y; // ERROR - X::y nije staticki int k=x1.y; // ovo moze; (x1++).x; // x1++ (ako je definisan post inkrement operator) return x1.x; // i ovo moze, ali nije preporucljivo } // izraz "x1" se ne izracunava </pre>	<pre> int X::g () { int i=x; // nestaticki metod moze da koristi int j=y; // i staticke i nestaticke atribute return j; // y je ovde this->y; } int main () { X xx; int p=X::f(xx); // X::f moze neposredno, bez objekta; int q=X::g(); // ERROR - za X::g mora konkretan objekat // xx.g() izracunava pozivatelji p=xx.f(xx); // i ovako moze, ali nije preporucljivo } </pre>
---	---

```
// Zadatak koji se pojavio na kolokvijumu
class X {
public: static X* kreiraj () { return new X; }
private: X(); // Konstruktor je privatan
};
int main() {
    X x; // ERROR
    X* px=X::kreiraj(); // OK
}
```

- Prijatelji klasa

- Kad je potrebno da klasa ima povlašćene korisnike koji mogu da pristupaju njenim privatnim članovima
- Povlašćene mogu biti
 1. Funkcije
 2. Cele klase
- Nazivamo ih **prijateljima** - *friends*
- Prijateljstvo, kao relacija između klasa
 1. Ne nasleđuje se
 2. Nije simetrično ☹
 3. Nije tranzitivno
- Regulise isključivo pravo pristupa, a ne i oblast važenja i vidljivost identifikatora

- Prijateljski funkcije

- Nisu članice klasa ali imaju pristup privatnim članovima
- Mogu biti metode druge klase ili globalne funkcije
- Funkcija je prijateljska ako se u definiciji klase navede njena deklaracija ili definicija sa modifikatorom **friend**
- Klasa mora eksplicitno da naglasi prijateljstvo
- Ako u definiciji klase pišemo prijateljsku funkciju
 1. I dalje nije članica klase iako je definišemo unutar nje
 2. Podrazumeva se da je **inline**
 3. Funkcija nema klasni doseg već doseg identifikatora klase
- Nevažno je pravo pristupa za **friend** funkciju
- Nema **this**
- Funkcija može biti prijatelj većem broju klasa istovremeno

```
class X {
    friend void g(int, X&); // prijateljska globalna funkcija
    friend void Y::h(); // prijateljski metod druge klase
    friend int o(X x){return x.i;} // definicija globalne f-je
    friend int p(){return i;} // ERROR - nema this
    int i;
public:
    void f(int ip) {i=ip;}
};
void g (int k, X &x) { x.i=k; }
int main () {
    X x; int j;
    x.f(5); // P preko metoda
    g(6,x); // Postavljanje preko prijateljske funkcije
    j=o(x); // Citanje preko prijateljske funkcije
}
```

- Prijateljske funkcije i metodi

- Nekat je bolja prijateljska funkcija od metoda
- Metod mora da se pozove za objekat date klase, dok globalnoj funkciji možemo dostaviti i oblik drugog tipa
Nemoguća konverzija skrivenog argumenta u metodu
- Pristup privatnim članovima više klasa - simetrično rešenje
- Nekat je jenotacija pogodnija
`max(a,b)` ili `a.max(b)`
- Kad se preklapaju operator, često je jednostavnije definisati globalne operatorske funkcije nego metode

- Prijateljske klase

- Ako su svi metodi klase Y prijateljske funkcije klase X, onda je Y prijateljska klasa (*friend class*) klasi X

```
class X {
    friend Y; // Ako je klasa Y definisana ili deklarirana
    friend class Z; // Ako Z nije ni definisana ni deklarirana
};
```

- Svi metodi klase Y pristupaju privatnim članovima klase X
- Prijateljske klase se često koriste kad neke dve klase imaju tesnu vezu

