

OO Programozás

Konstansok, származtatás

Dr. Hatwagner F. Miklós

Széchenyi István Egyetem, Győr

https://github.com/wajzy/GKxB_INTM085

2023. október 17.

- *Konstans változó* (**paradoxon!** → *elnevezett konstans*)
- Memóriában helyezik el,
- azonnali inicializálást igényel,
- értéke megjelenik a nyomkövető programokban (debugger),
- csak olvasható (fordító biztosítja),
- van típusa (vö. `#define`).
- Láthatóságuk, hatókörük jobban szabályozható.

Tömbök definiálása, méret megadása

- konstans kifejezéssel,
- konstans kifejezéssel inicializált elnevezett konstanssal,
- vagy tetszőleges kifejezéssel C99 / C++14-től

```
#include <iostream>
#include "constHeader.h"
#define MEANING_M 42 // no type, cumbersome debugging

void array(int);

int main() {
    const int MEANING = 42;
    int meaningCopy = MEANING; // read
    // MEANING++; // error
    // MEANING = -42; // error
}
```

```
// size expressed with constant expression
int oldArray1[MEANING_M * sizeof(double)]; // OK
int oldArray2[MEANING * sizeof(double)]; // OK
array(21);
// std::cout << i << std::endl; // error
std::cout << ci << std::endl; // OK
std::cout << si << std::endl; // OK
}

void array(int size) {
    // C99+ / C++14+ -> variable size is OK, allocated on stack
    int newArray[size * sizeof(double)];
}
```



```
1 // int i = 1; // error, multiple definition of 'i'
2 const int ci = 2; // OK, visible only in defining file scope
3 static int si = 3; // OK, file scope
```

Table 1

```
1 #include "constHeader.h"
```

A constexpr módosító (C++11/14) hatása a függvényekre:

- „Értékeld ki fordításkor!” → gyorsabb programok, lassabb fordítás
- Viszonylag egyszerű függvények készíthetők csak vele (C++11: csak 1 utasítás)
- Csak olyan globális változókra hivatkozhat, melyek konstansok
- Csak `constexpr` függvényt hívhat, akár önmagát is
- Értékkel kell visszatérnie
- Nem csak konstansokkal „hívható”, de akkor az eredmény nem használható konstans inicializálására
- C++11-ben még tiltott volt a prefix `++` operátor használata

```

3  constexpr double PI = 3.14159;
4  constexpr double deg2rad(double degree) {
5      return degree * PI / 180.;
6  }
7
8  int main() {
9      constexpr double rightAngle = deg2rad(90.);
10     std::cout << rightAngle << std::endl;
11     int deg180 = 180;
12     // the value of 'deg180' is not usable in a constant expression
13     // constexpr double rad180 = deg2rad(deg180);
14     double rad180 = deg2rad(deg180); // OK
15     std::cout << rad180 << std::endl;
16     return 0;
17 }

```

```
constexpr
```

fibonacci1.cpp

```

3  constexpr int fibonacci1(int n) {
4      return (n <= 1) ? n : fibonacci1(n-1) + fibonacci1(n-2);
5  }
6
7  int main() {
8      constexpr int i = fibonacci1(32);
9      std::cout << i << std::endl;
10 }

```

Mérés

```
$ time ./fibonacci1
2178309

real 0m0,005s
user 0m0,005s
sys 0m0,000s
```



```
3  int fibonacci2(int n) {
4      return (n <= 1) ? n : fibonacci2(n-1) + fibonacci2(n-2);
5  }
6
7  int main() {
8      int i = fibonacci2(32);
9      std::cout << i << std::endl;
10 }
```

Mérés

```
$ time ./fibonacci2
```

2178309

```
real 0m0,036s
```

```
user 0m0,036s
```

```
sys 0m0,000s
```

Osztályok tagfüggvényei, sőt, konstruktor is jelölhető `constexpr`-nek, de

- Az adattagok kvázi konstansok lesznek, amik inicializálása túl későn van a konstruktorban → *taginicializáló lista*
- Konstans adattagok és referenciák csak taginicializáló listával hozhatók létre.
- Ez egyébként használható lett volna a nem konstans adattagok inicializálására is.
- Példányosításkor a paramétereknek konstansnak kell lenniük.
- A tagfüggvények implicit inline-ok lesznek.

```

3  class Rectangle {
4      double mWidth;
5      double mHeight;
6  public:
7      constexpr Rectangle(double width, double height) :
8          mWidth(width), mHeight(height) {}
9
10     constexpr double getArea() const {
11         return mWidth * mHeight;
12     }
13
14     constexpr double getPerimeter() const {
15         return 2. * (mWidth + mHeight);
16     };
17 };

