Algoritmi i strukture podataka

- predavanja -

2. C++

Osnovno o jeziku

- Autor Bjarne Stroustrup, 1985.
- proširenje jezika C objektnom paradigmom
- "C with Classes"
- imperativni i proceduralni jezik
  - stanje programa mijenja se naredbama koje su sadržane u procedurama
  - to je različito od deklarativnog jezika, gdje se opisuju svojstva rezultata – to nazivamo funkcijskom, logičkom ili matematičkom paradigmom
- sve što se može u C-u, može se i u C++, ali i
  - objektno orijentiran
  - ima mogućnost generičkog programiranja (nije potrebno pisati nove funkcije (iste funkcionalnosti) za druge tipove podataka)

Hello, world!

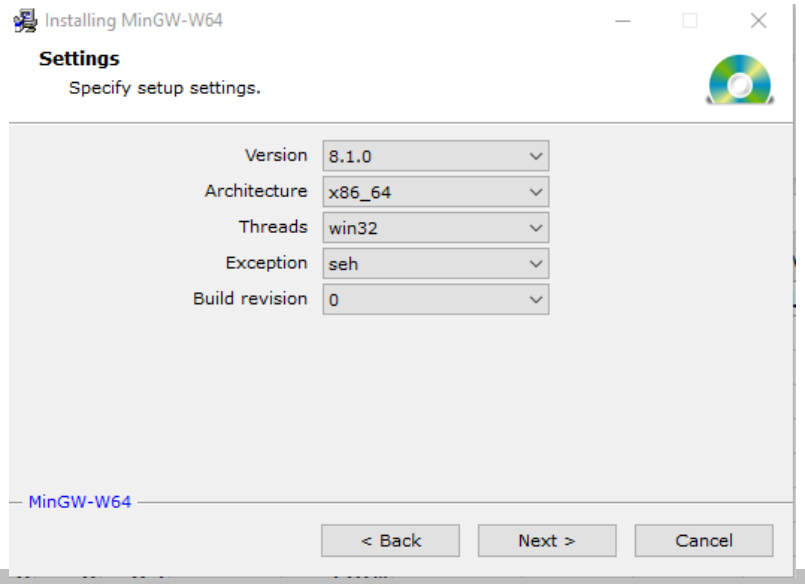
- Izvorna datoteka (Linux obično `.cc`, Windows obično `.cpp`)

HelloWorld.cpp

```
#include <iostream>
int main(void) {
   std::cout << "Hello world!" << std::endl;
   return 0;
}
```

- Instalirati https://sourceforge.net/projects/mingw-w64/

u neku mapu koja u nazivu nema praznine (npr. `C:\mingw`) sa sljedećim postavkama:



Hello, world!

- Postaviti PATH na …\bin
- Prevođenje

```
g++ -g -o HelloWorld.exe HelloWorld.cpp
ili
gcc –g -o HelloWorld.exe HelloWorld.cpp -lstdc++
```

- Izlaz

```
Hello world!↵
```

Prostor imena (*namespace*)

- Omogućava postojanje više programskih elemenata istog imena
- Operator određivanja pripadnosti :: (*scope resolution operator*)

Namespace.cpp

```
#include <iostream>
namespace s1 {
   float const pi = 3.14;
}
namespace s2 {
   double const pi = 3.141592654;
}
int main(void) {
   std::cout << s1::pi << " ";
   std::cout << s2::pi << std::endl;
   return 0;
}
```

```
3.14 3.14159↵
```

Prostor imena (*namespace*)

- Naredba `using` omogućava korištenje programskih elemenata bez ::

NamespaceUsing.cpp

```
#include <iostream>
namespace s1 {
   float const pi = 3.14;
}
namespace s2 {
   double const pi = 3.141592654;
}
using namespace s1;
int main(void) {
   std::cout << pi << std::endl;
   std::cout << s2::pi << std::endl;
   return 0;
}
```

```
3.14 3.14159↵
```

Prostor imena (*namespace*)

- Naredba `using namespace` određuje pretpostavljene prostore u kojima prevodilac traži identifikatore
- *Hello, world* s `using namespace`

HelloWorld.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(void) {
   cout << "Hello world!" << endl;
   return 0;
}
```

```
Hello world!↵
```

- vrijedi od mjesta navođena naredbe pa do kraja bloka u kojem je navedena
- ako je navedena izvan bloka, vrijedi do kraja datoteke
- može se navesti više `using` naredbi, ali treba paziti da ne dođe do neodređenosti, ako se neki simbol s istim nazivom nalazi u više od jednog prostora imena

Jednostavni ulaz/izlaz

- Standardne funkcije programskog jezika C (`printf`, `scanf` itd.)
- Globalni objekti `cout`, `cin`, `cerr` s operatorima << i >>

```
…
    double v;
    cin >> v;
    if (v < 0) cerr << "Negativni broj";
    else cout << sqrt(v);
…
```

Višeznačnost funkcija (*function overloading*)

- Funkcije se prepoznaju prema potpisu (*signature*):
  - naziv funkcije, broj i tipovi parametara

Overloading.cpp

```
…
int kvadrat(int arg) {
   cout << "int ";   return arg * arg;
}
double kvadrat(double arg) {
   cout << "double ";   return arg * arg;
}
int main(void) {
   cout << kvadrat(2) << " " << kvadrat(2.) << " "
        << kvadrat('A') << endl;
   return 0;
}
```

```
int 4 double 4 int 4225↵
```

Višeznačnost funkcija (*function overloading*)

- Ako se funkcija pozove s nekim drugim tipom argumenta, obavit će se automatska konverzija, ako je moguće, npr.

```
…
int kvadrat(int arg) {
   cout << "int ";   return arg * arg;
}
double kvadrat(double arg) {
   cout << "double ";   return arg * arg;
}
int main(void) {
   cout << kvadrat(2.f) << endl;
   return 0;
}
```

```
double 4↵
```

Referenca (&)

- Nepromjenjivi pokazivač kojeg prevodilac automatski dereferencira

Reference.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(void) {
   int a = 1;
   int &b = a;
   // slično kao int *b = &a;
   // ali bi kasnije trebalo eksplicitno dereferencirati
   b = 7;
   cout << a << " " << b;
   return 0;
}
```

```
7 7↵
```

Referenca (&)

- Najčešće se koristi kod parametara funkcije

ReferenceFunction.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
void swap(int &a, int &b) {
   int tmp = a;
   a = b;
   b = tmp;
}
int main(void) {
   int a = 1, b = 2;
   swap(a, b);
   cout << a << " " << b << endl;
   return 0;
}
```

```
2 1
```

Razred (*class*)

- Skup istovrsnih objekata koji sadrže podatke (članske varijable, *members*) i nad kojima su definirane funkcije (*methods, member functions*)
- Deklaracija razreda

Point.cpp

```
…
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   void mirrorX(double xValue) { x = xValue - (x - xValue); }
   void mirrorY(double yValue) { y = yValue - (y - yValue); }
};
…
```

- Kao i kod strukture u C-u, ovo je samo predložak (nacrt, *blueprint*) budućih objekata

Razred (*class*)

- `public` izlaže članske varijable i funkcije prema ostatku programa
- ako se ne navede, članske varijable i funkcije su `private` i ne mogu se koristiti izvan razreda
- detaljnije o `public`, `private` i `protected` kasnije

Razred (*class*)

- Stvarni objekt treba stvoriti (instancirati) definicijom, čime se rezervira memorija, ali ne inicijaliziraju članske varijable

