Objektno orijentisano programiranje 1

Klase i objekti

Klase i objekti – osnovni pojmovi

- Klasa je strukturirani korisnički tip koji obuhvata:
  - podatke koji opisuju stanje objekta klase i
  - funkcije namenjene definisanju operacija nad podacima klase
- Klasa je formalni opis apstrakcije koja ima:
  - internu implementaciju i
  - javni interfejs (ugovor)
- Jedan primerak (instanca, pojava) klase naziva se *objektom* te klase
- Podaci koji su deo klase nazivaju se:
  - *podaci članovi* klase (eng. *data members*), *polja* ili ***atributi***
- Funkcije koje su deo klase nazivaju se:
  - *funkcije članice* (eng. *member functions*), *primitivne operacije,* ***metodi***

Komunikacija objekata

- Jedan od osnovnih principa OO programiranja:
  - objekti klasa komuniciraju (sarađuju) da ostvare složene funkcije
- Poziv metoda se naziva *upućivanjem poruke* objektu klase
- Objekat klase može da menja svoje stanje predstavljeno atributima kada se pozove njegov metod, odnosno kada mu se uputi poruka
- Objekat koji šalje poruku (poziva metod) naziva se objekat-*klijent*
- Objekat koji prima poruku (čiji se metod poziva) je objekat-*server*
- Iz svog metoda objekat može da pozove metod drugog objekta
  - pozvani metod može da bude član iste ili druge klase
  - tok kontrole "prolazi kroz" razne objekte koji komuniciraju
- Unutar metoda, članovima objekta čiji je metod pozvan pristupa se navođenjem njihovog imena

Prava pristupa (1)

- Klasa ima sekcije koje određuju pravo pristupa članovima
- Svaka sekcija započinje labelom sekcije (ključna reč)
- Članovi (podaci ili funkcije) klase iza ključne reči `private:`
  - nazivaju se *privatnim* (eng. *private*) članovima:
  - zaštićeni su od pristupa spolja (kapsulirani su)
  - njima mogu da pristupe samo metodi klase (i prijatelji)
- Članovi iza ključne reči `public:`
  - nazivaju se *javnim* (eng. *public*) članovima:
  - dostupni su metodima date klase i ostalim funkcijama, bez ograničenja
- Članovi iza ključne reči `protected:`
  - nazivaju se *zaštićenim* (eng. *protected*) članovima:
  - dostupni su metodima date klase, kao i klasa izvedenih iz te klase (i prijateljima)
  - nisu dostupni ostalim funkcijama

Prava pristupa (2)

- Redosled sekcija `public`, `protected` i `private` je proizvoljan
  - preporučuje se navedeni redosled
- Može da bude i više sekcija iste vrste
- Podrazumevana sekcija (do prve labele) je privatna
- Preporuka je da se klase projektuju tako da nemaju javne atribute
- Kontrola pristupa članovima nije stvar objekta, nego klase:
  - metod klase `X` pozvan za objekat `o1`
    može da pristupi privatnim članovima drugog objekta `o2` iste klase `X`
- Kontrola pristupa članovima je odvojena od koncepta dosega imena:
  - najpre se, na osnovu oblasti važenja imena i njihove vidljivosti, određuje entitet na koga se odnosi dato ime na mestu obraćanja u programu
  - zatim se određuje da li je tom entitetu dozvoljen pristup sa tog mesta

Definisanje klase (1)

- Atributi (podaci članovi, polja):
  - mogu da budu i inicijalizovani (tek od C++11 je to dozvoljeno)
  - ne mogu da budu tipa klase koja se definiše,
    ali mogu da budu pokazivači ili reference na tu klasu
- Metodi (funkcije članice):
  - u definiciji klase mogu da se:
    - deklarišu (navodi se samo prototip: tip rezultata, ime, lista parametara) ili
    - definišu (navodi se i telo)
  - funkcije koje su definisane u definiciji klase:
    - mogu da pristupe članovima klase direktnim navođenjem imena tih članova
    - jesu `inline` funkcije
  - funkcije koje su samo deklarisane u definiciji klase:
    - moraju da budu definisane kasnije, izvan definicije klase
    - treba da se proširi doseg klase (<ime_klase>`::`<ime_funkcije>) za pristup članovima
  - vrednost rezultata, kao i parametri mogu da budu tipa klase čiji su članovi
    kao i tipa pokazivača ili reference na tu klasu

Definisanje klase (2)

- Definicija klase mora da bude prisutna tamo gde se klasa koristi
  - zato se definicija klase uobičajeno piše u datoteci zaglavlju (`*.h`)
- Primer definicije klase `Kompleksni`:

```
class Kompleksni {
public:
   Kompleksni zbir(Kompleksni); Kompleksni razlika(Kompleksni);
   float re(); float im();
private:
   float real,imag;
};
```

- Nepotpuna definicija klase (bez tela) se naziva deklaracijom:

```
class Kompleksni;
```

- Pre definicije klase, a posle deklaracije:
  - mogu da se definišu pokazivači i reference na tu klasu
  - ne mogu da se definišu objekti te klase

Objekti (primerci) klase

- Primerci klase se definišu na način
  koji je uobičajen za definisanje objekata standardnih tipova:
  - identifikator klase se koristi kao oznaka tipa, npr. `Kompleksni C;`
- Za svaki objekat klase formira se poseban komplet
  svih nestatičkih atributa te klase
- Nestatički metodi klase se pozivaju za objekte klase
- Lokalne statičke promenljive metoda
  - su zajedničke za sve objekte date klase
  - žive od prvog nailaska na njihovu definiciju do kraja programa
  - imaju sva svojstva lokalnih statičkih promenljivih globalnih funkcija

