Programozás alapjai II.
(7. ea) **C++**

generikus szerkezetek, template újból

Szeberényi Imre, Somogyi Péter
BME IIT

<szebi@iit.bme.hu>

MŰEGYETEM 1782

Hol tartunk?

- C → C++ javítások
- OBJEKTUM: konkrét adat és a rajta végezhető műveletek összessége
- OO paradigmák
  - egységbezárás (encapsulation), többarcúság (polymorphism) , példányosítás (instantiation), öröklés (inheritance), generikus szerkezetek
- OO dekompozíció, tervezés
- A C++ csupán eszköz
- Elveket próbálunk elsajátítani
- Újrafelhasználhatóság

Hol tartunk? /2

- objektum megvalósítása
  - osztály (egységbe zár, és elszigetel),
  - konstruktor, destruktor, tagfüggvények
  - inicializáló lista (tartalmazott obj. és ős osztály inicializálása)
  - függvény túlterhelés és felüldefiniálás (overload, override)
  - barát és konstans tagfüggvények
  - dinamikus adat (erőforrás) külön kezelést igényel
  - öröklés és annak megvalósítása
  - védelem enyhítése
  - virtuális függvények, absztrakt osztályok

Mi az objektummodell haszna?

- A valóságos viselkedést írjuk le
- → Könnyebb az analógia megteremtése
- Láttuk a példát (dig. áramkör modellezése)
  - Digitális jel: üzenet objektum
  - Áramköri elemek: objektumok
  - Objektumok a valós jelterjedésnek megfelelően egymáshoz kapcsolódnak. (üzennek egymásnak)
- Könnyen módosítható, újrafelhasználható
- Funkcionális dekompozícióval is így lenne?

Ismétlés (alakzat)

```
class Alakzat {
protected:
  Pont p0;      ///< alakzat origója
  Szin sz;      ///< alakzat színe
public:
  Alakzat(const Pont& p0, const Szin& sz)
      :p0(p0), sz(sz) {}
  Pont getp0() const { return p0; }
  Szin getsz() const { return sz; }
  virtual void rajzol() const = 0;
  void mozgat(const Pont& d);
  virtual ~Alakzat() {}
};
```

Tartalmazott objektumok

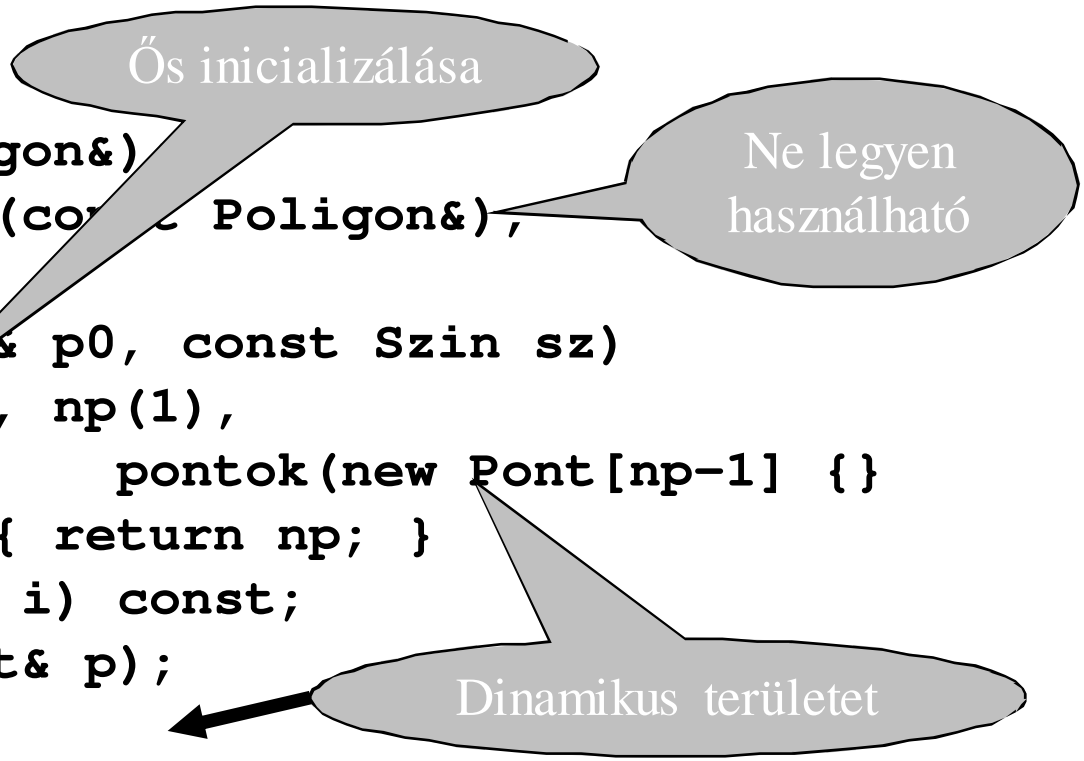
Adattagok inicializálása

Virtuális rajzol. Leszármazottban valósul meg.