```
int main(void) {
   Point p;
   cout << sizeof(p) << endl;
   cout << p.x << " " << p.y << endl;
   p.x = 10;
   p.y = 20;
   p.mirrorX(-1);
   cout << p.x << " " << p.y << endl;
   return 0;
}
```

```
16↵
7.00584e-317 7.90505e-323 ↵
-12 20↵
```

Konvencije za nazivlje

- U C++ standardu svi nazivi započinju malim slovom
- Ali bolje je i široko prihvaćeno:
  - Nazive razreda započinjati velikim slovom kako bi se razlikovali od konkretnih objekata

    ```
    class Point { …
    ```

  - Funkcije i varijable započinjati malim slovom, koristiti "*Camel casing*"

    ```
    x, mirrorX, xAxis
    ```

  - konstante pisati velikim slovom

    ```
    const double PI=3.141592654;
    ```

- Ponekad se preporuča privatne varijable započinjati s `m_`, a parametre funkcija s `t_`
- Novije konvencije predlažu _ na kraju ili, još bolje, na početku imena privatne varijable

Razred (*class*)

- Opis složenijeg razreda uobičajeno se rastavlja u dvije datoteke
- Datoteka zaglavlja, s deklaracijom razreda, npr. `Point.h`

```
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   void mirrorX(double xValue);
   void mirrorY(double yValue);
};
```

- Datoteka s definicijom članskih funkcija, koja treba `#include`, ali i obvezno ::, npr. `Point.cpp`

```
#include "Point.h"
void Point::mirrorX(double xValue) { x = xValue - (x - xValue); }
void Point::mirrorY(double yValue) { y = yValue - (y - yValue); }
```

Razred (*class*)

- Glavni program treba `#include`, npr. `Main.cpp`

```
#include <iostream>
#include "Point.h"
using namespace std;
int main(void) {
   Point p;
   …
   return 0;
}
```

- Prevođenje i povezivanje

```
g++ -g -o Main.exe Point.cpp Main.cpp
```

- Zbog jednostavnosti i lakšeg prevođenja i povezivanja, većina će primjera biti napisana u jednoj datoteci koja objedinjuje deklaracije, definicije i glavni program

Razred (*class*)

- Inicijalne vrijednosti članskih varijabli i operator pridruživanja

PointAssign.cpp

```
#include <string.h>
…
int main(void) {
   Point p, r, s;
   cout << p.x << " " << p.y << endl;
   p.x = 10; p.y = 20;
   r = p;
   cout << r.x << " " << r.y << endl;
   memcpy(&s, &p, sizeof(p));
   cout << s.x << " " << s.y << endl;
   return 0;
}
```

```
1.79158e-307 1.79173e-307↵
10 20↵
10 20↵
```

Razred (*class*)

- Pristup članovima preko pokazivača

```
…
int main(void) {
   Point p, *r;
   r = &p;
   cout << r->x << " " << r->y << endl;
   r->mirrorX(); // ili (*r).mirrorX();
   cout << (*r).x << " " << (*r).y << endl;
}
```

Konstruktori

- Funkcije koje se obavljaju prilikom definicije, najčešće služe za inicijalizaciju vrijednosti članskih varijabli

PointConstructor.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   Point() { // pretpostavljeni (default) konstruktor
      x = 0; y = 0;
   }
   Point(double xIn, double yIn) { // konstruktor s parametrima
      x = xIn; y = yIn;
   }
};
```

Konstruktori

```
…
int main(void) {
   Point p, r(1, 2);
   cout << p.x << " " << p.y << endl;
   cout << r.x << " " << r.y << endl;
   return 0;
}
```

```
0 0↵
1 2↵
```

Konstruktori s inicijalizacijskim listama

- Ekvivalent prethodnom primjeru

PointConstructorInitList.cpp

```
…
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   Point() : x(0), y(0) {}
   Point(double xIn, double yIn) : x(xIn), y(yIn) {}
};
…
```

Konstruktori s inicijalizacijskim listama

- Ovako se parametri mogu zvati isto kao i članske varijable

```
…
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   Point() : x(0), y(0) {}
   Point(double x, double y) : x(x), y(y) {}
};
…
```

Konstruktori

- Inače, problem:

```
…
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   Point(double x, double y) {
      x = x;
      y = y;
   }
};
…
Point r(1, 2);
cout << r.x << " " << r.y << endl;
```

```
-8.31488e+150 1.34903e+264↵
```

Pokazivač this

- Sadrži adresu aktivnog objekta

```
…
class Point {
 public:
   double x;
   double y;
   Point(double x, double y) {
      this->x = x;
      this->y = y;
   }
};
…
Point r(1, 2);
cout << r.x << " " << r.y << endl;
```

```
1 2↵
```

Destruktor

- Funkcija koja se poziva u trenutku uništavanja objekta
- Oslobađa resurse koje je zauzeo objekt

  `~SomeClass() { … }`
- Primjer: primitivna realizacija razreda `File` u kojemu se datoteka otvara u konstruktoru, a zatvara u destruktoru

  Destructor.cpp

Uniformna inicijalizacija {}

- Jedinstven način inicijalizacije varijabli, objekata i polja
- Omogućava i stvaranje novih objekata pri pozivu funkcije ili povratku iz funkcije

UniformInitialization.cpp

Nasljeđivanje

- Primjer: vrlo pojednostavnjeni skup geometrijskih likova
  - trokut, kvadrat, pravokutnik, krug zadani su identifikatorom, koordinatom referentne točke (donji lijevi ugao za trokut, kvadrat, pravokutnik, središte za krug), osnovicom a (uvijek paralelna s apscisom) ili radijusom, te drugom (b, pravokutnik) i trećom stranicom (c, trokut)
  - Treba implementirati skup likova i omogućiti izračun ukupne površine svih likova.

Put prema nasljeđivanju

- Vrlo primitivno rješenje

  ShapeElementary.cpp

  - Ali kako organizirati skup po kojem se može iterirati?
- Prljavo i grozno rješenje, ali jedino moguće bez nasljeđivanja
  - `void *set[size];`
  - Kod dereferenciranja treba *cast* u neki konkretni lik, ali u koji?