```

```
19 int main() {
20     const int width = 5.;
21     constexpr Rectangle r1(width, 3.);
22     std::cout << "Area:␣" << r1.getArea() << std::endl;
23     std::cout << "Perimeter:␣" << r1.getPerimeter() << std::endl;
24 }
```

- Maga a mutató nem konstans, nem *kell* inicializálni.
- Mutathat változóra, csak olvashatóvá téve azt.

constptr.cpp

```

5  const int ci = 1; // must be initialized
6  int i = 2;
7  const int* pci; // the pointer is NOT constant
8  pci = &ci;
9  // *pci = 3; // assignment of read-only location '* pci'
10 pci = &i;
11 // *pci = 3; // read-only access to 'i'

```

Mutató változóra:

- Nem tartalmazhatja elnevezett állandó címét, mert a védelem nem kerülhető meg.

constptr.cpp

```
14 int* pi = &i; // ok
15 // pi = &ci; // invalid conversion from 'const int*' to 'int*'
```

Konstans mutató konstansra:

- Mindent csak olvasni lehet.

- Kiolvasás hátulról előre:

cpci egy *const* mutató (*), ami olyan *int*-et címez, ami *const*.

constptr.cpp

```
24     const int* const cpci = &ci;
25     // *cpci = 4; // error
26     // cpci = &ci; // error
```


Referencia konstansra:

- Minden referenciát inicializálni kell.
- Ha változót rendelünk hozzá, akkor az érték ezen keresztül csak olvasható lesz.
- Inicializálható konstans kifejezéssel!

constref.cpp

```
5  const int ci = 1;
6  int i = 2;
7  const int& rci = ci; // references must be initialized
8  // rci = 3; // assignment of read-only reference 'rci'
9  const int& rci2 = i; // read-only acces to 'i'
10 // rci2 = 3; // assignment of read-only reference 'rci2'
11 const int& rci3 = 3; // OK
```

constref.cpp

```
14 // int& const cri = i; // 'const' qualifiers cannot be applied to 'int&'
```

Nem kerülhető meg a védelem konstansot címző nem konstans referenciával.

constref.cpp

```
17 // int& ri = ci; // binding reference of type 'int&' to 'const int' discards qualifiers
```

De ha a paraméter mutató vagy referencia, akkor a fv. megváltoztathatná a változó értékét!

constfn.cpp

```
3 void pfn(int* pi) {
4     *pi *= 2;
5 }
6
7 void rfn(int& ri) {
8     ri *= 2;
9 }
```

constfn.cpp

```
11 void pcfnc(const int* pi) {  
12     // *pi *= 2; // assignment of read-only location '* pi'  
13 }  
14  
15 void rcfnc(const int& ri) {  
16     // ri *= 2; // assignment of read-only reference 'ri'  
17 }  
  
39 int main() {  
40     int i = 1;  
41     pcfnc(&i);  
42     rcfnc(i);  
43     std::cout << i << std::endl;  
44     const int ci = 5;  
45     // rcfnc(ci); // binding reference of type 'int&' to 'const int' discards ...
```

Ha a visszatérési érték típusa alaptípus, nincs haszna a `const`-nak (nem balérték).
De ha mutató vagy referencia, a visszatérési érték megváltoztatása tiltható `const`-tal.

constfn.cpp

```
19 int* fnp() {  
20     static int si = 10;  
21     return &si;  
22 }  
23  
24 const int* fncp() {  
25     static int si = 20;  
26     return &si;  
27 }
```

constfn.cpp

```
29 int& fnr() {  
30     static int si = 30;  
31     return si;  
32 }  
33  
34 const int& fncr() {  
35     static int si = 40;  
36     return si;  
37 }
```

constfn.cpp

```
39  int main() {  
  
46      rcfn(ci); rcfn(5); pcfn(&i); pcfn(&ci); // ok  
47      *fnp() = 11;  
48      // *fncp() = 21; // assignment of read-only location '* fncp()'  
49      fnr() = 31;  
50      // fnr() = 41; // assignment of read-only location 'fnr()'
```

Konstans tagfüggvény konstans objektumon is hívható!