Virtuális destruktor

Ismétlés (alakzat) /2

```
class Poligon : public Alakzat {
  size_t np;
  Pont *pontok;
  Poligon(const Poligon&)
  Poligon& operator=(const Poligon&);
public:
  Poligon(const Pont& p0, const Szin sz)
    :Alakzat(p0, sz), np(1),
                        pontok(new Pont[np-1] {}
  int getnp() const { return np; }
  Pont getcsp(size_t i) const;
  void add(const Pont& p);
  void rajzol();
  ~Poligon() { delete[] pontok; }
};
```



Lehet-e tovább általánosítani?

- Általánosíthatók-e az adatszerkezetek?
  Már a komplexes első példán is észrevettük, hogy bizonyos adatszerkezetek (pl. tárolók) viselkedése független a tárolt adattól.
  Lehet pl. adatfüggetlen tömböt vagy listát csinálni?
- Általánosíthatók-e az algoritmusok?
  Lehet pl. adatfüggetlen rendezést csinálni ?

KomplexTar (emlékeztető)

```
class KomplexTar {
   static const size_t nov = 3;   // növekmény  érteke
   Komplex *t;                    // pointer a dinamikusan  foglalt adatra
   size_t db;                     // elemek száma
   size_t kap;                    // tömb kapacitása
public:
   KomplexTar(int  m = 0) :db(m), kap(m+nov)  {
         t = new Komplex[kap];  }
   KomplexTar(const  KomplexTar&);
   unsigned  int capacity() const { return kap;  }
   unsigned  int size() const { return db; }
   Komplex&  operator[](unsigned int i);
   const Komplex&  operator[](unsigned  int i) const ;
   KomplexTar&  operator=(const KomplexTar&);
...
```

Elemzés: Din. tömb

- Tároljunk T-ket egy tömbben!

Műveletek:

  - Létrehozás/megszüntetés
  - Indexelés
  - Méretet a létrehozáskor (példányosításkor) adjuk.
  - Egyszerűség kedvéért nem másolható, nem értékadható, méret nem változtatható és nem ellenőriz indexhatárt!

TArray megvalósítás

```
class TArray {
    size_t n;   // tömb mérete
    T *tp; // elemek tömbjére mutató pointer
    TArray(const TArray&); // másoló konstr. tiltása
    TArray& operator=(const TArray&); // tiltás
public:
    TArray(size_t n=5) :n(n) { tp = new T[n]; }
    T& operator[](size_t i) { return tp[i]; }
    const T& operator[](size_t i) const  { return tp[i]; }
    ~TArray() { delete[] tp; }
};
```

privát, így nem érhető el

T helyett kegyen int! Mi változik

- Minden **T**-t át kell írni int-re, azaz név elem csere kell:

```
class intArray {
    size_t n;
    int *tp;
    intArray(const intArray&);
    ....
```