  ShapeDirty.cpp
- Dodatni problemi:
  - svaki lik definira i zajedničke elemente koji se u deklaraciji moraju svaki puta pobrojati (`id, x, y, a`)
  - `id` se može promijeniti bilo gdje u kôdu
- Pravo rješenje: nasljeđivanje kojim se ostvaruje višeobličje (polimorfizam) **ShapeInheritance.cpp**

Nasljeđivanje funkcija i konstruktora

- Ako u nekom razredu ne postoji funkcija sa određenim potpisom, potražit će se takva funkcija u nadređenom razredu
- U slučaju konstruktora, sve do C++11 trebalo je eksplicitno pozivati konstruktor iz nadređenog razreda iako konstruktor nadređenog razreda ima iste parametre

```
class Square {
   …
   Square(int id, double x, double y, double a) : Shape(id, x, y, a) {}
   …
```

- Od C++11 dovoljno je koristiti ključnu riječ `using`

```
class Square {
   …
   using Shape::Shape;
   …
```

`public, private, protected`

- U deklaraciji razreda
  - `public`: dostupno iz svih dijelova programa
  - `protected`: dostupno razredu u kojem je definirano, razredu koji taj razred nasljeđuje i `friend` funkcijama i razredima
  - `private`: dostupno samo razredu u kojem je definirano i `friend` funkcijama i razredima

public, private, protected

- Primjer za `friend` funkciju koja pristupa `private` članu

FriendFunction.cpp

```
class Shape {
 private:
   int id;
   friend void setId(Shape &s, int newId);
   …
};

void setId(Shape &s, int newId) { s.id = newId; }

int main (void) {
…
   setId(s, 10);
…
```

public, private, protected

- Primjer za `friend` razred koji pristupa `private` članu

FriendClass.cpp

```
class Shape {
 private:
   int id;
   friend class SomeClass;
   …
};
class SomeClass {
public:
   void setId(Shape &s, int newId) { s.id = newId; }
…
int main(void) {
   Shape s(…);
   SomeClass c(…);
   c.setId(s, 10);
…
```

public, private, protected

- Kod nasljeđivanja
  - `class Derived : public Base { …`
    - `public` članovi iz `Base` postaju `public` članovi u `Derived`
    - `protected` članovi iz `Base` postaju `protected` članovi u `Derived`
    - `private` članovi iz `Base` nedostupni su u `Derived`
  - `class Derived : protected Base { …`
    - `public` članovi iz `Base` postaju `protected` članovi u `Derived`
    - `protected` članovi iz `Base` postaju `protected` članovi u `Derived`
    - `private` članovi iz `Base` nedostupni su u `Derived`
  - `class Derived : private Base { …`
    - `public` članovi iz `Base` postaju `private` članovi u `Derived`
    - `protected` članovi iz `Base` postaju `private` članovi u `Derived`
    - `private` članovi iz `Base` nedostupni su u `Derived`

`static` članovi

- Svaki definirani objekt posjeduje vlastiti skup članskih varijabli i dijeli zajednički kôd članskih funkcija
- `static` članske varijable zajedničke su za sve instance razreda i postoje čak i ako nema instanciranih objekata
- automatski se inicijaliziraju na nulu, ili, ako su objekti, pretpostavljenim konstruktorom
- prije C++17 `static` članske varijable morale su se deklarirati u razredu ali i definirati izvan deklaracije razreda
- od C++17 `static` članske varijable mogu se definirati u deklaraciji razreda s `inline`

`static` članovi

- `static` članske funkcije postoje čak i ako nema instanciranih objekata, nisu povezane niti s jednim objektom pa nemaju pristup pokazivaču `this` nego samo statičkim varijablama
- pozivaju se sintaksom *`razred`*`::`*`funkcija`*`(`*`argumenti`*`);`
- Primjer: skup likova s automatskim generiranjem id-a

  ShapeInheritanceWithStatic.cpp

Struktura (struct)

- Kao i u C-u, ali kod definicije nije potrebno `struct`

Struct.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
struct Point {
   int x;
   int y;
};
int main(void) {
   Point p = {1, 2};
   Point r = {3};
   cout << p.x << " " << p.y << endl;
   cout << r.x << " " << r.y << endl;
   return 0;
}
```

```
1 2↵
3 0↵
```

Struktura (`struct`)

- U C++ struktura može imati sve što i razred (članske funkcije, konstruktore, destruktore, nasljeđivanje…)
- Jedina razlika:
  - kod strukture su svi članovi, ako se drukčije ne navede, `public`
  - kod razreda su svi članovi, ako se drukčije ne navede, `private`
- Zbog semantike, preporuča se:
  - koristiti strukturu kad su u pitanju samo podaci
  - koristiti razred kad se definiraju i članske funkcije

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

- izraz poput

  lijevi_operand operator desni_operand

shvaća se kao članska funkcija razreda kojem pripada lijevi operand

lijevi_operand.funkcija_tipa_operator(desni_operand)

- Primjer:

```
a = b + c;   →   a = b.+(c);
```

- Alternativno, isti izraz može se shvatiti kao ne-članska funkcija

funkcija_tipa_operator(lijevi_operand,desni_operand)

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

- Primjer: ostvariti razred `Fraction` (razlomak) i u njemu operatore zbrajanja i uspoređivanja

Fraction.cpp

```
…
class Fraction {
 public:
   int numerator;
   int denominator;
   Fraction(){};
   Fraction(int numerator, int denominator)
       : numerator(numerator), denominator(denominator) {}
…
```

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

```
…
   Fraction operator+(const Fraction &other) {
      Fraction r;
      r.denominator = denominator * other.denominator;
      r.numerator = denominator * other.numerator +
                    other.denominator * numerator;
      return r;
   }
   bool operator==(const Fraction &other) {
      return denominator == other.denominator
          && numerator == other.numerator;
   }

…
```

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

- Alternativno

```
…
   friend Fraction operator+(const Fraction &left,
                             const Fraction &right) {
      Fraction r;
      r.denominator = left.denominator * right.denominator;
      r.numerator = left.denominator * right.numerator +
                    right.denominator * left.numerator;
      return r;
   }
   friend bool operator==(const Fraction &left,
                          const Fraction &right)  {
      return left.denominator == right.denominator &&
             left.numerator == right.numerator;
   }
…
```

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

- Za realizaciju

`cout << objekt_razreda_fraction`

ili

`cin >> objekt_razreda_fraction`

i oblik

`lijevi_operand.funkcija_tipa_operator(desni_operand)`

trebalo bi u razred `ostream`, odnosno `istream` dodati operatore kojima je *`desni_operand`* tipa `Fraction` (i tako za svaki novi razred kojega se želi ispisati/učitati)

Zato je jedino moguć oblik

`funkcija_tipa_operator(lijevi_operand,desni_operand)`

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

```
…
   friend ostream& operator<<(ostream &os, const Fraction &r) {
      os << r.numerator << "/" << r.denominator;
      return os;
   };

   friend istream &operator>>(istream &is, Fraction &r) {
      is >> r.numerator >> r.denominator;
      return is;
   };
…
```

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