Rectangle11.cpp

```
3 class Rectangle {
4     public:
5         double mWidth; // bad idea
6         const double mHeight;
7
8         Rectangle(double width, double height) : mHeight(height) {
9             mWidth = width;
10        }
```

Rectangle11.cpp

```
12     double getArea() const {
13         return mWidth * mHeight;
14     }
15
16     double getPerimeter() /* const */ {
17         return 2. * (mWidth + mHeight);
18     };
19 };
20
21 int main() {
22     const Rectangle r1(5., 3.);
23     // r1.mWidth = 55.; // assignment of member 'Rectangle::mWidth' in
24     std::cout << "Area: " << r1.getArea() << std::endl; // read-only object
25     // std::cout << "Perimeter: " << r1.getPerimeter() << std::endl;
26     // passing 'const Rectangle' as 'this' argument discards qualifiers
27 }
```


Konstans tagfüggvény is módosíthat egy adattagot, ha az `mutable`. Cél: érdemi állapotváltozást nem jelentő változások, pl. gyorsítótárak menedzselése.

Rectangle12.cpp

```
3 class Rectangle {  
4     mutable bool areaCached;  
5     mutable double area;  
6     mutable bool perimeterCached;  
7     mutable double perimeter;  
8 public:  
9     const double mWidth;  
10    const double mHeight;
```

Rectangle12.cpp

```
12     Rectangle(double width, double height) : mWidth(width), mHeight(height) {
13         areaCached = perimeterCached = false;
14     }
15
16     double getArea() const {
17         if(not areaCached) {
18             area = mWidth * mHeight;
19             areaCached = true;
20         }
21         return area;
22     }
```

(Sajnos) néhány további kivételes helyzetben is módosíthatja a `const` tagfüggvény a példány állapotát, pl. a tag struktúrát nem lehet lecserélni, de annak tagját már lehet módosítani (tranzitívan).

Egy objektumnak lehet beágyazott objektuma, ami szintén a taginicializáló listán keresztül inicializálható. Ha ezt nem tesszük meg → alapértelmezett konstruktor hívása, ha van ilyen.

Rectangle13.cpp

```
4 class Point {
5     public:
6         const double x;
7         const double y;
8
9         Point(double x, double y) : x(x), y(y) {}
10 };
```

Rectangle13.cpp

```
12  class Rectangle {
13      Point ul;
14      Point br;
15
16  public:
17      Rectangle(Point ul, Point br) : ul(ul), br(br) {}
18
19      double getArea() const {
20          return abs(ul.x - br.x) * abs(ul.y - br.y);
21      }
22
23      double getPerimeter() const {
24          return 2. * (abs(ul.x - br.x) + abs(ul.y - br.y));
25      };
26  };
```

Rectangle13.cpp

```
28  int main() {
29      Rectangle r1(Point(0, 3), Point(5, 0));
30      std::cout << "Area:_" << r1.getArea() << std::endl;
31      std::cout << "Perimeter:_" << r1.getPerimeter() << std::endl;
32  }
```

Feladat: készítsünk osztályokat egy átlagos alkalmazott, és egy programozó bérének kiszámítására!

Employee
- baseSalary : int
+ Employee(salary : int) «constructor»
+ getSalary() : int
+ setSalary(salary : int)

Programmer
- baseSalary : int
- bonusMult : double
+ Programmer(salary : int, bonus : double) «constructor»
+ getSalary() : int
+ setSalary(salary : int)
+ setBonus(bonus : double)

A program UML osztálydiagramja.

Employee

```
3 class Employee {
4     int baseSalary;
5     public:
6         Employee(int salary) {
7             baseSalary = salary;
8         }
9         int getSalary() const {
10             return baseSalary;
11         }
12         void setSalary(int salary) {
13             baseSalary = salary;
14         }
15 };
```

Programmer

```
17 class Programmer {
18     int baseSalary;
19     double bonusMult;
20     public:
21         Programmer(int salary, double bonus) {
22             baseSalary = salary;
23             bonusMult = bonus;
24         }
25         int getSalary() const {
26             return (int)(baseSalary * bonusMult);
27         }
28         void setSalary(int salary) {
29             baseSalary = salary;
30         }
31         void setBonus(double bonus) {
32             bonusMult = bonus;
33         }
34 };
```

main()

```
36  int main() {  
37      Employee e(300000);  
38      Programmer p(300000, 2.5);  
39      std::cout << e.getSalary() << std::endl;  
40      std::cout << p.getSalary() << std::endl;  
41  }
```

Kimenet

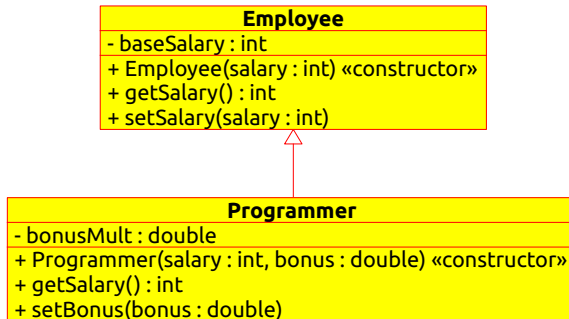
```
300000  
750000
```


Probléma:

- Hasonló feladatok következménye: kódismétlés (a programozó az alkalmazott egy speciális esete).