- Ugnježdene klase

- Klase mogu da se deklariraju ili definišu unutar definicije druge klase
- Koristi se kada neki tip semantički pripada samo datoj klasi
- Povećava čitljivost i smanjuje potrebu za globalnim tipovima
- Unutar definicije klase se mogu navesti i definicije nabiranja `enum` i tipova `typedef`
- Ugnježdene klase se nalaziu dosegu imena okružujuće klase (izvan nje pristup samo sa `::`)
- Iz okružujuće klase u ugnježdenu `.`, `->`, `::`
- Doseg imena okružujuće klase O se proteže na ugnježdenu klasu U
Pristup iz U do članova O samo sa `.`, `->`
- U ugnježdjenoj klasi mogu direktno da se koriste identifikatori

1. Tipova iz okružujuće klase \leftarrow Samo od konkretnog objekta
2. Konstanti tipa nabiranja okružujuće klase
3. Statički članovi okružujuće klase

- Ovo važi ako ime nije sakriveno imenom člana **ugnježdene** klase

Zar nije obrnuto?

```
<id_okružujuće>::<id_ugnježdene>::<id_statičkog>
```

- Ugnježdene klasa je implicitno prijatelj okružujuće
- Okružujuća klasa nije prijatelj ugnježdene $\odot \leftarrow$ ugnježdene klasa

```
int x,y;
class Spoljna {
public:
    int x; static int z;
    class Unutrasnja {
        void f(int i, Spoljna *ps) {
            x=i; // ERROR - nepoznat objekat klase Spoljna
            Spoljna::x=i; // ERROR - isti uzrok
            z=i; // pristup statickom članu Spoljna
            ::x=i; // pristup globalnom x;
            y=i; // pristup globalnom y;
            ps->x=i; // pristup Spoljna::x objekta *ps;
        }
    };
};
Unutrasnja u; // ERROR
Spoljna::Unutrasnja u; // OK
```

- Strukture

- Struktura je klasa kod koje su svi članovi podrazumevano javni
Može se menjati eksplicitnim korišćenjem `public:` i `private:`
- C++ struktura može imati i metode
- Strukture se koriste za definisanje struktuiranih podataka koje ne predstavljaju apstrakciju i generalno nemaju značajnijih operacija
- Tipično imaju samo konstruktor, uz eventualni destruktor

- Lokalne klase

- Definišu se unutar funkcija
- Identifikator ima doseg od deklaracije do kraja bloka u kom je deklarisan
- Unutar klase dozvoljeno je korišćenje iz okružujućeg dosega
 1. Identifikatora tipova
 2. Konstanti tipa nabiranja
 3. Trajnih podataka (statičkih atributa, statičkih lokalnih i globalnih)
 4. Spoljašnjih (`extern`) podataka i funkcija
- Metodi lokalne klase moraju da se definišu unutar definicije klase
- Lokalna klasa ne može da ima statičke attribute, dok može imati statičke metode

```
int x;
void f() {
    static int s;
    int x;
    extern int g();
    class Lokalna {
    public:
        int h () { return x; } // ERROR - x je automatska prom.
        int j () { return s; } // OK: s je staticka promenljiva
        int k () { return ::x; } // OK: x je globalna promenljiva
        int l () { return g(); } // OK: g() je spoljasnja funkcija
    };
}
Lokalna *p = 0; // ERROR - nije u dosegu
```

- Pokazivači na članove klase

- Dodelom vrednosti pokazivaču na članove klase označi se neki član klase
Kao pokazivačka aritmetika indeksa u nizu
- Deklaracija
`<tip_člana><klasa>::*<identifikator>`
- Formiranje adrese
`<identifikator> = &<klasa>::<član>`
- Pristup
`<objekat>.*<identifikator>`
`<pokazivač_na_objekat>->*<identifikator>`
- `.*` i `->*` imaju prioritet 14 i asocijativnost sleva na desno

```
class Alfa {... public: int a, b; };

int Alfa::*pc; // pc je pokazivac na int članove klase Alfa
Alfa alfa,*beta;
beta=&alfa;

pc=&Alfa::a; // pc pokazuje na članove a objekata klase Alfa
alfa.*pc = 1; // alfa.a=1;
beta->*pc = 1; // beta->a=1;

pc=&Alfa::b; // pc pokazuje na članove b objekata klase Alfa
alfa.*pc = 2; // alfa.b=2;
beta->*pc = 2; // beta->b=2;
```