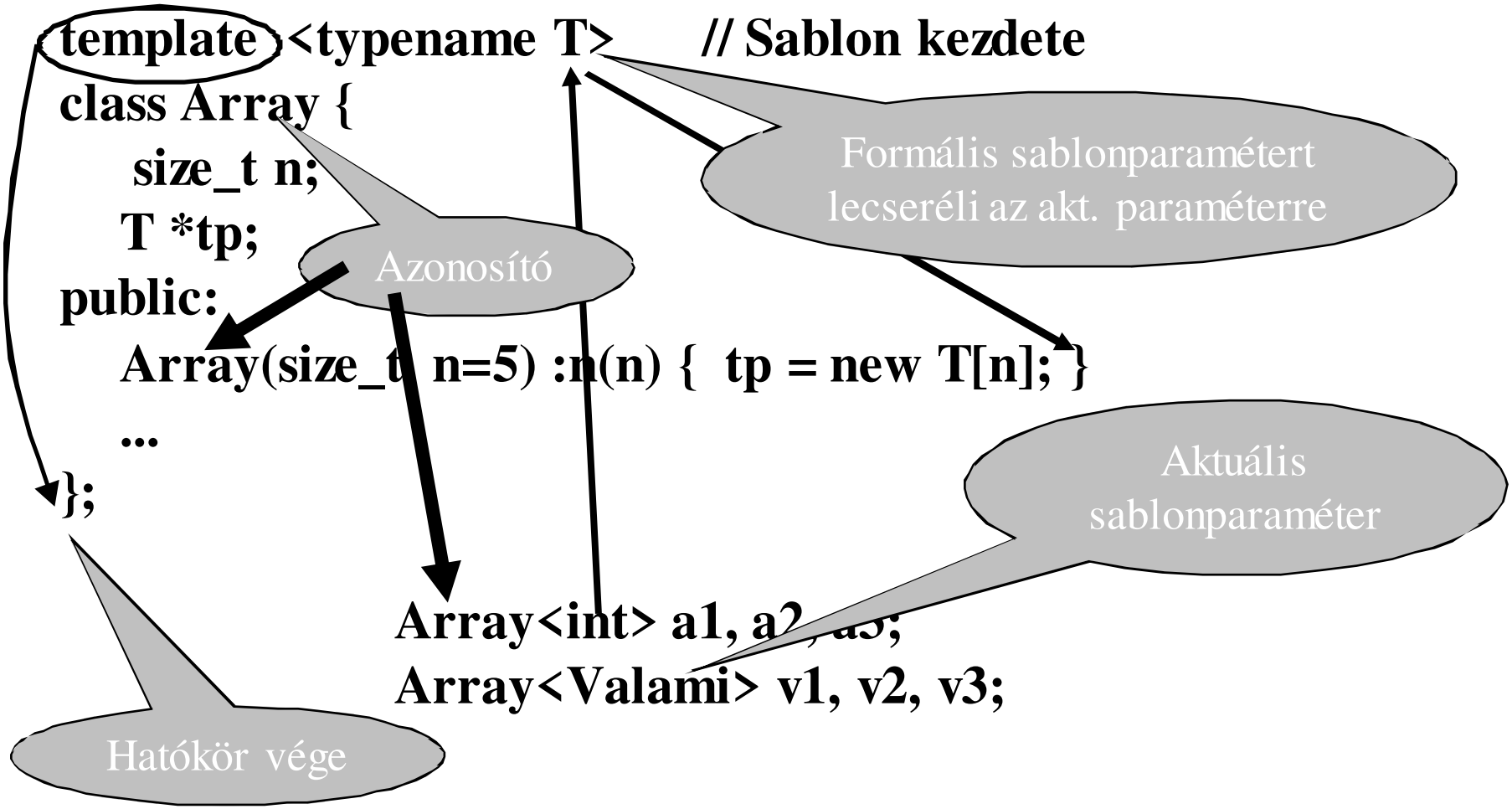
- Más különbség láthatóan nincs.

Lehet-e általánosítani?

Típusokat és neveket le kell cserélni -->
Generikus adatszerkezetek:

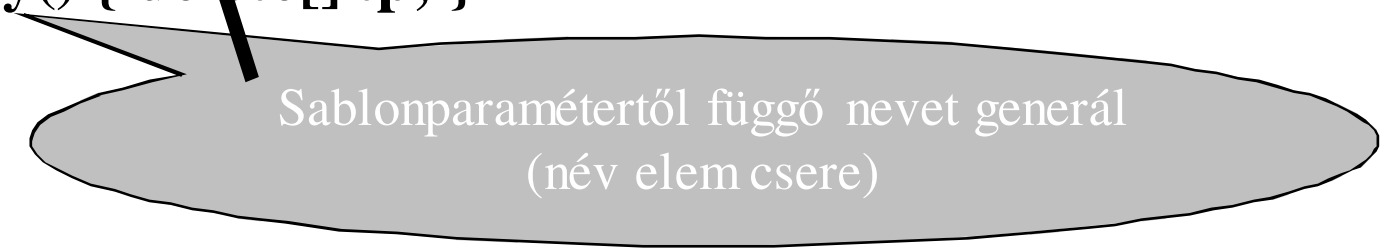
- Olyan osztályok, melyekben az adattagok és a tagfüggvények típusa fordítási időben szabadon paraméterezhető.
- Megvalósítás:
  - preprocesszorral
    - nem mindig lehetséges, nem típusbiztos
  - nyelvi elemként: template
    - Függvényeknél már használtunk. Miért ne lehetne osztályokra is?

Osztálysablon



Array osztály sablonja

```
template <typename T>   // osztálysablon
class Array {
    size_t n;                    // tömb mérete
    T *tp;                       // elemek tömbjére mutató pointer
    Array(const Array&); // másoló konstr. tiltása
    Array& operator=(const Array&); // tiltás
public:
    Array(size_t n=5) :n(n) { tp = new T[n]; }
    T& operator[](size_t);
    const T& operator[](size_t) const;
    ~Array() { delete[] tp; }
};
```



Array tagfüggvényeinek sablonja

```
template<typename T>                    // tagfüggvénysablon
T& Array<T>::operator[](size_t i) {
    return tp[i];
}
```