```
…
int main(void) {
   Fraction a(1, 2), b(2, 3), c(1, 2);
   cout << a << " " << b << " " << a + b << endl;
   cout << (a == b) << " " << (a == c) << endl;
   a = b;
   cout << a << " " << b << " "
        << (a == b) << " " << (a == c) << endl;
   return 0;
}
```

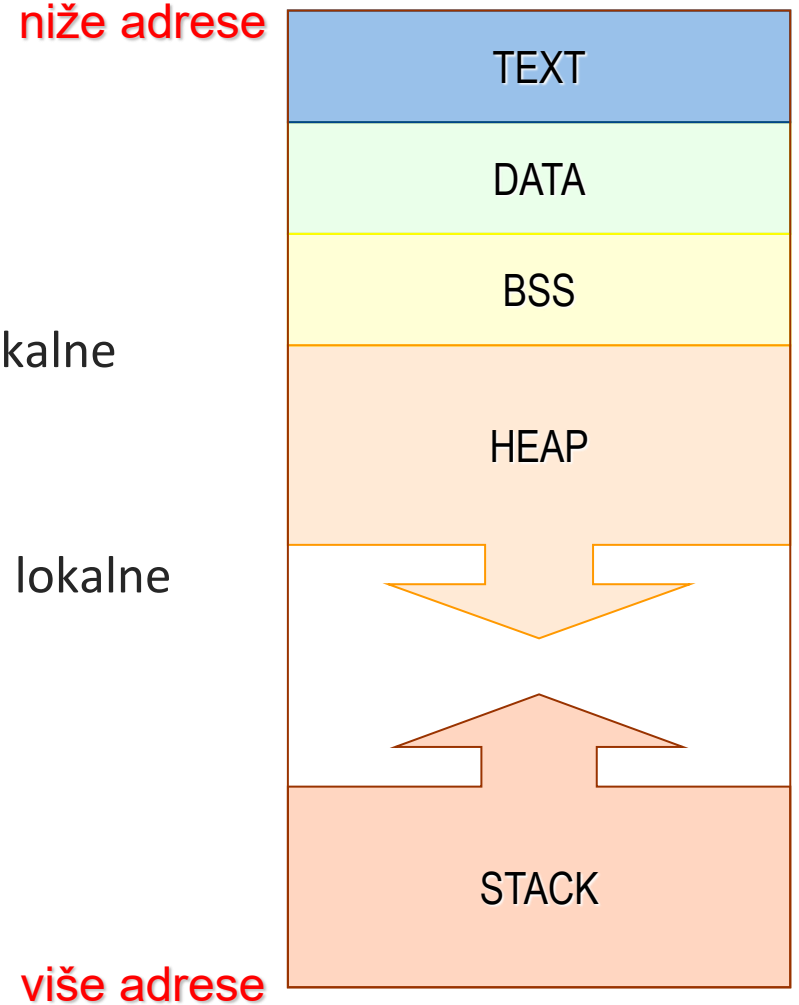
```
1/2 2/3 7/6↵
0 1↵
2/3 2/3 1 0↵
```

Višeznačnost operatora (*operator overloading*)

- Operator pridruživanja nije potrebno definirati jer je ovdje prihvatljivo pretpostavljeno pridruživanje (`memcpy`)

Dinamička rezervacija - segmenti memorije

- ovisi o operacijskom sustavu
  - TEXT
    - pohranjen program
  - DATA
    - inicijalizirane globalne i statičke lokalne varijable
  - BSS (Block Started by Symbol)
    - neinicijalizirane globalne i statičke lokalne varijable
  - gomila (heap)
    - dinamički rezervirana memorija
  - stog (stack)
    - lokalne varijable funkcija
    - nalazi se na dnu (najviše adrese)



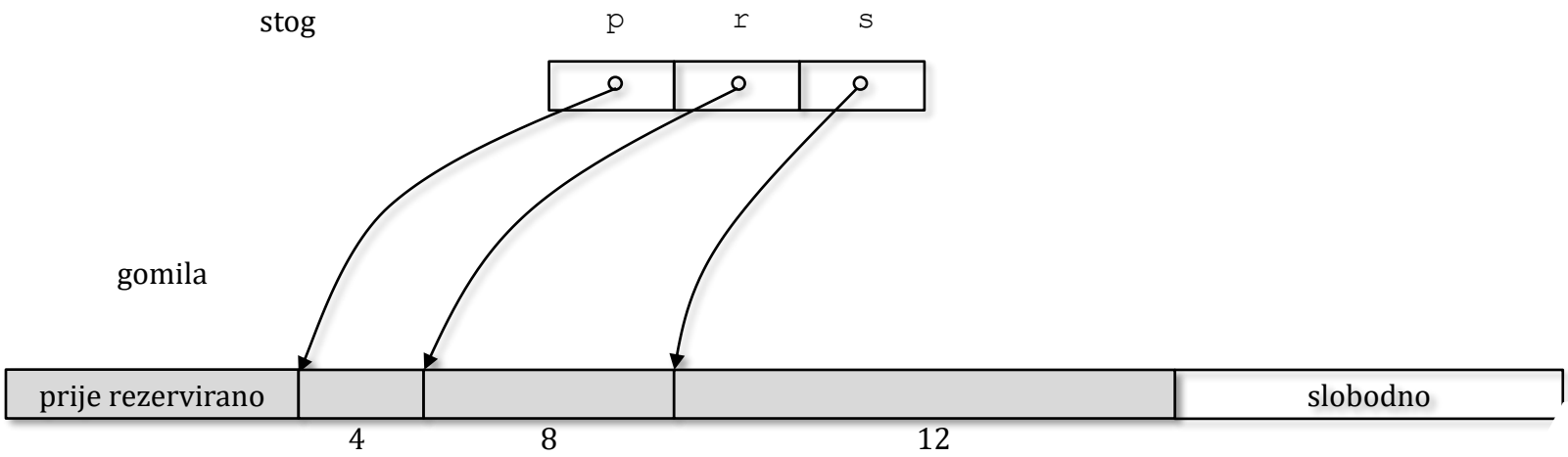
Dinamička rezervacija memorije

- standardni C:
- `void *malloc(size_t size);`
  - pronalazi na gomili *`size`* slobodnih bajtova, rezervira ih i vraća vraća pokazivač na prvi od njih. Sadržaj tako rezervirane memorije ne inicijalizira se. Ako nema dovoljno memorije, vraća NULL.
- `void *calloc(size_t num, size_t size);`
  - pronalazi na gomili mjesto za *num* objekata pojedinačne veličine *`size`*, rezervira ih, inicijalizira sve bajtove unutar tako rezerviranog prostora na nulu, te vraća pokazivač na prvi od njih. Ako nema dovoljno memorije, vraća NULL.
- `void free(void *ptr);`
  - oslobađa memoriju na koju pokazuje *`ptr`* (koji mora biti neki od rezultata prethodnih poziva *`malloc`* ili *`calloc`*)

Problem segmentacije memorije

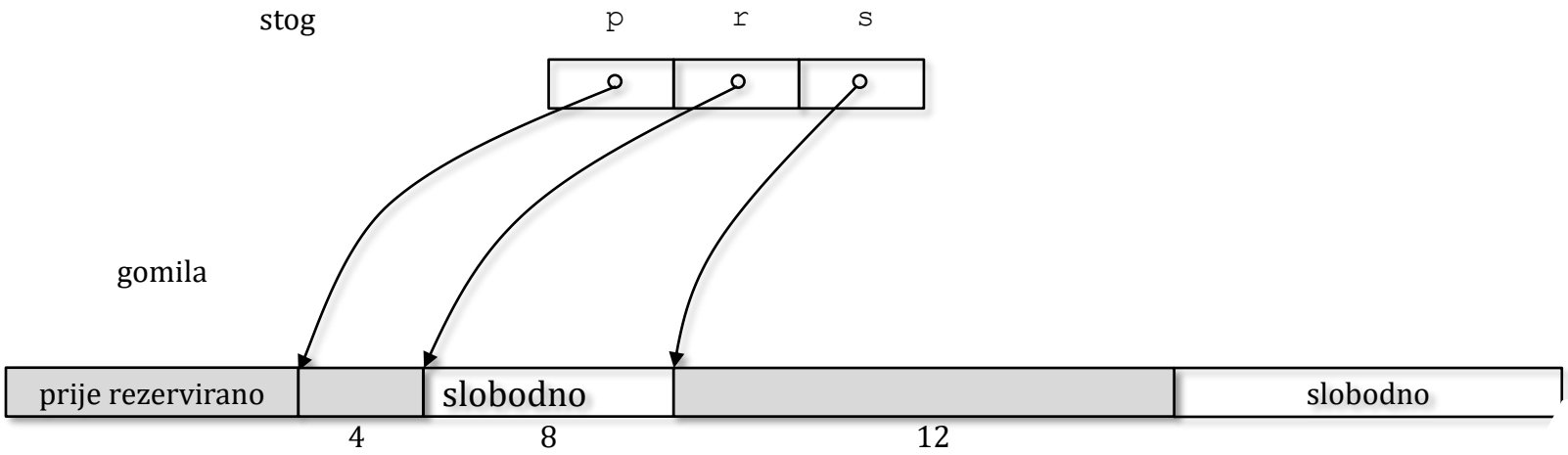
```
…
char *p, *r, *s;
p = (char *) malloc(4);
r = (char *) malloc(8);
s = (char *) malloc(12);
```

Shematska slika memorije ako na *heap-u* ima u kontinuitetu dovoljno mjesta



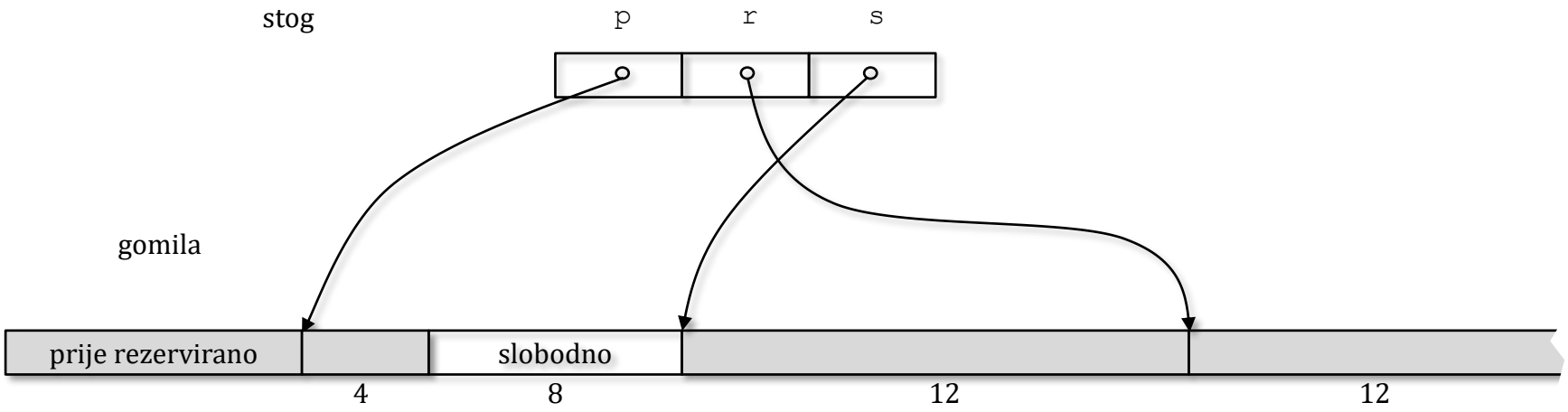
Problem segmentacije memorije