Megoldás:

- Szármasztatás/öröklés (inheritance)
- Ősosztály/szülő osztály (superclass, base class) → Employee
- Leszármasztott/szármasztott/gyerek osztály (subclass, derived class) → Programmer



- A leszármazottakban (felül)definiáljuk azokat a függvényeket, amik másképpen fognak viselkedni (`getSalary()`), mint az ősből vagy teljesen hiányoztak (`setBonus()`).
- Minden más átöröklődik, kivéve a konstruktort. (Ettől még nem feltétlenül elérhetők ezek a leszármazottban! → `private`)
- Ősosztálytól örökölt tagok inicializálása a leszármazott dolga, pl. az ősz konstruktorának felhasználásával a taginicializáló listán. Ennek hiányában a fordító az ősz alapértelmezett konstruktorát hívja.

Employee

```
3 class Employee {
4     int baseSalary;
5     public:
6         Employee(int salary) {
7             baseSalary = salary;
8         }
9         int getSalary() const {
10             return baseSalary;
11         }
12         void setSalary(int salary) {
13             baseSalary = salary;
14         }
15     };
```

Programmer

```
class Programmer : public Employee {
    double bonusMult;
    public:
        Programmer(int salary, double bonus)
            : Employee(salary) {
            bonusMult = bonus;
        }
        int getSalary() const {
            // 'int Employee::baseSalary' is private
            // within this context
            // return (int)(baseSalary * bonusMult);
            return (int)(Employee::getSalary()
                * bonusMult);
        }
        void setBonus(double bonus) {
            bonusMult = bonus;
        }
};
```

17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

main()

```
36  int main() {  
37      Employee e(300000);  
38      Programmer p(300000, 2.5);  
39      std::cout << e.getSalary() << std::endl;  
40      std::cout << p.getSalary() << std::endl;
```

Kimenet

```
300000  
750000
```

main()

```
42 // Using base class is OK: Programmer inherits from Employee
43 Employee* eArray[] = { &e, &p };
44 for(unsigned i=0; i<sizeof(eArray)/sizeof(eArray[0]); i++) {
45     // Ooops! Early / static binding!!!
46     std::cout << eArray[i]->getSalary() << std::endl;
47 }
48 }
```

Kimenet

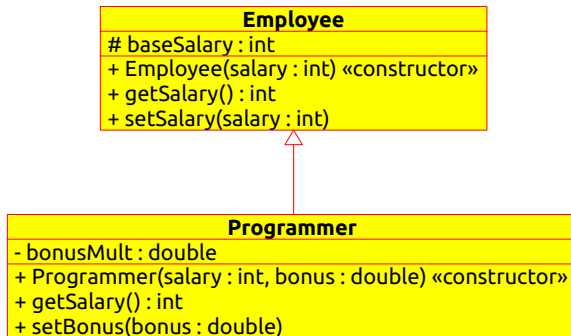
```
300000
300000
```

Probléma:

- Az ős privát tagjainak elérése körülményes a leszármazottból.

Megoldás:

- A védett (protected) tagok elérhetők a saját osztályukban és minden leszármazottban.
- Származtatásnál is használható ez és a `private` kulcsszó, bár szinte mindig `public`-ot használunk, azaz nem korlátozzuk tovább az öröklött láthatósági kategóriákat.



Származtatás módja	Láthatóság	
	ősben	leszármazottban
public	public	public
	protected	protected
	private	(nem érhető el)
protected	public	protected
	protected	protected
	private	(nem érhető el)
private	public	private
	protected	private
	private	(nem érhető el)

Mikor érdemes `protected` vagy `private` származtatást végezni?

Meglévő implementáció újrahasznosításánál, ha forrásban nem elérhető, de új függvényekkel (pl. más paraméterezés) kellene ellátni.

Probléma:

- Az ősrre utaló típusú, de a leszármazott egyik példányát címző mutatóval csak az ős függvényét tudjuk hívni.