Podrazumevane operacije

- Podrazumevano je moguće:
  - definisanje objekata, pokazivača i referenci na objekte i nizova objekata klase
  - dodela vrednosti (operator `=`) jednog objekta drugom
  - uzimanje adrese objekata (operator `&`)
  - posredno pristupanje objektima preko pokazivača (operator `*`)
  - neposredno pristupanje atributima i pozivanje metoda (operator `.`)
  - posredno pristupanje atributima i metodima preko pokazivača (operator `->`)
  - pristupanje elementima nizova objekata (operator `[]`)
  - prenošenje objekata kao argumenata i to po vrednosti, referenci ili pokazivaču
  - vraćanje objekata iz funkcija po vrednosti, referenci ili pokazivaču
- Neke od ovih operacija korisnik može drugačije da definiše
  - preklapanjem operatora (pisanjem odgovarajućih operatorskih funkcija)

Pokazivač `this` (1)

- Unutar svakog nestatičkog metoda
  - implicitni (podrazumevani, ugrađeni) lokalni pokazivač `this`
- Ovaj pokazivač pokazuje na objekat čiji je metod pozvan (tekući objekat)
- Tip ovog pokazivača je "konstantni pokazivač na klasu čiji je metod član"
- Ako je klasa `X`, `this` je tipa `X*const`
- Primer:

```
// 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); ...}
```

Pokazivač `this` (2)

- Pristup članovima objekta čiji je metod pozvan obavlja se neposredno
- Implicitno je to pristup preko pokazivača `this` i operatora `->`
- Može i da se eksplicitno pristupa članovima preko pokazivača `this`

```
// nova definicija metoda zbir(Kompleksni) klase Kompleksni
Kompleksni Kompleksni::zbir(Kompleksni c) {
  Kompleksni t;
  t.real=this->real+c.real;  t.imag=this->imag+c.imag;
  return t;
}
```

- Pokazivač `this` je, u stvari, jedan skriveni argument metoda
- Poziv `objekat.f()` se prevodi kao `f(&objekat)`
- Primeri korišćenja:
  - tekući objekat treba da se vrati kao rezultat metoda
  - adresa tekućeg objekta je potrebna kao stvarni argument poziva neke funkcije
  - tekući objekat treba da se uključi u listu

Inspektori i mutatori

- Metod može da samo čita stanje ili i da menja stanje objekata
- Metod koji ne menja stanje objekta:
  - *inspektor* ili *selektor* (eng. *inspector*, *selector*)
- Metod koji može i da menja stanje objekta:
  - *mutator* ili *modifikator* (eng. *mutator*, *modifier*)
- Dobra praksa je da se korisnicima klase navede da li neki metod menja unutrašnje stanje objekta
- Da je metod inspektor, govori reč `const` iza liste parametara
- Reč `const` je jedan od 4 modifikatora metoda (`volatile`, `&` i `&&`)
- Sreće se i naziv *konstantan* metod, ali može da bude dvoznačan

Deklarisanje inspektora

- Deklarisanje metoda kao inspektora je:
  - samo notaciona pogodnost i "stvar lepog ponašanja"
  - to je obećanje projektanta klase da metod ne menja stanje objekta
  - prevodilac nema načina da osigura da inspektor ne menja neke atribute
    - inspektor može da menja atribute uz pomoć eksplicitne konverzije
    - eksplicitna konverzija "probija" kontrolu konstantnosti
- U inspektoru tip pokazivača `this` je `const X*const`
  - pokazivač `this` pokazuje na nepromenljivi objekat
- U inspektoru nije moguće menjati objekat preko pokazivača `this`
  - svaki neposredni pristup članu je implicitni pristup preko `this`
- Za nepromenljive objekte klase nije dozvoljeno pozivati metod koji nije deklarisao da je inspektor
- Inspektor može da se poziva i za promenljive objekte

Inspektori – primer

```
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();  // u redu: inspektor promenljivog objekta
x.pisi();   // u redu: mutator promenljivog objekta
cx.citaj(); // u redu: inspektor nepromenljivog objekta
cx.pisi();  // ! GRESKA: mutator nepromenljivog objekta
```

Nepostojani metodi

- Suprotnost konstantnog metoda je nepostojan (*volatile*) metod

```
int f() volatile {/*...*/}
```

- Pri izvršenju nepostojanog metoda `f` objekat (`*this`) može da promeni stanje nezavisno od toka funkcije `f`
- Modifikator `volatile` – napomena prevodiocu da ne vrši neke optimizacije

```
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 zavrseno(){kraj=true;}
private:
  bool kraj;
}
```

- Metod `volatile` može da se poziva za nepostojane i promenljive objekte
- Metod `const volatile` – može da se pozove za sve vrste objekata:
  - promenljive, nepromenljive, nepostojane i nepromenljivo-nepostojane objekte