```
…
free(r);
```



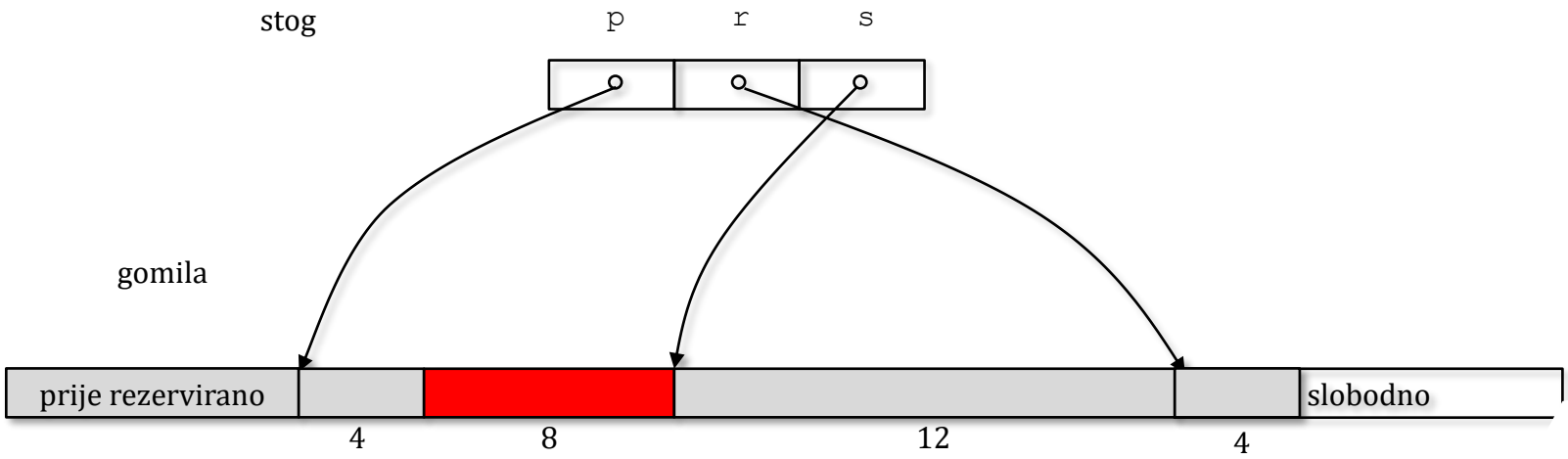
Problem segmentacije memorije

```
…
r = (char *) malloc(12);
```



"smeće" ili "curenje memorije" (*garbage, memory leak*)