Megoldás:

- Amikor egy objektum tagfüggvényét hívjuk, mindig eldönthető, hogy az ősr vagy a leszármazott felüldefiniált függvényéről van-e szó, és fordítási időben meghatározható annak címe (*early/static bindig, korai/statikus kötés*).
Pl. `Programmer p(300000, 2.5); p.getSalary(); → 750000`
- Viszont egy objektum elérhető az ősr típust címző mutatóval is (biztonságos, mert a leszármazott mindennel rendelkezik, amivel az ősr). A korai kötés miatt az ősrben definiált függvényt tudjuk csak elérni.

- A *késői/dinamikus kötés* (late/dynamic binding) hatására a fordító *virtuális metódustáblát* (VMT, vtable) hoz létre, melyben a leszármazottak felüldefiniált függvényeinek címei is benne vannak, melynek segítségével az aktuális objektum típusának megfelelő változat is hívható, típuskényszerítés nélkül.
Pl.: `Employee* pe = new Programmer(); pe->getSalary();` → 300000
- C++-ban késői kötést *virtuális tagfüggvényekkel* (`virtual`) hozhatunk létre.
- *Polimorfizmus* (többalakúság): mindig az ős típusát címző mutatót használjuk, de a vele hívott tagfüggvény osztályonként eltérően működik. (A felültöltött tagfüggvények is egyfajta polimorfizmust valósítanak meg.)

Employee

```

3  class Employee {
4      protected: // private —> protected
5          int baseSalary;
6      public:
7          Employee(int salary) {
8              baseSalary = salary;
9          }
10         virtual int getSalary() const {
11             return baseSalary;
12         }
13         void setSalary(int salary) {
14             baseSalary = salary;
15         }
16     };

```

Programmer

```

class Programmer : public Employee {
    double bonusMult;
    public:
        Programmer(int salary, double bonus)
            : Employee(salary) {
            bonusMult = bonus;
        }
        // implicitly virtual
        /* virtual */ int getSalary() const {
        // OK to access protected member
            return (int)(baseSalary * bonusMult);
        }
        void setBonus(double bonus) {
            bonusMult = bonus;
        }
};

```

17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32

main()

```
35  int main() {  
  
41      Employee* eArray[] = { &e, &p };  
42      for(unsigned i=0; i<sizeof(eArray)/sizeof(eArray[0]); i++) {  
43          // OK! Late / dynamic binding  
44          std::cout << eArray[i]->getSalary() << std::endl;  
45      }  
46  }
```

Kimenet

```
300000  
750000
```

Induljunk ki **Rectangle12**-ből, majd

- a kerület/terület lekérdezést (minden síkidomnál hasonlóan elvégezhető tevékenység) válasszuk külön a számítások elvégzésétől,
- a méretek legyenek módosíthatóak, és
- készítsünk háromszög (**Triangle**) osztályt is!

Rectangle14.h

```
4  class Rectangle {  
5      mutable bool areaCached;  
6      mutable double area;  
7      mutable bool perimeterCached;  
8      mutable double perimeter;  
9      double mWidth;  
10     double mHeight;
```

Triangle14.h

```
6  class Triangle {  
7      mutable bool areaCached;  
8      mutable double area;  
9      mutable bool perimeterCached;  
10     mutable double perimeter;  
11     double mA, mB, mC;
```


Rectangle14.h

```
11 public:
12     Rectangle(
13         double width, double height) {
14         mWidth = width;
15         mHeight = height;
16         invalidateCache();
17     }
18
19     void setWidth(double width);
20     void setHeight(double height);
21     double getArea() const;
22     double getPerimeter() const;
```

Triangle14.h

```
12 public:
13     Triangle(
14         double a, double b, double c) {
15         mA = a; mB = b; mC = c;
16         invalidateCache();
17     }
18
19     void setA(double a);
20     void setB(double b);
21     void setC(double c);
22     double getArea() const;
23     double getPerimeter() const;
```

Rectangle14.h

```
23 private:
24     // called from getArea(),
25     // must be const
26     void calcArea() const;
27     void calcPerimeter() const;
28
29     void invalidateCache() {
30         areaCached = perimeterCached
31             = false;
32     }
33 };
```

Triangle14.h

```
24 private:
25     // called from getArea(),
26     // must be const
27     void calcArea() const;
28     void calcPerimeter() const;
29
30     void invalidateCache() {
31         areaCached = perimeterCached
32             = false;
33     }
34 };
```

Rectangle14.cpp

```

3 void Rectangle::setWidth(double width) {
4     mWidth = width;
5     invalidateCache();
6 }

13 double Rectangle::getArea() const {
14     if(not areaCached) {
15         calcArea();
16         areaCached = true;
17     }
18     return area;
19 }

29 void Rectangle::calcArea() const {
30     area = mWidth * mHeight;
31 }