A scope-hoz a név a paraméterből generálódik

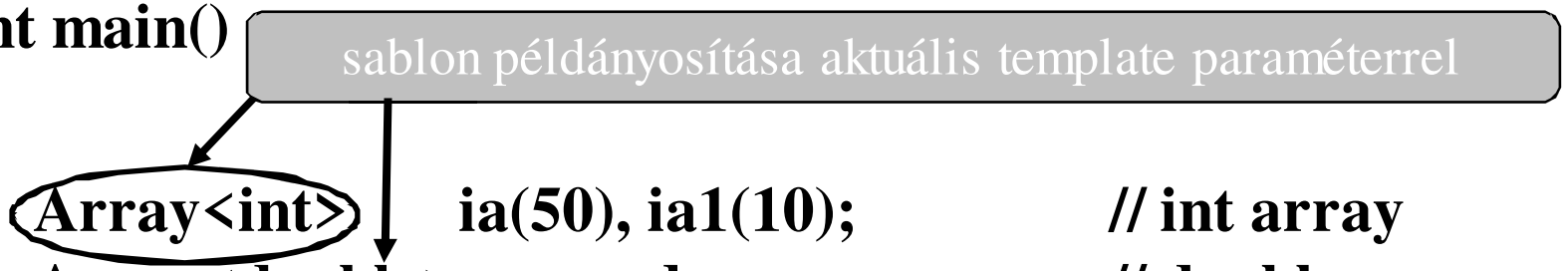
```
template<class T>                       // tagfüggvénysablon
const T& Array<T>::operator[](size_t i)  const {
    return tp[i];
}
```

Sablonok használata (példányosítás)

```
#include "gen_array1.hpp" // sablonok

int main()
{
   Array<int>    ia(50), ia1(10);        // int array
   Array<double>       da;               // double array
   Array<const char*>  ca;               // const char* array

   ia[12] = 4;
   da[2] = 4.54;
   ca[2] = "Hello Template";
   return 0;
}
```



Array osztály másként

```
template <class T,  size_t s>   // osztálysablon
class fixArray {
    T t[s];                          // elemek tömbje
    void chk (size_t i) const { if (i >= s) throw "Index hiba"; }
public:
    T& operator[](size_t i)  {
          chk(i); return t[i]; }
    const T& operator[](size_t i)  const {
          chk(i); return t[i];  }
};
```

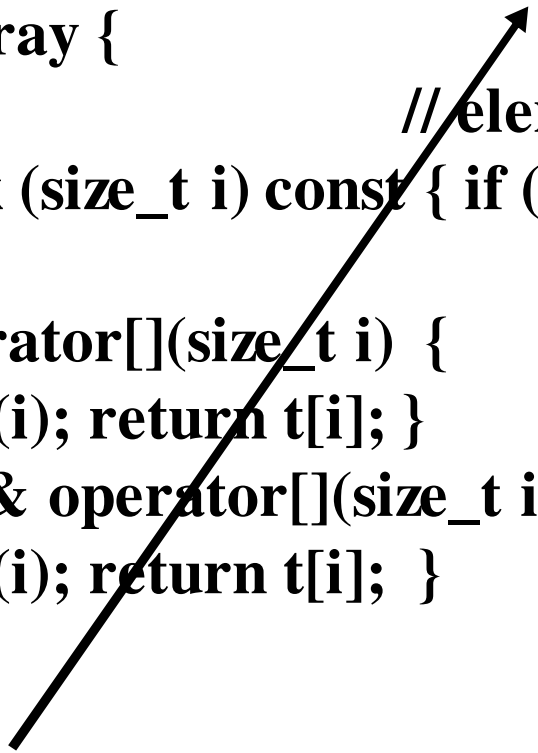
Többször példányosodik! Növeli a kódot, ugyanakkor egyszerűsödött az osztály

```
fixArray<int, 10> a10; fixArray<int, 30> a30;
```

deafault sabl. paraméter is lehet

```
template <class T,  size_t s = 10 >   // osztálysablon
class fixArray {
    T t[s];                          // elemek tömbje
    void chk (size_t i) const { if (i >= s) throw "Index hiba"; }
public:
    T& operator[](size_t i)  {
          chk(i); return t[i]; }
     const T& operator[](size_t i)  const {
          chk(i); return t[i];  }
};

fixArray<int> a10; fixArray<int, 30> a30;
```



Lehet-e tovább általánosítani?

- Általánosíthatók-e az **adatszerkezetek**? → Sablon
- Általánosíthatók-e a **függvények**? → Sablon

```
// max példa (ism.)
template  <typename T>
T max(T a, T b) {
    return a < b ? b : a;
}
cout << max(40, 50);
cout << max(”alma”, ”korte”); // ”alma” → const char *
```