Modifikatori metoda & i &&

- Bez modifikatora `&` ili `&&`
  - metod može da se primeni na *lvrednost* i *dvrednost*
- Modifikator `&` – tekući objekat može da bude samo *lvrednost*
- Modifikator `&&` – tekući objekat može da bude samo *dvrednost*
- Ovi modifikatori su, kao i `const` i `volatile`, deo potpisa metoda
  - mogu da postoje metodi čiji se potpisi razlikuju samo po ovom modifikatoru
- Primer:

```
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

- *Konstruktor*:
  - specifična funkcija klase koja definiše početno stanje objekta
  - nosi isto ime kao i klasa
  - nema tip rezultata (čak ni `void`)
  - ima proizvoljan broj parametara proizvoljnog tipa
    - osim tipa klase čiji je konstruktor, ukoliko je jedini ili prvi, a ostali imaju PVA
    - dozvoljen je tip pokazivača i referenci na *lvrednost* i *dvrednost* date klase
- Konstruktor se implicitno poziva prilikom stvaranje objekta
- Pristup članovima objekta unutar tela konstruktora
  - kao i u bilo kojem drugom metodu (preko pokazivača `this`)
- Konstruktor, kao i svaki metod, može da bude preklopljen
  - važe ista opšta pravila kao za preklapanje funkcija

Podrazumevani konstruktor

- *Podrazumevani konstruktor* (PK):
  - konstruktor koji može da se pozove bez stvarnih argumenata
  - nema parametre ili ima sve parametre sa podrazumevanim vrednostima
- Ugrađeni (implicitno definisan) podrazumevani konstruktor je:
  - bez parametara i
  - ima pazno telo
- Ugrađeni PK postoji samo ako klasa nije definisala ni jedan konstruktor
  - definisanjem nekog konstruktora se suspenduje ugrađeni PK
  - može da se restaurira navođenjem deklaracije iza koje stoji `=default`
- Kada se kreira niz objekata neke klase, poziva se PK za svaki element
  - redosled poziva PK elemenata je po rastućem redosledu indeksa

Pozivanje konstruktora

- Konstruktor se poziva uvek kada se kreira objekat klase:
  - kada se izvršava definicija statičkog objekta
  - kada se izvršava definicija automatskog objekta
  - kada se stvara dinamički objekat operatorom `new`
  - kada se stvarni argument klasnog tipa prenosi po vrednosti (parametar se inicijalizuje stvarnim argumentom)
  - kada se rezultat funkcije klasnog tipa vraća po vrednosti (inicijalizuje se izrazom iz `return` naredbe)

Argumenti konstruktora

- Pri stvaranju objekta moguće je navesti inicijalizator iza imena
- Inicijalizator sadrži listu argumenta konstruktora u zagradama
  - zagrade mogu da budu ( ) ili { }
  - ako se lista navodi u zagradama { }, može da se piše i = { ... }
  - nisu dozvoljene prazne zagrade ()
    - to bi se prevelo kao deklaracija f-je
- Moguća je i notacija <objekat>=<vrednost>
  - ukoliko konstruktor može da se pozove sa samo jednim argumentom
- Poziva se onaj konstruktor koji se najbolje slaže po potpisu
  - kao kod preklapanja imena funkcija
- Konstruktor može da ima podrazumevane vrednosti argumenata

Argumenti konstruktora – primer

```
class X {
  char a; int b;
public:
  X ();
  X (char, int=0);
  X (const char*);
  X(X); // ! GRESKA
  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="Niska";
  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(const char*)
  X x7(x1);    // X(X&)
  X x8{x1};
  X x9={x1};
  X x10=f();   // -
  X* p1=new X;// X()
  X* p2=new X();
  X* p3=new X(c); //X(char,int)
  X* p4=new X{c,10};
}
```

Konstrukcija članova (1)

- Pre izvršavanja tela konstruktora
  - inicijalizuju se atributi prostih tipova
  - pozivaju se konstruktori atributa klasnih tipova
- Inicijalizatori mogu da se navedu
  i u zaglavlju definicije (ne deklaracije) konstruktora, iza znaka `:`
- Ako atribut ima inicijalizator u telu klase i u definiciji konstruktora,
  primenjuje se inicijalizator iz definicije konstruktora

```
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
```

- Inicijalizacija atributa – redosledom navođenja u klasi
  - bez obzira da li su primitivnog ili klasnog tipa
  - bez obzira na redosled u listi inicijalizatora

Konstrukcija članova (2)

- Navođenje inicijalizatora u zaglavlju definicije konstruktora predstavlja specifikaciju *inicijalizacije* članova
- Inicijalizacija je različita od *operacije dodele* koja može da se vrši jedino unutar tela konstruktora
- Inicijalizacija je neophodna:
  - kada ne postoji podrazumevani konstruktor klase atributa
  - kada je atribut nepromenljiv podatak
  - kada je atribut referenca
- Do C++11 nije bila dozvojena inicijalizacija atributa u def. klase
  - jedini način inicijalizacije je bio kroz inicijalizatore u def. konstruktora

Primer konstrukcije

- Primer konstrukcije dva objekta od kojih jedan sadrži drugi:
  - objekat klase `Kontejner` sadrži po vrednosti objekat klase `Deo`, pri čemu objekat `deo` treba da "zna" ko ga sadrži

```
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 (ciljnog) konstruktora iste klase
- Tada se pre izvršenja tela delegirajućeg konstruktora izvršava ciljni
- Kad se navodi ciljni konstruktor, u listi inicijalizatora sme da postoji samo on
- Ako dolazi do neposrednog ili posrednog rekurzivnog delegiranja – greška
  - posrednu rekurziju ne mora da otkrije prevodilac, ulazi se u beskonačnu rekurziju
- Primer:

```
class T {public:
  T(int i){}
  T():T(1){} // delegirajuci: T(), ciljni: T(int)
  T(char c): T(0.5){}  //! GRESKA - posredna rekurzija
  T(double d): T('a'){}
};
```