```

Triangle14.cpp

```

3 void Triangle::setA(double a) {
4     mA = a;
5     invalidateCache();
6 }

18 double Triangle::getArea() const {
19     if(not areaCached) {
20         calcArea();
21         areaCached = true;
22     }
23     return area;
24 }

34 void Triangle::calcArea() const {
35     double s = (mA + mB + mC) / 2.;
36     area = sqrt(s * (s - mA) * (s - mB)
37              * (s - mC));
38 }

```

main14.cpp

```
2 #include "Rectangle14.h"
3 #include "Triangle14.h"
4
5 int main() {
6     Rectangle rArray[] = {
7         Rectangle(1., 2.), Rectangle(2., 3.), Rectangle(3., 4.)
8     };
9     const int n = sizeof(rArray)/sizeof(rArray[0]);
10    for(int i=0; i<n; i++) {
11        std::cout << "Rectangle_#" << (i+1)
12                << "_Area:" << rArray[i].getArea()
13                << "_Perimeter:" << rArray[i].getPerimeter()
14                << std::endl;
15    }
```

Kimenet

```
Rectangle #1 Area: 2 Perimeter: 6
Rectangle #2 Area: 6 Perimeter: 10
Rectangle #3 Area: 12 Perimeter: 14
```

main14.cpp

```
16  const Triangle tArray[] = {
17      Triangle(3., 4., 5.), Triangle(5., 12., 13.), Triangle(7., 24., 25.)
18  };
19  const int m = sizeof(tArray)/sizeof(tArray[0]);
20  for(int i=0; i<m; i++) {
21      std::cout << "Triangle_#" << (i+1)
22                << "_Area:" << tArray[i].getArea()
23                << "_Perimeter:" << tArray[i].getPerimeter()
24                << std::endl;
25  }
26  // const Shape sArray[] = { ... }; // ?!
27 }
```

Kimenet

```
Triangle #1 Area: 6 Perimeter: 12
Triangle #2 Area: 30 Perimeter: 30
Triangle #3 Area: 84 Perimeter: 56
```

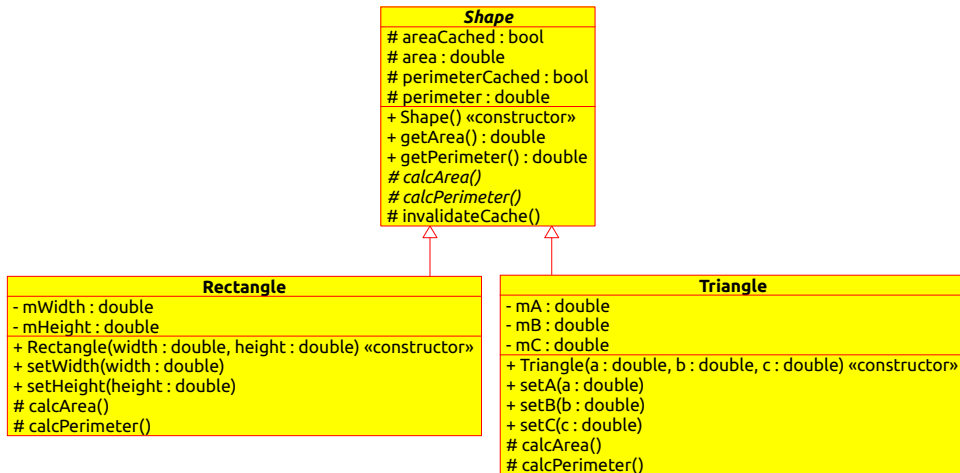
Probléma:

- Sok ismétlődő kódrészlet → szükség lenne egy általános síkidomra a származtatáshoz, de az milyen adatokkal írható le? Hogyan számolható ki pl. a kerülete?