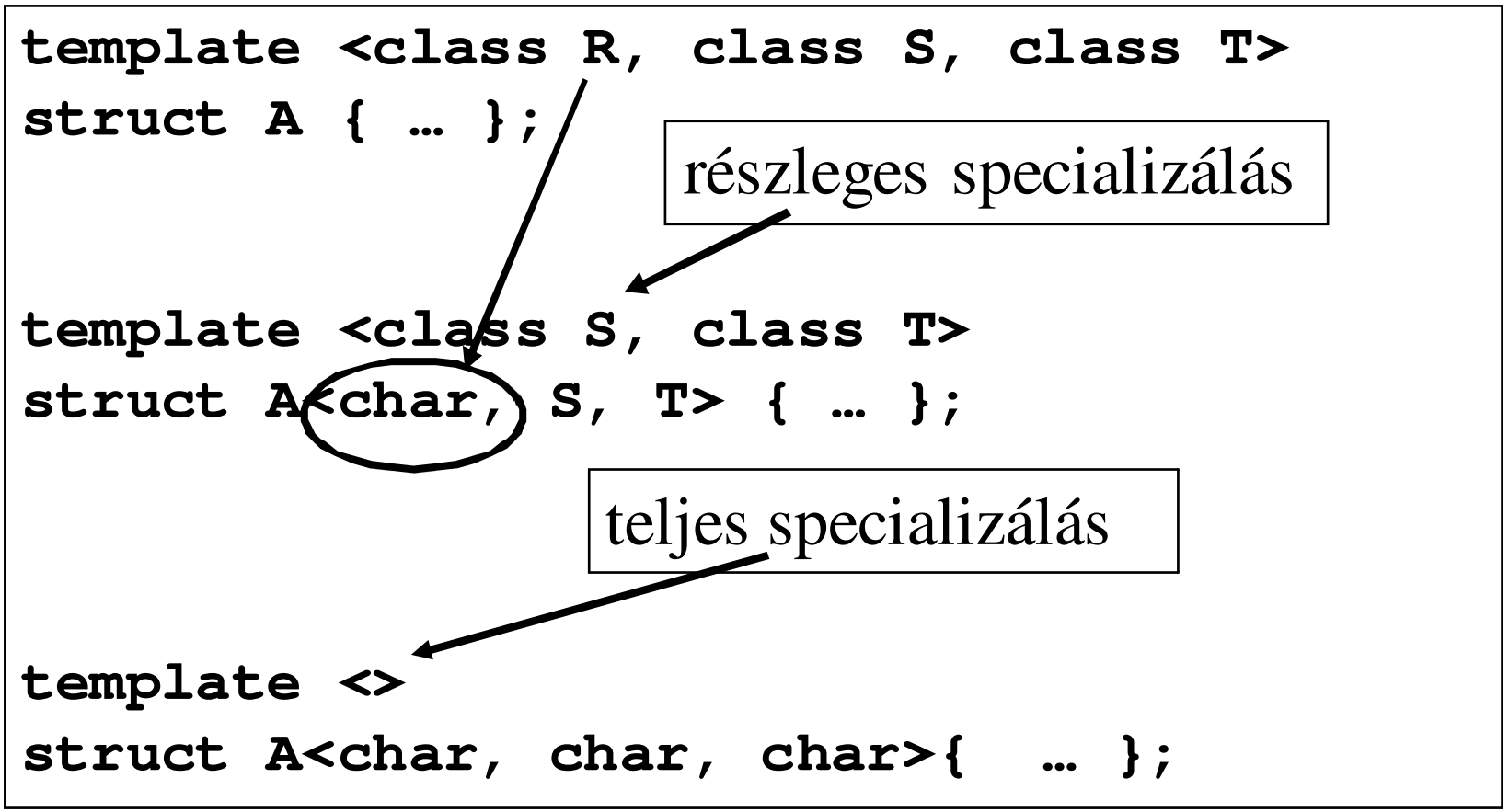
Sablon specializáció (ism.)

```
template <typename T>
const T& Max(const T& a, const T& b) {
    return a > b ? a : b;
}

// Specilaizáció T::= const char* esetre
template <>
const char* Max(const char* a, const char* b){
    return strcmp(a,b) > 0 ? a : b;
}


std::cout << Max("Hello", "Adam");
```

Részleges és teljes specializáció



Sablon specializáció (összef.)

Függvények különböző változatai: túlterhelés (overload)

Sablonok esetében a túlterhelés mellett egy újabb eszközünk is van: specializáció. Egy sablonnal megadott osztály, vagy függvény adott változatát átdefiniálhatjuk. Ilyenkor nem a sablonban megadott módon fog példányosodni.

```
template <class T>
struct V {
   T a1;
   V() :a1(T()) { }
};
```

T default konstruktora

```
template <>
struct V<double> {
   double a1;
   V() :a1(3.14) { }
};
```

```
V<int>v1;
```

```
v1.a1 ← 0;
```

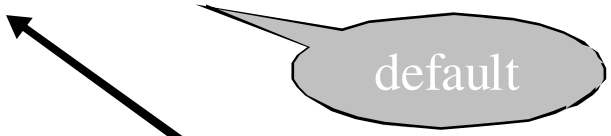
```
V<double>v2;
```

```
v2.a1 ← 3.14;
```