Eksplicitan poziv konstruktora

- Konstruktor može da se pozove i eksplicitno u nekom izrazu
- Takav poziv kreira privremeni objekat klase
  pozivom odgovarajućeg konstruktora sa navedenim argumentima
- Ako se u inicijalizatoru objekta eksplicitno pozove konstruktor
  - moguća je optimizacija (materijalizacija u memoriji objekta)

```
int main () {
  Kompleksni c1(1,2.4),c2;
  c2=c1+Kompleksni (3.4,-1.5);      // privremeni objekat
  Kompleksni c3=Kompleksni (0.1,5);// privremeni objekat ?
}
```

- U 3. naredbi će biti pozvan samo konstruktor sa dva parametra
  - kao da je naredba bila: `Kompleksni c3(0.1,5);`

Konstruktor kopije (1)

- Drugi naziv – kopirajući konstruktor
- Pri inicijalizaciji objekta `x1` drugim objektom `x2` iste klase `X`
  - poziva se konstruktor kopije (KK, engl. *copy constructor*)
- Ugrađeni, implicitno definisani konstruktor kopije
  - vrši inicijalizaciju članova `x1` članovima `x2` (pravi plitku kopiju)
  - primitivni atributi (uključujući pokazivače) se prosto kopiraju
  - za klasne atribute se pozivaju njihovi KK
- Ugrađeni KK klase `X` se briše/suspenduje
  - eksplicitno se briše:
    - `X(const X&)=delete; // zabrana kopiranja`
  - implicitno se suspenduje:
    - pisanjem premeštajućeg konstruktora ili premeštajućeg operatora dodele
    - može da se restaurira pomoću: `X(const X&)=default`

Konstruktor kopije (2)

- Inicijalizacija ugrađenim KK ponekad nije zadovoljavajuća
  - ako objekti sadrže podobjekte po adresi (pokazivaču ili referenci)
  - tada programer treba da ima potpunu kontrolu nad inicijalizacijom celog objekta drugim objektom iste klase
- Za pravljenje duboke kopije potrebno je napisati KK
- Konstruktor kopije ima parametar tipa `XX&` ili `const XX&`
  - konstruktor ne sme da ima parametar tipa svoje klase kao jedini parametar ili ako ostali paramatri imaju podrazumevane vr.
- Ostali eventualni parametri kopirajućeg konstruktora moraju da imaju podrazumevane vrednosti

Pozivanje konstruktora kopije

- Konstruktor kopije se poziva sa jednim stvarnim argumentom
  - argument je tipa klase čiji se objekat stvara kopiranjem
- KK se poziva kada se objekat inicijalizuje objektom iste klase i to:
  - prilikom stvaranja trajnog, automatskog, dinamičkog ili privremnog obj.
    - oblik inicijalizatora (zagrade `()` ili `{}`, simbol `=`) je nebitan
  - prilikom prenosa arg. po vrednosti u funkciju (stvara se automatski obj.)
  - prilikom vraćanja vrednosti iz funkcije
- Prevodilac sme da preskoči poziv KK (radi optimizacije)
  - ako se stvarani objekat inicijalizuje privremenim objektom iste klase
  - neprijatno, jer izostaju i bočni efekti – program nije prenosiv
  - čak i u ovom slučaju mora da postoji KK ili premeštajući konstruktor

Konstruktor kopije – primer

```
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 smešta 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 (1)

- Konstruktor koji se poziva za konstrukciju objekata istog tipa, pri čemu je izvorišni objekat na kraju životnog veka
  - izvorišni objekat je *nvrednost*
    - *nvrednost* – nestajuća vrednost (*xvalue*, od *expiring value*)
  - izvorišni objekat ne mora da se sačuva
  - mogu samo da se premeste njegovi dinamički delovi u odredišni objekat
  - nema kopiranja dinamičkih delova izvorišnog objekta,
    - dovoljna je plitka kopija
  - posledica je da je premeštajući konstruktor efikasniji od kopirajućeg
  - treba samo da se modifikuje izvorišni objekat
    - na način da njegovo uništavanje ne povuče razaranje već premeštenih delova u odredišni objekat

Premeštajući konstruktor (2)

- Postoji ugrađeni, implicitno definisan, premeštajući konstruktor
- Ugrađeni premeštajući konstruktor pravi plitku kopiju originala
  - za atribute tipa klase – zovu se njihovi premeštajući konstruktori
  - za polja tipa pokazivača – kopiraće se samo njihove vrednosti
- U polja pokazivača izvorišta treba eksplicitno da se postavi `nullptr`
  - razlog: da se spreči uništavanje premeštenih delova u novi objekat
  - za objekte koji sadrže delove po adresi
    - nije dovoljan ugrađeni konstruktor
- Ugrađeni premeštajući konstruktor se suspenduje, ako se eksplicitno definiše:
  - premeštajući konstruktor
  - kopirajući konstruktor
  - destruktor
  - operator dodele

Pozivanje premeštajućeg konst.

- Parametar premeštajućeg konst. je referenca na *dvrednost*: `XX&&`
  - kao kod KK, ostali parametri moraju da imaju podrazumevane vrednosti
- Prevodilac će pozvati premeštajući konstruktor
  - ako izvorišni objekat nestaje
  - ako u klasi postoji (ugrađeni ili napisani) premeštajući konstruktor
- Ako u klasi ne postoji premeštajući konstruktor
  - poziva se kopirajući konstruktor
  - semantika nije promenjena
  - samo može da bude promene u brzini izvršavanja

Premeštajući konstruktor – primer

- Primer:

