Podstawy programowania obiektowego

dr inż. Piotr Szwed
Katedra Informatyki Stosowanej
C2, pok. 403

e-mail: pszwed@agh.edu.pl

http://home.agh.edu.pl/~pszwed/

Aktualizacja: 16.04.2020

7. Operatory rzutowania i RTTI

Operatory rzutowania w C++

Operatory rzutowania muszą być stosowane, jeżeli zachodzi konieczność zmiany typu zmiennych lub stałych, a równocześnie kompilator nie jest w stanie dokonać konwersji typów w sposób automatyczny.

Konwersje **automatyczne** dotyczą przede wszystkim:

- konwersji pomiędzy typami całkowitoliczbowymi
- konwersji typów całkowitoliczbowych do zmiennoprzecinkowych
- konwersji wskaźników lub referencji klas potomnych do klas bazowych.
- konwersji wskaźników lub referencji bez modyfikatora const do wskaźników (referencji) typu const.

W innych przypadkach konwersja typów musi być dokonana jawnie przez skorzystanie z operatorów rzutowania.

Operatory rzutowania w C++

Składnia podstawowych operatorów rzutowania w C/C++ jest następująca:

`(TYPE)expression` [C i C++]

lub

`TYPE(expression)` [tylko C++]

```
void moveto(int x,int y);
void lineto(int x,int y);

void drawCircle(double cx,double cy, double radius){
    for(double angle=0;angle<=2*M_PI;angle+=M_PI/32){
        int x=int(cx+cos(angle)*radius);
        int y=int(cy+sin(angle)*radius);
        if(angle==0)moveto(x,y);
        else lineto(x,y);
    }
}
```

Operatory rzutowania w C++

Twórcy języka C++ uznali, że rzutowanie jest operacją potencjalnie niebezpieczną – i dlatego warto oznaczyć miejsca, w których następuje rzutowanie specjalnymi operatorami o zmienionej składni. Operatory te są także bardziej elastyczne, miedzy innymi możliwe jest sprawdzanie poprawności rzutowania.

Nowe operatory w C++ to

- `static_cast`
- `const_cast`
- `reinterpret_cast`
- `dynamic_cast`

Operator static_cast

Składnia:

`static_cast<TYPE>(expr)`

`TYPE` – symbol docelowego typu

`expr` – wyrażenie lub stała

Operator konwertuje wyrażenie expr do typu TYPE. Możliwość poprawnego zastosowania operatora jest sprawdzana *statycznie* – w trakcie kompilacji. Operator jest przeznaczony do konwersji pomiędzy typami wbudowanymi, wskaźnikami do klas należącej do wspólnej hierarchii oraz wskaźnikami typu `void*`.

Przykład 1

```
int*ptr=static_cast<int*>( malloc(20*sizeof(int)) );
double x=2.7;
int ix=static_cast<int>(  x  ); // obetnie .7
cout<<ix<<endl; //wypisze 2
```

Operator static_cast

Przykład 2

```
class Base{};
class Derived:public Base {};

int main(){
    Derived d;
    Base*pb=&d;
    Derived*pd=static_cast<Derived*>(  pb  );
}
```

Przykład 3

```
int main()
{
    Base*ptrToBase=new Base();
    int *ptrToInt=static_cast<int*>(ptrToBase);
}
```

```
error: invalid static_cast from type 'Base*' to type 'int*'
int *ptrToInt=static_cast<int*>(ptrToBase);
                                          ^
```

Operator const_cast

Operator pozwala na odrzucenie modyfikatora `const` lub `volatile`. Analogiczny efekt można *bezwiednie* uzyskać stosując standardowy operator rzutowania.

Usuwanie modyfikatora `const` jest potencjalnie niebezpieczne, ponieważ wyłącza on standardowy mechanizm sprawdzania prawa do modyfikacji danych.
Z tego powodu taką zmianę lepiej jest świadomie oznaczyć specjalnym operatorem.

Składnia:

```
const_cast<TYPE>(expr)
```

Operator const_cast

```
void read(char*file){
    cout<<"forget to declare \'const char*file\'"<<endl;
    ifstream ifs(file);
    // ...
}

int main(){
    //volatile // 1
    const int x = 5;
    int*px=&x; // 2 błąd kompilacji
    int*cc_px=const_cast<int*>(&x); // 3
    *cc_px=7;
    cout<<"x="<<x<<" *cc_px="<<*cc_px<<endl;
    read("plik.txt"); // 4 błąd kompilacji
    read(const_cast<char*>("plik.txt")); //5
}
```

Bez volatile

```
x=5 *cc_px=7
forget to declare 'const char*file'
```

Z volatile

```
x=7 *cc_px=7
forget to declare 'const char*file'
```

Instrukcje //2 i //4 nie zostaną skompilowane. Poprawne rzutowanie (usunięcie `const`) w instrukcjach //3 i //4. Bez `volatile`: kompilator zakłada, że wartość x nie zmienia się od inicjalizacji. Z `volatile`: wartość x jest odczytywana podczas każdego dostępu

Operator reinterpret_cast

Operator jest najbardziej niebezpieczny z całej grupy i potencjalnie może być źródłem błędów i pojawiających się przy próbach przeniesienia programu na inne platformy.