Template paraméter

típus, konstans, függvény, sablon

```
template <class T1, typename T2, int i = 0>
struct V {
    T1 a1; T2 a2; int x;
    V() { x = i;}
};
```




```
V<int, char, 4> v1;
V<double, int> v2;
```

```
// paraméterként kapott típus és konstansa, ami
// csak integrális, vagy pointer típus lehet
template <typename T, T c = T()>
struct V1 {
    T val;
    V1() { val = c;}
};
V1<int, 30> v30;  // v30.val ← 30;
V1<int*>  v0;     // v0.val ← NULL;
```

Sablon, mint paraméter

```
template <class T> struct Pont   { T x, y; };
template <class T> struct Pont3D { T x, y, z; };


template <class S,
          template <class T> class P = Pont >
struct Idom {
    P<S> origo;  // idom origója
};

Idom<int> sikidom1;
      sikidom1.origo;        ← Pont<int>
Idom<double> sikidom2;
      sikidom2.origo;        ← Pont<double>
Idom<int, Pont3D> test;
      test.origo;            ← Pont3D<int>
```

Függvénysablonok paraméterei

A sablonparaméterek általában **levezethetők** a függvényparaméterekből. Pl:

```
template<class T> void csere(T& p1, T& p2) {
   T tmp = p1; p1 = p2; p2 = tmp;
}
int x1 = 1, x2 = 2;                    csere(x1, x2);
```

Ha nem, akkor meg kell adni. Pl:

```
template<class T, int n> void fv(T t1[n], T t2[n]) {
   for (int i = n; i >= 0; i--)
      t1[i] = t2[i];
}
int it1[10], it2[10];                  fv<int, 10>(it1, it2);
```

Mi is a sablon ?

- Típusbiztos nyelvi elem az általánosításhoz.
- Gyártási forma: a sablonparaméterektől függően példányosodik:
  - **osztály** vagy **függvény** (valamilyen dekl.) jön belőle létre.
- Paraméter: típus, konstans, függvény, sablon, def.
- A példányok specializálhatók, melyek eltérhetnek az eredeti sablontól.
- Feldolgozása **fordítási idejű** ezért a példányosítás helyének és a sablonnak egy fordítási egységben kell lennie. → gyakran **header fájlba tesszük (.hpp)**

A feldolgozás fordítási idejű

```
template <int N>
struct fakt {
   enum  { fval =  N * fakt<N-1>::fval };
};
```

Specializálás

```
template <>
struct fakt<0> {
   enum  { fval =  1 };
};
```

Template metaprogram

```
std::cout << fakt<3>::fval << std::endl;
```

Fordítási időben 4 példány (3,2,1,0) keletkezik

Nehéz nyomkövetni, de nagyon sok könyvtár (pl. boost) használja.

Algoritmus módosítása

- Előfordulhat, hogy egy algoritmus (pl. rendezés) működösét módosítani akarjuk egy függvénnyel.
- Predikátum (ism): Logikai függvény, ami befolyásolja az algoritmus működését.
- Sablon-, vagy függvényparaméterként egy eljárásmódot (függvényt) is átadhatunk, ami lehet:
  - osztály tagfüggvénye, vagy
  - önálló függvény

Példa: leg... elem kiválasztása

```
template <typename T, class S>
T leg1(T a[], int n) {
  T tmp = a[0];
  for (int i = 1; i < n; ++i)
    if (S::select(a[i], tmp)) tmp = a[i];
  return tmp;
}
```

Az **S** sablonparaméter egy olyan osztály, melynek van egy **select** logikai tagfüggvénye, ami az algoritmus működését befolyásolja. pl.:

```
struct kisebb_int {
   static bool select(int a, int b) { return a < b; }
};
```

Példa: leg... elem kiválasztása /2

```
// Lehet egy sablonból generálódó osztály is
template<typename T>
struct nagyobb {       // szokásos nagyobb reláció
    static bool select(T a, T b) { return a > b; }
};

// Használat:
int it[9] = {-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 };
double dt[5] =  { .0,  .1,  .2,  .3,  4.4 };

cout << leg1<int, kisebb_int>(it, 9) << endl;         // -5
cout << leg1<int, nagyobb<int>  >(it, 9) << endl;  // 3
cout << leg1<double, nagyobb<double>  >(dt, 5); // 4.4
```

Problémák, kérdések

- Megszorítónak tűnik, hogy a tagfüggvényt **`select-nek`** hívják.
- Miért kell az osztály? Így nem lenne jó?

```
template <typename T, bool select(T, T)>
T leg2(T a[], int n) {
  T tmp = a[0];
  for (int i = 1; i < n; ++i)
    if (select(a[i], tmp)) tmp = a[i];
  return tmp;
}
template<class T> bool kisebbFv (T a, T b) {  return a < b; }
cout << leg2<int, kisebbFv>(it, 9);
```

Funktor

- Függvényként használható objektum.

```
template<class T>
struct kisebbObj {
    bool operator()(const T& a, const T& b) {
        return a < b;
    }
};
```

Funktor osztály
(Functor Class)

- Funktor osztály: függvényként viselkedő osztály.
- Funktor: Funktor osztály példánya (függvény objektum)

Kettő az egyben?