```
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;}
```

- Kopiranje `a` i `n` bi uradio i ugrađeni premeštajući konstruktor
- Ugrađeni konstrukor ne bi postavio `niz.a=nullptr`;
- Funkcija `f` vraća objekat tipa `Niz` po vrednosti, pa se poziva premeštajući konstruktor
  - razlog: `niz` kao lokalni automatski objekat (na steku) nestaje
  - nestajućim objektom `niz` se inicijalizuje privremeni objekat rezultata `f`

Konverzioni konstruktor (1)

- Konverzija između tipova od kojih je barem jedan klasa
  - definiše je korisnik
- Jedna mogućnost konverzije tipova
  - pomoću *konstruktora konverzije*
  - odredišni tip mora da bude klasa
- Ako u klasi `U` postoji `U::U(T&)`, ili `U::U(T)`
  gde je `T` klasa ili standardni tip:
  - vrednost izraza `U(t)`, gde je `t` tipa `T`, je privremeni objekat tipa `U`
  - to predstavlja konverziju iz tipa `T` u tip `U`
- Korisničke konverzije će se primenjivati automatski (implicitno)
  - ako je jednoznačan izbor konverzije
  - izuzev u slučaju `explicit` konstruktora
- Automatska konverzija mora da bude neposredna:
  - za `U::U(T&)` i `V::V(U&)` moguće je samo eksplicitno `V(U(t))`

Konverzioni konstruktor (2)

- Pomoću konv. konst. nije moguća konverzija u standardni tip:
  - ovaj nije klasa za koju korisnik može da definiše konverzioni konst.
- Druga mogućnost definisanja konverzija
  - preklapanje *kast operatora*
- Konverzija argumenata i rezultata funkcije
  - pri pozivu funkcije:
    - inicijalizuju se parametri stvarnim argumentima, uz eventualnu konverziju tipa
    - parametri se ponašaju kao automatski lokalni objekti pozvane funkcije
    - ovi objekti (ako su klasnih tipova) se konstruišu pozivom odgovarajućih konstruktora
  - pri povratku iz funkcije:
    - konstruiše se privremeni objekat koji prihvata vrednost `return` izraza na mestu poziva

Primer konverzije arg. i rez. f-je

```
class T {
public:
  T(int i);     // (konverzioni) 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)
  //...
}
```

Konstante klasnog tipa

- Kao i globalne f-je i metodi – konstruktor može da bude “konstantan”
  - modifikator deklaracije i definicije `constexpr`
  - prazno telo (C++14 dozvoljava naredbe koje su konstantni izrazi)
  - za sve atribute inicijalizatori moraju da budu konstantni izrazi
  - za atribute klasnog tipa mora da postoji konstantni konstruktor
- Ugrađeni podrazumevani konstruktor
  - konstantan – ako za atribute klase postoji konstantna inicijalizacija
- Za restaurirani podrazumevani konstantni konstruktor
  - nije potreban `constexpr`
- Konstantan objekat se stvara
  - konstantnim konstruktorom
  - sa konstantnim argumentima
- Konstantan objekat se koristi efikasno kao i konstanta

Konstantni objekti – primer (1)

```
class A{
   int a=1, b=2; // konstantni inicijalizatori
public:
   constexpr A(int x, int y): a(x+y), b(x-y){}
   A()=default; // restauracija podrazumevanog k.
};
constexpr A a1(3,4);    // konstantan objekat
int k=1;
constexpr A a2(k,k+1); // ! GRESKA
           A a3(k,k+1); // promenljiv objekat
constexpr A a4(a1); // postoji ugrađeni kopirajući k.
constexpr A a5; // postoji restauriran podrazumevani k.
```

Konstantni objekti – primer (2)

- Nastavak:

```
class Beta {
  Alfa a; int b;
public:
  constexpr Beta(int x):b(2*x){}
  Beta()=default;
}
…
constexpr Beta b1(3);
constexpr Beta b2(b1);
constexpr Beta b3; // !GRESKA – PK nije konstantan
```

Destruktor

- *Destruktor:*
  - specifična funkcija članica klase koja "razgrađuje" objekat
  - nosi isto ime kao klasa, uz znak ~ ispred imena
  - nema tip rezultata i ne može da ima parametre
  - može da postoji najviše jedan u klasi
- Destruktor se piše kada treba da se oslobodi (dealocira)
  - memorija koju je konstruktor zauzeo (alocirao)
  - drugi (nememorijski) resursi
- Čest slučaj potrebe za destruktorom
  - kada klasa sadrži članove koji su pokazivači ili reference na sadržane podobjekte (sadržanje delova po adresi)
  - dobra praksa: metod za uništavanje delova koji se poziva iz destruk.
- U destruktoru se članovima pristupa kao i u nekom metodu
  - preko pokazivača **`this`** (implicitno ili eksplicitno)

Pozivanje destruktora (1)

- Destruktor se implicitno poziva na kraju životnog veka objekta