Megoldás:

- *Absztrakt* (abstract) osztály: csak öröklési céllal hozzák létre, nem példányosítható a nem implementált, ún. *pure virtual* tagfüggvények (absztrakt metódus) miatt
- Ha egy absztrakt osztály kizárólag pure virtual tagfüggvényeket tartalmaz: *interfész* (interface) → elvárt szolgáltatáscsomag előírására

Absztrakt osztályok



Shape15.h

```
4  class Shape {
5      protected: // private —> protected
6          mutable bool areaCached;
7          mutable double area;
8          mutable bool perimeterCached;
9          mutable double perimeter;
10     public:
11         Shape() {
12             invalidateCache();
13         }
```


Shape15.h

```
15     double getArea() const;
16     double getPerimeter() const;
17     protected: // private —> protected
18         virtual void calcArea() const = 0;           // pure
19         virtual void calcPerimeter() const = 0;      // virtual
20         void invalidateCache() {
21             areaCached = perimeterCached = false;
22         }
23     };
```

Shape15.cpp

```
1  #include "Shape15.h"
2
3  double Shape::getArea() const {
4      if(not areaCached) {
5          calcArea();
6          areaCached = true;
7      }
8      return area;
9  }
```

Rectangle15.h

```
4 #include "Shape15.h"
5
6 // inheritance; base class -> subclass / derived class
7 class Rectangle : public Shape {
8     double mWidth;
9     double mHeight;
10 public:
11     // implicit call of base class's default constructor
12     Rectangle(double width, double height) {
13         mWidth = width;
14         mHeight = height;
15     }
```

Rectangle15.h

```
17     void setWidth(double width);  
18     void setHeight(double height);  
19 protected:  
20     virtual void calcArea() const;  
21     virtual void calcPerimeter() const;  
22 };
```

Rectangle15.cpp

```
1 #include "Rectangle15.h"
2
3 void Rectangle::setWidth(double width) {
4     mWidth = width;
5     invalidateCache();
6 }
13
14 void Rectangle::calcArea() const {
15     area = mWidth * mHeight;
16 }
```

Triangle15.cpp

```
1 #include "Triangle15.h"
2
3 void Triangle::setA(double a) {
4     mA = a;
5     invalidateCache();
6 }
18
19 void Triangle::calcArea() const {
20     double s = (mA + mB + mC) / 2.;
21     area = sqrt(s * (s - mA)
22             * (s - mB)
23             * (s - mC));
24 }
```

main15.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <typeinfo> // typeid() uses RTTI
3 #include "Shape15.h"
4 #include "Rectangle15.h"
5 #include "Triangle15.h"
6
7 int main() {
8     // cannot create array of abstract objects
9     Shape* sArray[] = {
10         // new calls constructor
11         new Rectangle(1., 2.), new Rectangle(2., 3.),
12         new Triangle(3., 4., 5.), new Triangle(5., 12., 13.)
13     };
14     const int n = sizeof(sArray)/sizeof(sArray[0]);
```

main15.cpp

```
15   for(int i=0; i<n; i++) {
16       // name mangling
17       std::cout << typeid(*sArray[i]).name() << "_#" << (i+1)
18               << "_Area:_" << sArray[i]->getArea()
19               << "_Perimeter:_" << sArray[i]->getPerimeter()
20               << std::endl;
21   }
```

Kimenet

```
9Rectangle #1 Area: 2 Perimeter: 6
9Rectangle #2 Area: 6 Perimeter: 10
8Triangle #3 Area: 6 Perimeter: 12
8Triangle #4 Area: 30 Perimeter: 30
```

main15.cpp

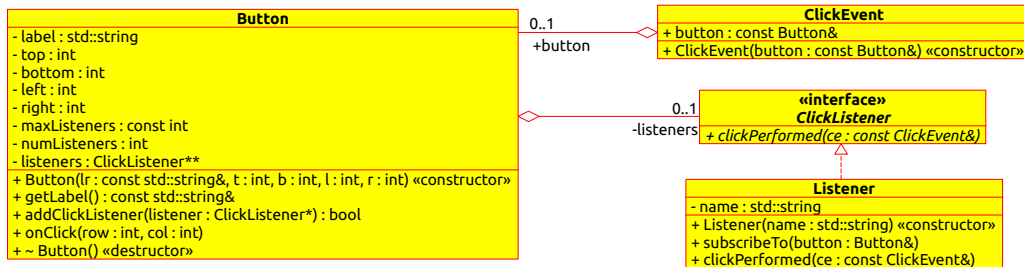
```
22     std::cout << (std::is_abstract<Shape>())
23         ? "Shape is abstract."
24         : "Shape is NOT abstract.")
25     << std::endl;
26     std::cout << (std::is_abstract<Rectangle>())
27         ? "Rectangle is abstract."
28         : "Rectangle is NOT abstract.")
29     << std::endl;
30 }
```

Kimenet

```
Shape is abstract.
Rectangle is NOT abstract.
```


Grafikus felületű, eseményvezérelt program modellje interfésszel

- Button: ha rákattintanak, ClickEvent eseményt küld egy ClickListenernek
- A ClickListenert megvalósító objektumnak fel kell iratkozni a Button eseményére