- A leg1(...) változat egy osztályt vár, a leg2(...) változat pedig függvényt vár sablon paraméterként.
- Hogyan lehetne mindkettőt?
- Kapjon általános típust, és ennek megfelelő példányt kapja meg függvény paraméterként is, amit használjunk függvényként.

```
template <typename T, typename S>
T legElem(const T a[], int n, S sel) {
    ...
    if ( sel(....) )
```

Mindent tudó legElem

```
template <typename T, typename S>
T legElem(const T a[], int n, S sel) {
    T tmp = a[0];
    for (int i = 1; i < n; ++i)
        if (sel(a[i], tmp)) tmp = a[i];
    return tmp;
}
```

A függvény második paramétere logikai függvényként viselkedő valami, ami lehet önálló függvény, vagy funktor is. Pl:

létre kell hozni

cout << legElem<int, kisebbObj<int> >
(it, 9, kisebbObj<int>());

fixArray és legElem?

```
fixArray<int, 100> fixa;
// használható igy?
legElem(fixa, 100, kisebObj<int>() );
```

```
// problémák:
template <typename T, typename S>
T legElem(const T a[], int n, S sel) {
    T tmp = a[0];...
// Elemtípus helyett adjuk át a tömböt:
template <typename T, typename S>
T legElem(const T& a, int n, S sel) {
// Rendben, de honnan lesz elem típusunk a tmp-hez?
// 1. Adjuk át azt is.
```

```
// 2. Tegyünk be a fixArray osztályba egy belső típust pl:
template <class T, unsigned int s = 10>
class fixArray {
   T t[s];
public:
   typedef T value_type; ...
```

Mindent tudó legElem /2

```
// indexelhető tárolókhoz, melynek van value_type belső típusa
template <typename T, typename S>
T legElem(const T& a, int n, S sel) {
    typename T::value_type tmp = a[0];
    for (int i = 1; i < n; ++i)
        if (sel(a[i], tmp)) tmp = a[i];
    return tmp;
}
// hagyományos tömbökhöz
template <typename T, typename S>
T legElem(const T a[], int n, S sel) {
    T tmp = a[0];
    for (int i = 1; i < n; ++i)
        if (sel(a[i], tmp)) tmp = a[i];
    return tmp;
}
```

Segítség a fordítónak

Túlterhelés

Predikátum (összefoglalás)

- Logikai függvény, **vagy függvény-objektum**, ami befolyásolja az algoritmus működését
- Predikátum megadása
  - Sablonparaméterként:

```
template<typename T, bool select(T, T)>>
T leg2(const T t[], int n);
```

  - Függvényparaméterként:

```
template<typename T,  class F>
T legElem(const T t[], int n, F Func);
```

Gyakoribb, rugalmasabb megadási mód

Generikus példa 2

1. Olvassunk be fájl végéig maximum 10 db **valamit** (pl. valós, komplex, stb. számot)!
2. Írjuk ki!
3. Készítsünk másolatot a tömbről!
4. Rendezzük az egyik példányt nagyság szerint növekvően, a másikat csökkenően!
5. Írjuk ki mindkét tömböt.

Példa 2 kidolgozás

- Van generikus fix méretű tömbünk **fixed_size_gen_array.hpp**
- Készítünk generikus rendező algoritmust! **generic_sort.hpp**
- Készítünk generikus hasonlító operátorokat! **generic_cmp.hpp**
- Készítünk segédsablont a beolvasáshoz és kiíráshoz!
- Rakjuk össze az építőelemeket!

Példa 2 kidolgozás /2

```
#include <iostream>

#include "fixed_size_gen_array.hpp" // fix méretű generikus
                    // tömb indexelhető, másolható, értékadható
#include "generic_sort.hpp"   // indexelhető típus generikus
                              // rendezése
#include "generic_cmp.hpp"  // generikus hasonlító függvények

// A bemutatott megoldás bármilyen indexelhető típussal,
// így pl. az alaptípusokból létrehozott tömbökkel is működik,
// ha az elemtípus másolható, értékadható és értelmezett a
//  <, > <<, és >>  művelet.
```

Példa 2 kidolgozás /2

```
/// Indexelhető típus elemeit kiírja egy stream-re
template <typename T>
void CopyToStream(const T& t, size_t n, std::ostream& os) {
   for (size_t i = 0; i < n; ++i)
      os << t[i] << ",";
   os << std::endl;
}
/// Indexelhető típus elemeit beolvassa egy stream-ről
template <typename T>
int ReadFromStream(T& t, size_t n, std::istream& is) {
   size_t cnt = 0;
   while (cnt < n && is >> t[cnt]) cnt++;
   return cnt;
}
```