```
class X {
public:
  ~X () { cout<<"Poziv destruktora klase X!\n"; }
}
int main () {  X x; //...
}  // ovde se poziva destruktor objekta x
```

- Pri uništavanju dinamičkog objekta pomoću operatora `delete`
  - destruktor se implicitno poziva pre oslobađanja memorije
- Pri uništavanju dinamičkog niza
  - destruktor se poziva za svaki element niza, po opadajućem indeksu
- Redosled poziva destruktora
  - uvek obrnut od redosleda poziva konstruktora

Pozivanje destruktora (2)

- Destruktor može i eksplicitno da se pozove
  - `x.~X()` ili
  - `px->~X()` ili
  - unutar metoda klase `X`: `this->~X()`
- Eksplicitan poziv se ne preporučuje
  - poziv ima efekat kao i poziv metoda datog objekta
  - objekat i dalje postoji, ali izmenjen dejstvom destruktora
- Posle izvršavanja tela automatski pozvanog destruktora
  - automatski se oslobađa memorija koju je sam objekat zauzimao

Primer konstruktora i destruktora

```
class Tekst {
public:
  Tekst(){ niska=nullptr; }     // podrazumevani konstruktor
  Tekst(const char*);           // konverzioni konstruktor
  Tekst(const Tekst&);          // kopirajuci konstruktor
  Tekst(Tekst&&);               // premestajuci konstruktor
  ~Tekst();                     // destruktor
private:
  char *niska;
};
#include <cstring>
using namespace std;
Tekst::Tekst(const char* t) {
  niska=new char [strlen(t)+1]; strcpy(niska,t);
}
Tekst::Tekst(const Tekst& t) {
  niska=new char [strlen(t.niska)+1]; strcpy(niska,t.niska);
}
Tekst::Tekst(Tekst&& t) { niska=t.niska; t.niska=nullptr; }
Tekst::~Tekst() { delete [] niska; niska=nullptr; }
int main () {
  Tekst a("Pozdrav!"), b=a; // Tekst(const char*) Tekst(const Tekst&);
}                           // ~Tekst() ~Tekst()
```

Statički (zajednički) atributi

- Pri stvaranju objekata klase
  - za svaki objekat - poseban komplet nestatičkih atributa
- Atribut može da bude deklarisan kao *statički*
  - pomoću modifikatora `static`
- Postoji samo jedan primerak statičkog atributa za celu klasu
  - zajednički podatak za sve objekte klase – objekti ga dele

```
class X { private:
  static int i;  // samo jedan za sve objekte
         int j;  // svaki objekat ima svoj j
};
```

- Primeri:
  - klasa definiše elemente jedinstvene liste objekata
    - glava liste je zajednički član klase
  - brojač stvorenih objekata klase (inkrementira se u konstruktorima)

Statički atributi – primeri upotrebe

- Primer: glava jedinstvene liste

```
class Element {
public:
  static Element *glava;
  //..
private:
  int vrednost;
  Element *sledeci;
 };
```

- Primer: vođenje evidencije o broju kreiranih primeraka

```
class Objekat {
public:
  Objekat(){brojac++;}
  //..
private:
  static int brojac;
};
```

Definisanje statičkog atributa

- U klasi se statički atribut samo deklariše
- Mora da se definiše na globalnom nivou
  - izvan definicije klase i svih funkcija
- Čak i privatni statički atributi moraju da se definišu na taj način
- Dozvoljeni su svi oblici inicijalizatora
- Inicijalizacija statičkog atributa se obavi
  - pre prvog pristupa njemu i pre stvaranja objekta date klase
- Obraćanje statičkom atributu van klase vrši se preko operatora `::`

```
int X::i=5; // obavezno bez static
```

- Ako se ne navede inicijalizator u definiciji, podrazumeva se nula
- Imenovana celobrojna konst. može da se definiše i u definiciji klase

Statički atributi – primer definisanja

```
class X {
  static int psa=10;      // ! GRESKA - promenljivi stat. atr.
  static const int ick=10;      // imenovana celobrojna konst.
  static const double irk=10.0;// ! GRESKA - mora celobrojno
  static const int nsa;         // nepromenljivi stat. atr.
};
int X::nsa = 10;
```

Statički atributi i globalni podaci

- Sličnosti sa globalnim podacima:
  - trajni podaci (sličan životni vek)
  - moraju da se definišu na globalnom nivou
- Razlike od globalnih podataka:
  - statički atributi logički pripadaju klasi
  - doseg imena statičkih atributa je klasa
  - statičkim atributima je moguće ograničiti pristup
- Statički atribut ima sva svojstva glob. statičkog podatka osim dosega imena i kontrole pristupa
- Statički članovi smanjuju potrebu za globalnim objektima

Statički (zajednički) metodi (1)

- Statički metodi su funkcije klase, a ne svakog posebnog objekta
- Metodi su “zajednički” za sve objekte klase
- Primena:
  - za opšte usluge klase
  - prvenstveno za obradu statičkih atributa
- Deklarišu se dodavanjem modifikatora `static` ispred deklaracije
- Imaju sva svojstva globalnih funkcija
  osim dosega i kontrole pristupa
- Ne poseduju pokazivač `this`
  - ne mogu neposrednim imenovanjem da pristupe nestatičkim članovima
  - modifikator `const` i drugi iza liste parametara nemaju smisla

Statički (zajednički) metodi (2)

- Mogu da pristupe nestatičkim članovima konkretnog objekta
  - parametra
  - lokalnog
  - globalnog
- Mogu neposredno da pristupe samo statičkim članovima klase
- Pozivaju se za klasu:
  - <klasa>::<poziv>
- Mogu da se pozovu i za konkretan objekat
  - što treba da se izbegava
  - klasa pokazanog objekta kao levog operanda se određuje statički (prema tipu pokazivača, a ne objekta)
- Statički metodi mogu da se pozovu i pre stvaranja objekata klase

Statički metodi – primer (1)