```
class Button;

class ClickEvent {
public:
    const Button& button;
    ClickEvent(const Button& button) : button(button) {}
};
```

```
#include "ClickEvent.h"

class ClickListener {
public:
    virtual void clickPerformed(const ClickEvent& ce) = 0;
};
```

Listener.h

```
4 #include <string>
5 #include "ClickListener.h"
6 #include "Button.h"
7
8 class Listener : public ClickListener {
9     const std::string name;
10 public:
11     Listener(const std::string& name) : name(name) {}
12     void subscribeTo(Button& button) {
13         button.addClickListener(this);
14     }
15     virtual void clickPerformed(const ClickEvent& ce) {
16         std::cout << name << " received a click event from "
17             << ce.button.getLabel() << std::endl;
18     }
19 };
```

```
class Button {
    const std::string label;
    int top, bottom, left, right;
    const int maxListeners;
    int numListeners;
    ClickListener** listeners;
public:
    Button(const std::string& label, int t, int b, int l, int r)
    : label(label), maxListeners(10) {
        top = t;
        bottom = b;
        left = l;
        right = r;
        numListeners = 0;
        listeners = new ClickListener*[maxListeners];
    }
}
```

```
23     const std::string& getLabel() const {
24         return label;
25     }
26     bool addClickListener(ClickListener* listener);
27     void onClick(int row, int col) const;
28     ~Button() {
29         delete[] listeners;
30     }
31 };
```

Button.cpp

```

1  #include "Button.h"
2
3  bool Button::addClickListener(ClickListener* listener) {
4      if(numListeners < maxListeners) {
5          listeners[numListeners++] = listener;
6          return true;
7      }
8      return false;
9  }
10
11 void Button::onClick(int row, int col) const {
12     if(row>=top and row<=bottom and col>=left and col<=right) {
13         for(auto i=0; i<numListeners; i++) { // auto-detected type
14             listeners[i]->clickPerformed(ClickEvent(*this));
15         }
16     }
17 }

```

```
1 #include <iostream>
2 #include <string>
3 #include "Listener.h"
4 #include "Button.h"
5
6 int main() {
7     Button b1("Button1", 0, 100, 0, 100);
8     Button b2("Button2", 0, 100, 150, 250);
9     Listener l1("Listener1");
10    l1.subscribeTo(b1);
11    l1.subscribeTo(b2);
12    Listener l2("Listener2");
13    l2.subscribeTo(b1);
14    std::string row, col;
```

```
15     while(std::cout << "row: ", std::getline(std::cin, row), !row.empty()) {
16         int r = stoi(row);
17         std::cout << "col: "; getline(std::cin, col);
18         int c = stoi(col);
19         b1.onClick(r, c);
20         b2.onClick(r, c);
21     }
22 }
```


row: 0

col: 0

```
Listener1 received a click event from Button1
```

```
Listener2 received a click event from Button1
```

row: 0

col: 150

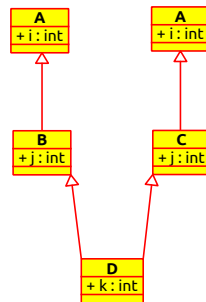
```
Listener1 received a click event from Button2
```

row: 0

col: 300

row:

- C++-ban létezik többszörös öröklődés (a legtöbb nyelv csak interfészekből enged többet megvalósítani, melyekre külön kulcsszó is van, pl. Java)
- Ha egy őstől több útvonalon is örököl egy leszármazott, nem lesz egyértelmű, melyiket kellene használni → virtuális öröklés (vagy a probléma elodázása `::-ral`)



diamond1.cpp

```
1  class A {
2      public:
3          int i;
4  };
5
6  class B : public A {
7      public:
8          int j;
9  };
10
11 class C : public A {
12     public:
13         int j;
14 };
```

```
// multiple inheritance
class D : public B, public C {
    public:
        int k;
};

int main(){
    D obj;
    obj.i = 42;
    return 0;
}
```

16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

Kimenet

```
diamond1.cpp: In function 'int main()':
diamond1.cpp:26:9: error: request for member 'i' is ambiguous
    obj.i = 42;
        ^
diamond1.cpp:5:9: note: candidates are: int A::i
    int i;
        ^
diamond1.cpp:5:9: note:                int A::i
```

diamond2.cpp

```
6 class B : virtual public A {  
7     public:  
8         int j;  
9 };  
10  
11 class C : virtual public A {  
12     public:  
13         int j;  
14 };
```