```
…
char *p, *r, *s;
p = (char *) malloc(4); r = (char *) malloc(8);
s = (char *) malloc(12);
r = malloc(4);  // ili izlazak iz bloka
```



- ne postoji "*garbage collector*"!

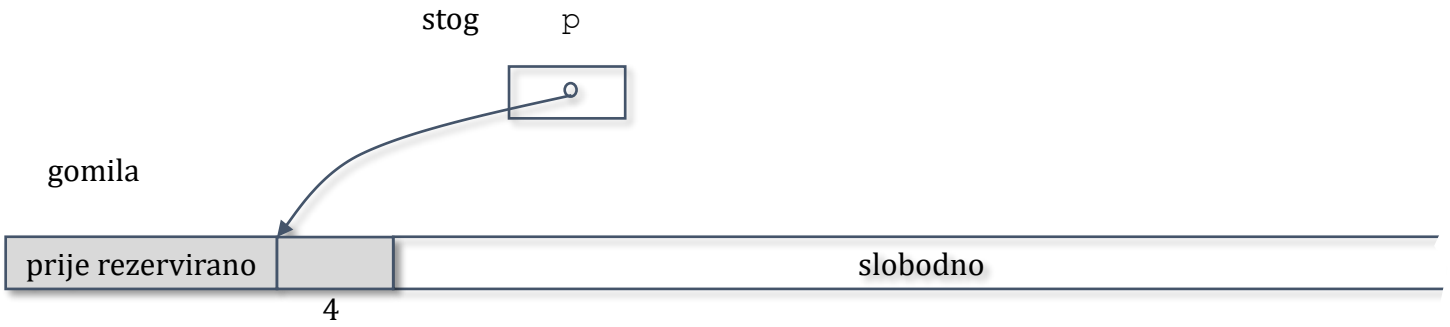
Promjena rezervacije memorije

- `void *realloc(void *ptr, size_t newSize);`
- `ptr` može biti `NULL`, pri čemu `realloc` radi isto što i `malloc`
- inače, `ptr` mora biti rezultat prethodnog poziva `malloc` ili `realloc`

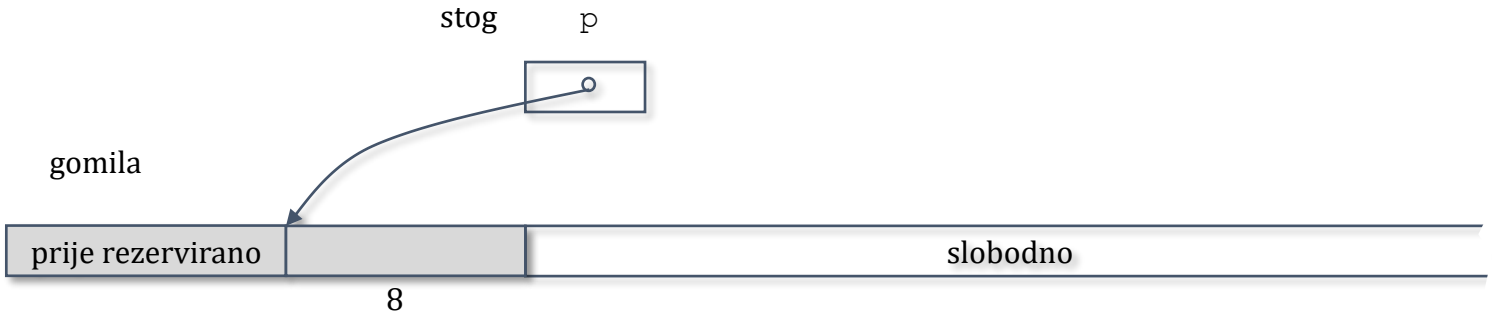
Promjena rezervacije, mogući slučajevi

- Iza rezerviranog bloka ima dovoljno mjesta

```
p = malloc(4);
```



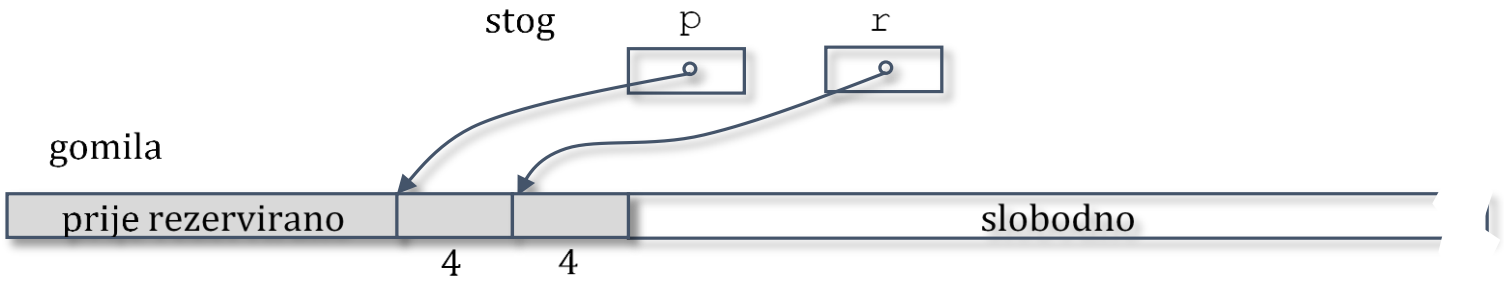

```
p = realloc(p, 8);
```



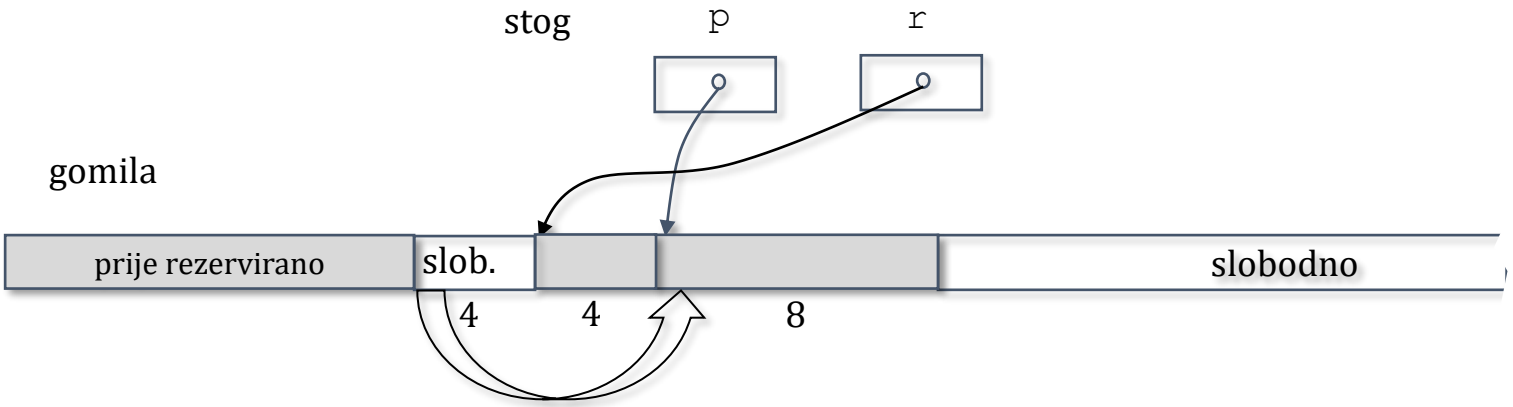
Promjena rezervacije, mogući slučajevi

- Iza rezerviranog bloka nema dovoljno mjesta

```
p = malloc(4); r = malloc(4);
```




```
p = realloc(p, 8);
```



nullptr

- u standarnom C-u `NULL` je integer:

```
#define NULL 0
```

- C++ uvodi `nullptr` koji nije integer i ne može se pridružiti integeru
- korisno kod višeznačnosti funkcija

```
void f(int x) {
…
}
void f(int *x) {
…
}
```

- `f(NULL)` pozvat će prvu (a po smislu bi se trebala pozvati druga)
- `f(nullptr)` pozvat će drugu

Operatori new i delete

- *ptr* = new *tip*;
- ili
- *ptr* = new *tip(argumenti_konstruktora)*;
  - pronalazi na gomili *sizeof(tip)* slobodnih bajtova, rezervira ih i vraća vraća pokazivač na prvi od njih. Ako rezervacija uspije, poziva se pretpostavljeni konstruktor ili konstruktor s odgovarajućim parametrima.
  - ako rezervacija ne uspije
    - aktivira se iznimka `std::bad_alloc`
    - ako se pozove s `new(nothrow)` vraća `nullptr`
- `delete` *ptr*;
  - oslobađa memoriju na koju pokazuje *ptr* i poziva destruktor, ako postoji

new i delete - primjer

NewDelete.cpp