```
class X {
  static int x;      // staticki atribut (deklaracija)
         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;           // ! GRESKA: X::y nije staticki
  int k=x1.y;        // ovo moze;
  return x1.x;       // i ovo moze, ali nije preporucljivo
}
```

Statički metodi – primer (2)

```
int X::g () {          // definicija nestatickog metoda
  int i=x;             // X::x
  int j=y;             // this->y
  return j;
}

int main () {
  X xx;
  int p=X::f(xx);      // X::f moze neposredno, bez objekta;
  int q=X::g();        // ! GRESKA: za X::g mora konkretan objekat
  xx.g();              // ovako moze;
  p=xx.f(xx);          // i ovako moze, ali nije preporucljivo
}
```

Statički metodi – primeri upotrebe

- Primeri:
  - dohvatanje glave ili broja članova jedinstvene liste
  - dohvatanje broja stvorenih objekata klase koja ima njihov brojač
  - uslužna klasa (svi statički metodi, obrisani ugrađeni konstruktori)
- Ograničenje na kreiranje isključivo dinamičkih objekta neke klase:

```
class X {
  public:  static X* kreiraj () { return new X; }
  private: X(){};              // konstruktor je privatan
};
int main() {
  X x;                         // ! GRESKA
  X* px=X::kreiraj();          // moze
}
```

- Primena:
  - funkcija `kreiraj` može da ograniči broj stvorenih objekata klase

Prijatelji klasa

- Ponekad je potrebno da klasa ima i "povlašćene" korisnike koji mogu da pristupaju njenim privatnim članovima
- Povlašćeni korisnici mogu da budu:
  - funkcije (globalne ili metodi drugih klasa) ili
  - cele klase
- Takve funkcije i klase nazivaju se *prijateljima* (eng. *friends*).
- Prijateljstvo, kao relacija između klasa:
  - se ne nasleđuje
  - nije simetrična relacija
  - nije tranzitivna relacija
- Prijateljstvo je relacija koja reguliše isključivo pravo pristupa, a ne oblast važenja i vidljivost identifikatora

Prijateljske funkcije (1)

- Prijateljske funkcije su funkcije koje
  - nisu članice klase, ali
  - imaju dozvoljen pristup do privatnih članova klase
- Prijateljske funkcije mogu da budu:
  - globalne funkcije ili
  - metodi drugih klasa
- Funkcija je prijateljska:
  - ako se u definiciji klase navede njena
    - deklaracija ili
    - definicija
  - sa modifikatorom `friend`
- Potrebno je da klasa eksplicitno proglasi funkciju prijateljskom

Prijateljske funkcije (2)

- Ako se u definiciji klase navodi definicija prijateljske funkcije
  - podrazumeva se `inline`
  - ime takve funkcije nema klasni doseg, već globalni doseg
- Nevažno je pravo pristupa sekciji klase (privatno, zaštićeno, javno) u kojoj se navodi deklaracija prijateljske funkcije
- Prijateljska funkcija nema pokazivač `this` na objekat klase kojoj je prijatelj
  - modifikator (npr. `const`) nema smisla za globalnu prijateljsku funkciju
- Funkcija može da bude prijatelj većem broju klasa istovremeno

Prijateljske funkcije – primer

```
class Y{public: void h(){}};
class X {
  friend void g(int, X&);   // deklar. prijateljske glob. f-je
  friend void Y::h();       // prijateljski metod klase Y
  friend int o(X x){return x.i;}// def. prijateljske glob. f-je
  friend int p(){return i;} // ! GRESKA - 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);     // postavljanje preko metoda
  g(6,x);     // postavljanje preko prijateljske funkcije
  j=o(x);     // citanje preko prijateljske funkcije
}
```

Prijateljske funkcije i metodi

- Ponekad su globalne prijateljske funkcije pogodnije od metoda:
  - metod mora da se pozove za objekat date klase, dok globalnoj funkciji može da se dostavi i objekat drugog tipa
    - nije moguća konverzija skrivenog argumenta u drugi tip
  - kada funkcija treba da pristupa privatnim članovima više klasa, prijateljska globalna funkcija je “simetrično” rešenje
    - asimetrično bi bilo da je f-ja metod jedne, a prijatelj ostalih klasa
  - ponekad je notaciono pogodnije da se koriste globalne funkcije (`f(x)`) nego metodi (`x.f()`);
    - na primer: `max(a,b)` je čitljivije od `a.max(b)`;
  - kada se preklapaju operatori, često je jednostavnije definisati globalne (operatorske) funkcije nego metode

Prijateljske klase

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

```
class X {
  friend Y;//ako je klasa Y definisana ili deklarisana
  friend class Z; //ako Z jos nije ni def. ni dek.
};
```

- Svi metodi klase `Y` mogu da pristupaju privatnim članovima klase `X`
- Prijateljske klase se tipično koriste kada neke dve klase imaju tešnje međusobne veze
- Primer:
  - obezbeđuje da samo objekat `Fabrika` može da stvara objekte `Proizvod`

```
class Proizvod {
 private:
  friend class Fabrika;
  Proizvod();  // konstruktor je dostupan samo klasi Fabrika
};
```

Strukture

- Struktura je klasa kod koje su svi članovi podrazumevano javni
  - to može da se promeni eksplicitnim umetanjem `public:` i `private:`