Zmienia on *interpretację* danych traktując je jak sekwencje bitów należących do zupełnie innego typu danych.

Składnia:

```
reinterpret_cast<TYPE>(expr)
```

Jego użycie wymaga wiedzy o rozmiarach danych i sposobie ich rozmieszczania przez kompilator.

Operator reinterpret_cast

```
struct coord {double x,y,z;};

void print(const struct coord*c){
    printf("[%g,%g,%g]",c->x,c->y,c->z);
}

int main(){
    struct coord c={3,2,1};
    print(&c);
    double*cd=reinterpret_cast<double*>(&c); //(1)
    cd[0]=1;
    cd[1]=2;
    cd[2]=3;
    struct coord* pc= reinterpret_cast<struct coord*>(cd); //(2)
    print(pc);
}
```

Wynik :
`[3,2,1][1,2,3]`

Pierwsze wywołanie operatora //(1) rzutuje wskaźnik do struktury `struct coord` na tablicę typu `double*`. Modyfikacja danych następuje wewnątrz tablicy. W instrukcji //(2) 3-elementowa tablica cd jest z powrotem rzutowana na wskaźnik do struktury.

Operator reinterpret_cast

```
int main(){
    char b[4];
    b[0]=1;
    b[1]=2;
    b[2]=3;
    b[3]=4;
    int*pInt=reinterpret_cast<int*>(b);
    cout<<*pInt<<" ?= "<<
              b[0]+256*b[1]+256*256*b[2]+256*256*256*b[3]<<endl;
}
```

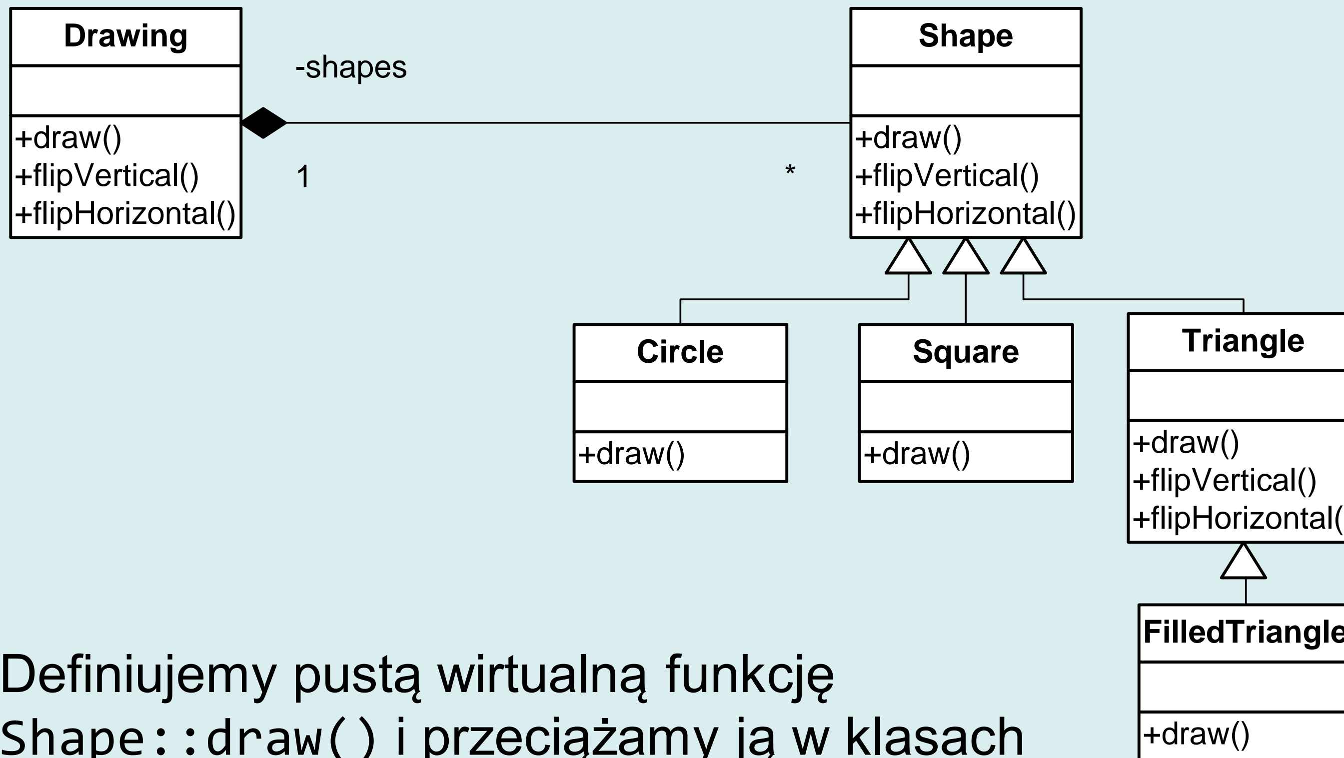
```
67305985 ?= 67305985
```

Poprzez rzutowanie pamięć 4 znaków w tablicy `b` interpretowana jest, jak liczba typu `int`.