```
…
class C {
 public:
   int x;
   C() : x(0) {}
   C(int x) : x(x) {}
   ~C() { cout << " ~"; }
};
…
```

new i delete - primjer

NewDelete.cpp

```
…
int main(int argc, char *argv[]) {
   int *p;   C *r, *s;
   // s new je moguće rezervirati memoriju
   // i za osnovne tipove
   p = new int;
   // rezervacija uz poziv default konstruktora
   r = new C;
   // rezervacija uz poziv odgovarajućeg konstruktora
   s = new C(4);
   cout << *p << " " << r->x << " " << s->x;
   delete p;   delete r;   delete s;
   return 0;
}
```

```
-1163005939 0 4 ~ ~↵
```

new i delete s poljem

- C++:
- *ptr* = new *tip*[*size*];
  - pronalazi na gomili *sizeof(tip) * size* slobodnih bajtova, rezervira ih i vraća vraća pokazivač na prvi od njih. Poziva pretpostavljeni konstruktor za svaki od elemenata polja. Nije moguće pozvati neki drugi konstruktor.
- delete[] *ptr*;
  - oslobađa memoriju na koju pokazuje *ptr* i poziva destruktor za svaki od elemenata polja
- ne postoji ekvivalent za realloc. realloc u slučaju potrebe seli sadržaj memorije na drugu lokaciju, a to predstavlja nerješiv problem kod složenih objekata koji u sebi referenciraju druge pokazivačima

new i delete – primjer s poljem

NewDeleteArray.cpp

```
…
class C {
 public:
   int x;
   C() : x(0) {}
   C(int x) : x(x) {}
   ~C() { cout << " ~"; }
};
int main(void) {
   C *r;
   r = new C[5];
   cout << r[0].x << " ";
   delete[] r;
   return 0;
}
```

```
0 ~ ~ ~ ~ ~↵
```

Konstruktor kopiranjem (*copy constructor*)

- Što se dešava sljedećem primjeru?

```
…
void f(Fraction x) { … }
…
Fraction a;
f(a);
…
```

- *Call by value* – stvaranje kopije objekta u funkciji
- U ovom primjeru sve je ok, jer će se napraviti `memcpy`

Konstruktor kopiranjem (*copy constructor*)

- Ali što ako objekt, sadržava pokazivač na podatke koji se također žele kopirati, npr. razred `String`?

```
class String {
 private:
   char *p;
   size_t size;
…
   String(String &s) { // konstruktor kopiranjem
      p = (char *)malloc(s.size + 1);
      size = s.size;
      strcpy(p, s.p);
   }
…
```

Konstruktor kopiranjem i operatori kod složenijih razreda

- U C++ već postoji razred `string` koji učahuruje sve radnje oko osnovnog podatka tipa `char *` (rezervacija memorije, pridruživanje, kopiranje, usporedba, ispis)
- Ali, instruktivna je vlastita realizacija razreda `String`

String.cpp

Rukovanje iznimkama (*exception handling*)

- `try/catch` blok

```
…
try {
  …
} catch (iznimka) {
  …
}
…
```

- ne postoji `finally` blok

Rukovanje iznimkama

- Hijerarhija standardnih iznimaka
- https://en.cppreference.com/w/cpp/error/exception
- npr.
- `logic_error`
  - `invalid_argument`
  - `domain_error`
  - `length_error`
  - `out_of_range`
  - `future_error(C++11)`
- `throw length_error ("Tekst iznimke");`
- ali i
- `throw logic_error("Tekst iznimke");`

Rukovanje iznimkama

- Primjer (samo za ilustraciju sintakse, ***ne ovako programirati*** ☺)

ExceptionHandling.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
#define MAX 5
int main(void) {
   int p[5] = {1, 2, 3, 4, 5}, i;
   try {
      while (1) {
         cin >> i;
         if (i < 0 || i >= MAX)
            throw out_of_range("Indeks izvan granica");
         cout << p[i] << endl;
      }
   } catch (exception &e) {
      cerr << e.what() << endl;
   }
   return 0;
}
```

Rukovanje iznimkama

- Vlastite iznimke

ExceptionHandlingOwn.cpp

```
…
int i;
while (1) {
   try {
      cin >> i;
      if (i == 0) throw i;
      else if (i == 1) throw "Text exception";
      else throw 2.2;
   } catch (int &ie) {
      cerr << "Integer exception " << ie << endl;
   } catch (const char *te) {
      cerr << te << endl;
   } catch (...) {
      cerr << "Neka druga iznimka" << endl;
   }
}
```

Rukovanje iznimkama

- Nasljeđivanje iznimaka

ExceptionHandlingInherit.cpp

```
…
class MyException : public runtime_error { // ima konstruktor s message
 private:
   int number;
 public:
   MyException(const char *message, int number)
       : runtime_error(message), number(number){};
   int code() { return number; }
};
int main(void) {
   try {
      throw MyException("Tekst", 3);
   } catch (MyException &ex) {
      cout << ex.code() << " " << ex.what() << endl;
   }
   return 0;
}
```

```
3 Tekst↵
```

Primjer

- Dinamičko polje tipa `int` kojemu se pri stvaranju zadaje veličina, koja se kasnije može promijeniti

DynamicArrayInt.cpp

Generičko programiranje

- C, C++: jezici s rigoroznom definicijom tipa (*strongly typed languages*)
- Varijable, parametri i rezultati funkcija moraju imati definiran tip
- Posljedica, standardni C, npr:

```
int abs(int arg);
long labs(long arg);
long long llabs(long long n);
float fabsf(float arg);
double fabs(double arg);
long double fabsl(long double arg);
```

- `fabsl` bi mogla poslužiti umjesto svih ostalih, ali uz trošak konverzije pri pozivu i povratku

Generičko programiranje

- Alternativa: makro

```
#define abs(arg) ((a) < 0 ? (-a) : (a))
```

- Ali, koliko je

```
int n = 3;
n = abs(++n);
```

- I još:
  - Makro se uvijek razvija na mjestu poziva (kao i `inline` funkcija)
  - Neučinkovito i nepraktično za veće funkcije

Generičko programiranje

- Predlošci (*templates*)
- Predložak funkcije

```
template <typename T>
T abs(T a) {
    return a < 0 ? -a : a;
}
```

- u konkretnom slučaju dobro je napraviti

```
template <typename T>
inline T abs(T a) {
    return a < 0 ? -a : a;
}
```

- razrješava se tijekom prevođenja

Generičko programiranje

- Predložak razreda (*class template*)
- Najčešće za realizaciju zbirki ili kontejnera (u kasnijim poglavljima)
- Jednostavniji primjer

TemplatePoint.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T> class Point {
 public:
   T x;
   T y;
   Point(T x, T y) : x(x), y(y) { }
};
…
```

Generičko programiranje

```
int main(void) {
   Point<int> pi(1, 2);
   Point<double> pd(3.4, 4.5);
   cout << pi.x << " " << pi.y << endl;
   cout << pd.x << " " << pd.y << endl;
   return 0;
}
```