Példa 2 kidolgozás /3

```
int main() {
  fixArray<double, 10> be;    // max. 10 elemű double tömb

  int db = ReadFromStream(be, 10, std::cin); // beolvasunk
  CopyToStream(be, db, std::cout);        // kiírjuk
  fixArray<double, 10> masolat = be;    // másolat készül
  insertionSort(be, db, less<double>() ); // növekvő rendezés
  insertionSort(masolat, db, greater<double>() ); // csökkenő
  CopyToStream(be, db, std::cout);        // kiírjuk az elemeket
  CopyToStream(masolat, db, std::cout);// kiírjuk az elemeket
}
```

http://git.ik.bme.hu/prog2/eloadas_peldak/ea_07 → gen_pelda2

fixed_size_gen_array.hpp

```
#ifndef  FIXED_SIZE_GEN_ARRAY_H
#define FIXED_SIZE_GEN_ARRAY_H
template <class T, unsigned int s>
class fixArray {
  T t[s];
  void chkIdx(unsigned i) const { if (i >= s) throw "hiba"; }
public:
  typedef T value_type;  // a példában nem használjuk
  T& operator[](size_t i) {
        chkIdx(i);   return t[i];                }
  const T& operator[](size_t i) const {
        chkIdx(i);   return t[i];                    }
};
#endif
```

generic_sort.hpp

```
#ifndef .....
template <typename T>
void swap(T& a, T& b) { T tmp = a; a = b; b = tmp; }

template <typename T, class F>
void insertionSort (T& a size_t n, F cmp) {
   for (size_t i = 1; i < n; i++) {
      size_t j = i;
      while (j > 0 && cmp(a[j], a[j-1])) {
         swap(a[j], a[j-1]);
         j--;
      }
   }
}
```

generic_cmp.hpp

```
#ifndef  GENERIC_CMP_H
#define GENERIC_CMP_H
template <typename T>
struct less {
   bool operator()(const T& a, const T& b) const {
      return a < b;                                  }
};

template <typename T>
struct greater {
   bool operator()(const T& a, const T& b) const {
      return a > b;                                  }
};
#endif
```

Módosítsuk a kiírót!

- Legyen predikátuma:

```
template <typename T, class F>
void CopyToStream(const T& t, size_t n,
                                  std::ostream& os,  F fun) {
    for (size_t i = 0; i < n; ++i)
        if (fun(t[i]))  os << t[i] << ",";
    os << std::endl
}
```

- Szeretnénk kiírni elsőször az 5, majd a 15, és a 25-nél nagyobb értékeket.
- Ennyi predikátumfüggvényt kell készítenünk?

Ötlet: tároljunk egy ref. értéket

```
template <typename T>
class greater_than {
   T  ref_value;
public:
   greater_than(const T& val) : ref_value(val) {}
   bool operator()(const T& a) const {
                                  return a > ref_value; }
};
//Példa:
greater_than<int>gt(10);   // konstruktor letárolja  a 10-et
          gt(8);   // fv. hívás op. ← false
          gt(15); // fv. hívás op. ← true
```

Módosított kiíró használata

```
int main() {
  int it[9] = {-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 };

  CopyToStream(it, 9, std::cout, greater_than<int>(-1) );
                                                  // 0,1,2,3,
  CopyToStream(it, 9, std::cout, greater_than<int>(0) );
                                                  // 1,2,3,
  CopyToStream(it, 9, std::cout, greater_than<int>(1) );
                                                  // 2,3,
}
```

Összefoglalás

- A C-ben megtanult preprocesszor trükkökkel elvileg általánosíthatók az osztályok és függvények, de nem biztonságos, és nem mindig megoldható.
- template: típusbiztos nyelvi elem az általánosításhoz.
- Formálisan:

  template < *templ_par_list* > *declaration*

Összefoglalás /2

- Generikus osztályokkal tovább általánosíthatjuk az adatszerkezeteket:
  - Típust paraméterként adhatunk meg.
  - A generikus osztály később a típusnak megfelelően példányosítható.
  - A specializáció során a sablontól eltérő példány hozható létre
  - Specializáció lehet részleges, vagy teljes

Összefoglalás /3

- Generikus függvényekkel tovább általánosíthatjuk az algoritmusokat:
  - Típust paraméterként adhatunk meg.
  - A generikus függvény később a típusnak megfelelően példányosítható.
  - A függvényparaméterekből a konkrét sablonpéldány
    - levezethető, ha nem, akkor
    - explicit módon kell megadni
  - Függvénysablon felüldefiniálható

Összefoglalás /4

- Predikátumok segítségével megváltoztatható egy algoritmus működése
- Ez lehetővé teszi olyan generikus algoritmusok írását, mely specializációval testre szabható.
- Ügyetlen template használat feleslegesen megnövelheti a kódot: Pl: széles skálán változó paramétert is template paraméterként adunk át. (ld. fixArray)