```
struct X {          isto što i:          class X {
                                         public:
  //...                                    //...
private:                                 private:
  //...                                    //...
};                                       };
```

- Na C++ struktura može da ima i metode
- Struktura se tipično koristi:
  - za definisanje strukturiranih podataka koji ne predstavljaju apstrakciju, odnosno nemaju bitno ponašanje (nemaju značajnije metode)
- Strukture tipično poseduju samo konstruktore i eventualno destruktore

Ugnežđene klase (1)

- Klase mogu da se deklarišu ili definišu unutar definicije druge klase
- Ugnežđivanje se koristi kada neki tip (npr. klasa) semantički pripada samo datoj klasi
  - povećava se čitljivost programa
  - smanjuje se potreba za globalnim tipovima
- Unutar definicije klase mogu da se navedu i
  - definicije nabrajanja (`enum`) i tipova (`typedef`)
- Ugnežđena klasa (tip) se nalazi u dosegu imena okružujuće klase
  - izvan okružujuće klase imenu ugnežđene klase može da se pristupi samo preko operatora proširenja dosega imena `::`
- Iz okružujuće klase do članova ugnežđene moguć je samo pristup:
  - pomoću operatora `.`, `->` i `::`
- Doseg imena okružujuće `O` se proteže na ugnežđenu klasu `U`
  - ali i iz `U` do članova objekta `O` je moguć samo pristup preko `.` i `->`

Ugnežđene klase (2)

- U ugnežđenoj klasi mogu direktno da se koriste samo identifikatori:
  - tipova iz okružujuće klase
  - konstanti tipa nabrajanja iz okružujuće klase
  - statičkih članova iz okružujuće klase
- To važi ako ime nije sakriveno imenom člana ugnežđene klase
- Pristup statičkom članu ugnežđene klase izvan okružujuće:
  <id okružujuće>::*<id ugnežđene>*::*<id statičkog člana ugnežđene>*
- Ugnežđena klasa je implicitno prijatelj okružujuće klase
  - ima pravo pristupa privatnoj sekciji okružujuće
- Okružujuća klasa nije prijatelj ugnežđene
  - mora da se eksplicitno proglasi prijateljem da bi mogla da pristupi privatnoj sekciji

Ugnežđene klase – primer

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

Lokalne klase

- Lokalne klase se definišu unutar funkcija
- Identifikator lokalne klase ima doseg (oblast važenja) od deklaracije do kraja bloka u kojem je deklarisan
- Unutar lokalne klase iz okružujućeg dosega je dozvoljeno samo korišćenje:
  - identifikatora tipova
  - konstanti tipa nabrajanja
  - trajnih podataka (statičkih atributa, statičkih lokalnih i globalnih)
  - spoljašnjih (eksternih) podataka i funkcija
- Metodi lokalne klase moraju da se definišu unutar definicije klase
- Lokalna klasa ne može da ima statičke (zajedničke) atribute

Lokalne klase – primer

```
int x;
void f() {
  static int s;
  int x;
  extern int g();
  class Lokalna {
  public:
    int h (){ return x; }     // ! GRESKA: 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;               // ! GRESKA: nije u dosegu
```

Pokazivači na članove klase

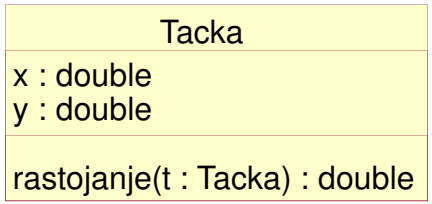
- Dodelom vrednosti pokazivaču na članove klase označi se neki član klase
- Analogija: kao što se indeksom označi komponenta niza
- Pokazivač na članove klase se deklariše:
  <tip člana klase> <klasa>::*<identifikator pokazivača članova>
- Formiranje adrese člana klase i dodela pokazivaču na članove klase:
  <identifikator pokazivača članova>=&<klasa>::<član klase>
- Pristup članu klase pomoću pokazivača na članove klase:
  <objekat klase>.*<identifikator pokazivača članova> ili
  <pokazivač na objekat klase>->*<identifikator pokazivača članova>
- Operatori .* i ->* su prioriteta 14 i asocijativnost je sleva-udesno

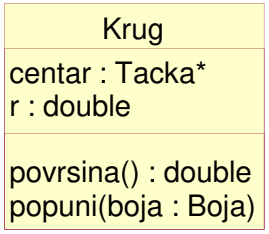
Pokazivači na članove klase – primer

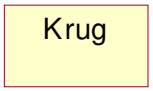
```
class A {public: int x, y; };

int main() {
    int A::*pc;      // pc je pokazivac na int clanove klase A
    A a,*pa = &a;

    pc=&A::x;        // pc pokazuje na clanove x objekata klase A
    a.*pc = 1;       // a.x=1;
    pa->*pc = 1;     // pa->x=1;

    pc=&A::y;        // pc pokazuje na clanove y objekata klase A
    a.*pc = 2;       // a.y=2;
    pa->*pc = 2;     // pa->y=2;
}
```

Grafička notacija (UML)

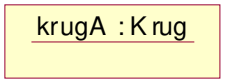
- UML – Unified Modeling Languge
  - grafička notacija za modelovanje softvera
- Klasa:







- Objekat:



Relacije

- Asocijacija

- Zavisnost

- Agregacija

- Kompozicija