```
1 2↵
3.4 4.5↵
```

Generičko programiranje

- Složeniji primjer

TemplatePairSimple.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Complex {
 public:
   double real;
   double img;
   Complex() : real(0), img(0) {}
   Complex(double real, double img) : real(real), img(img) {}
};
…
```

Generičko programiranje

```
template <class C> class Pair {
 public:
   C a;
   C b;
   Pair(C a, C b) {
      this->a = a;
      this->b = b;
   }
};
int main(void) {
   Complex x(1, 2), y(3, 4);
   Pair<Complex> p(x, y);
   cout << p.a.real << " " << p.a.img << endl;
   cout << p.b.real << " " << p.b.img << endl;
   return 0;
}
```

```
1 2↵
3 4↵
```

Generičko programiranje

- Još složeniji primjer: točka čije koordinate mogu biti proizvoljnog tipa

TemplatePair.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T> class Point {
 public:
   T x;
   T y;
   Point() : x(0), y(0) {}
   Point(T x, T y) : x(x), y(y) {}
};
…
```

Generičko programiranje

```
template <class C1, class C2> class Pair {
 public:
   C1 a;
   C2 b;
   Pair(C1 a, C2 b) {
      this->a = a;
      this->b = b;
   }
};
int main(void) {
   Point<int> pi1(1, 2), pi2(3, 4);
   Point<double> pd1(1.1, 2.2), pd2(3.3, 4.4);
   Pair<Point<int>, Point<int>> ppi(pi1, pi2);
   Pair<Point<double>, Point<double>> ppd(pd1, pd2);
   cout << ppi.a.x << " " << ppi.a.y << endl;
   cout << ppd.a.x << " " << ppd.a.y << endl;
   return 0;
}
```

Generičko programiranje

- Primjer za generički kontejner

DynamicArray.cpp

Pametni pokazivači (*smart pointers*)

- ako se ne obavi *delete,* ostaje "smeće"

MemoryLeak.cpp

```
…
class SomeClass {
 public:
   string x;
   SomeClass(string x) : x(x) {
      cout << "Object " << x << " created" << endl;
   }
   ~SomeClass() { cout << "Object " << x << " destroyed" << endl; }
};
void f() {
   SomeClass *p = new SomeClass("a");
   cout << p->x << endl;
}
int main(void) {
   f();
   return 0;
}
```

Pametni pokazivači (*smart pointers*)

- pametni pokazivač uništava objekt na koji pokazuje, kada izađe iz dosega, npr. `unique_ptr`

UniquePointers.cpp

```
…
void f() {
   unique_ptr<SomeClass> p(new SomeClass("a"));
   cout << p->x << endl;
}
int main(void) {
   f();   return 0;
}
```

Pametni pokazivači (*smart pointers*)

- pametni pokazivač inicijalizira se
- u definiciji, npr.
  - `unique_ptr<SomeClass> p(new SomeClass("a"));`
  - potrebne su dvije sukcesivne rezervacije memorije, za objekt i potom za pokazivač
- funkcijom `make_unique`, npr.
  - `unique_ptr<SomeClass> p = make_unique<SomeClass> ("a");`
  - sav posao načini se jednom rezervacijom memorije
- objekt se eksplicitno uništava funkcijom `reset`
  - `p.reset();`
- funkcijom reset pametni se pokazivač može usmjeriti na drugi objekt
  - `p.reset (new SomeClass ("c"));`

Pametni pokazivači (*smart pointers*)

- shared_ptr omogućava da više pokazivača pokazuje na isti objekt, a da se objekt uništi tek kad nestane posljednja referenca

SharedPointers.cpp

```
…
void f() {
   shared_ptr<SomeClass> p(new SomeClass("a"));
   cout << p->x << " " << p.use_count() << endl;
   p = make_shared<SomeClass>("b"); // uništava "a" i referencira "b"
   cout << p->x << " " << p.use_count() << endl;
   {
      shared_ptr<SomeClass> r = p;
      cout << p->x << " " << p.use_count() << endl;
      cout << r->x << " " << r.use_count() << endl;
   }
   cout << p->x << " " << p.use_count() << endl;
}
int main (void) { …
```

C++ Standard Template Library (STL)

- Skup generičkih razreda koji implementiraju česte algoritme i strukture podataka (stogove, liste, polja itd.)
- Većina tih algoritama i struktura bit će detaljno obrađena na ovom predmetu
- 4 glavne komponente
  - Algoritmi (`sort`, `search`,…)
  - Kontejneri (razredi koji sadržavaju skup objekata npr. `vector`, `list`…)
  - Iteratori
  - Funkcijski objekti (*functors*)
    - objekti koji definiraju operator ()

Iteratori

- Konzistentan način iteriranja kroz kontejner

Iterator.cpp

```
#include <iostream>
#include <iterator>
#include <vector>
using namespace std;

int main(void) {
   vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
   vector<int>::iterator i;
   for (i = v.begin(); i != v.end(); i++) {
      cout << *i << " ";
   }
   cout << endl;
   return 0;
}
```

Minimalna implementacija

- Mora se implementirati:
  - `begin()`
  - `end()`
- Mora još minimalno postojati (ili se implementirati)
  - `operator *()`
  - `operator ++()`
  - `operator !=()`

- Primjer:

DynamicArrayGenericWithIterator.cpp

Funkcijski objekti

- Standardni C poznaje koncept pokazivača na funkciju
  - Ime funkcije predaje se kao argument drugoj funkciji
- Primjer: funkcija iz standardne biblioteke

```
void qsort(void *ptr, size_t count, size_t size,
                  int (*comp)(const void *, const void *));
```

- sortira bilo koje polje koristeći funkciju `comp` koja uspoređuje dva elementa
- Primjer:

PointerToFunction.cpp

- Problem: takvoj funkciji ne može se predati argument tijekom poziva

Funkcijski objekti

- Primjer: funkcija `for_each` iz `<algorithm>` primjenjuje zadanu funkciju nad svakim elementom kontejnera (koji mora imati implementiran iterator)
- Jednostavan primjer: treba pomnožiti s 2 svaki element

FunctorMotivation.cpp

```
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;
void print(int &i) { cout << i << " "; }
void multiply2(int &i) { i *= 2; }
int main(void) {
   vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
   for_each(v.begin(), v.end(), multiply2);
   for_each(v.begin(), v.end(), print);
   return 0;
}
```

```
2 4 6 8 10↵
```

Funkcijski objekti

- Ali kako pomnožiti s proizvoljnim faktorom ili ispisati po zadanom formatu?

Functor.cpp

```
#include <algorithm>
#include <stdio.h>
#include <string>
#include <vector>
using namespace std;
class Print {
 public:
   // razred string se brine za odgovarajuću rezervaciju memorije
   string format;
   Print(string format) : format(format){};
   // ali printf treba char * koji vraća funkcija c_str()
   void operator()(int &i) { printf(format.c_str(), i); }
};
```

Funkcijski objekti

```
class Multiply {
 public:
   int multiplier;
   Multiply(int multiplier) : multiplier(multiplier){};
   void operator()(int &i) { i *= multiplier; }
};

int main(void) {
   vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
   for_each(v.begin(), v.end(), Multiply(3));
   for_each(v.begin(), v.end(), Print("%03d "));
   return 0;
}
```

```
003 006 009 012 015↵
```