Downcasting

- Termin *downcasting* oznacza *rzutowanie w dół*, czyli konwersję wskaźnika lub referencji do typu bazowego w hierarchii klas do typu potomnego. Określenie „w dół” wynika z tego, że zazwyczaj na diagramach struktur dziedziczenia klasy potomne są umieszczane poniżej klas bazowych.
- Rzutowanie w dół powinno być zjawiskiem występującym stosunkowo rzadko w dobrze skonstruowanej hierarchii klas.
- Zazwyczaj pragnąc dodać jakąś funkcjonalność do istniejącej hierarchii, dodajemy wirtualną metodę w klasie bazowej i przeciążamy ją w klasach pochodnych.

Przykład 1



1. Definiujemy pustą wirtualną funkcję `Shape::draw()` i przeciążamy ją w klasach `Circle`, `Square`, `Triangle`, `FilledTriangle`.
2. Definiujemy pustą wirtualną funkcję `Shape::flipVertical()` i przeciążamy ją w klasie `Triangle`. (Dla klas `Circle` i `Square` zastosowanie metody nie ma sensu, klasa `FilledTriangle` odziedziczy implementację po `Triangle`).

Przykład 1

3. Implementujemy metody klasy Drawing

```
Drawing::draw(){
      for (each shape in shapes )shape.draw()
}
Drawing::flipVertical(){
      for (each shape in shapes )shape.flipVertical()
}
```

Zalety

- Naturalne w językach obiektowych wykorzystanie polimorfizmu.

Wady

- Zazwyczaj tak prowadzone projektowanie obiektowe prowadzi do bardzo szerokiego interfejsu klasy bazowej stojącej u szczytu hierarchii. Duża grupa klas dziedziczy puste implementacje.
- W przypadku gotowej hierarchii klas dostarczonej przez zewnętrznego producenta oprogramowania w postaci biblioteki nie jest możliwe rozszerzanie interfejsu klasy bazowej.

Przykład 2

Organizacja zapisu rysunku w sytuacji, kiedy brak jest odpowiednich funkcji w hierarchii klas.

```
writeXX(stream,Circle&);
writeXX(stream,Square&);
writeXX(stream,Triangle&);

Drawing::saveAsXX(stream)
{
	for (each shape in shapes) {
		if (shape is Circle)
			writeXX(stream,(Circle&)shape)
		if (shape is Square)
			writeXX(stream,(Square&)shape)
		// itd.
	}
}
```

Kluczowym elementem jest określenie typu obiektu, kiedy wiemy jedynie, że należy do klasy bazowej: `if (shape is Circle)`

RTTI – Run Time Type Information

RTTI jest mechanizmem, który pozwala na określenie rzeczywistego typu obiektu wskazywanego przez wskaźnik lub referencję typu bazowego.

Możliwe są tu dwie implementacje:

- jawne wprowadzenie do klas kodu odpowiedzialnego za RTTI
- obsługa automatyczna oparta na wykorzystaniu informacji o typie zapisanych w VTABLE

Przykład manulanej implementacji RTTI

Wirtualna funkcja zwracająca typ

Jest to jedno z najczęściej spotykanych rozwiązań.

1. Definiujemy zbiór stałych, np.: CIRCLE, SQUARE, TRIANGLE.
2. W klasie bazowej definiujemy czystą wirtualną funkcję

```
virtual int getType()const=0;
```

i przeciążamy ją w klasach potomnych:

```
int Circle::getType()const{return CIRCLE;}
int Triangle::getType()const{return TRIANGLE;}
```

Automatyczna implementacja RTTI

Automatyczna obsługa RTTI pojawiła się w kompilatorach stosunkowo późno, dlatego nie jest jeszcze powszechnie stosowana – najczęściej w bibliotekach można spotkać jawne implementacje RTTI połączone ze statycznymi operatorami rzutowania.

Przesłanką za wprowadzeniem automatycznej obsługi RTTI na poziomie języka była powszechność tego typu mechanizmów w różnych bibliotekach (i równocześnie brak kompatybilności pomiędzy rozwiązaniami różnych producentów).

Włączenie obsługi RTTI wiąże się z dodatkowym narzutem czasowym i niewielkim wzrostem objętości wygenerowanego kodu.

Wbudowana obsługa RTTI jest dostępna za pośrednictwem dwóch mechanizmów:

- operatora `dynamic_cast`
- operatora `typeid`

Operator dynamic_cast

Operator `dynamic_cast` jest przeznaczony do bezpiecznego rzutowania w dół hierarchii dziedziczenia (*ang. downcasting*) lub do rzutowania wskaźnika do typu `void*`.

Składnia:

```
dynamic_cast<TYPE>(expr),
```

gdzie `TYPE` jest typem wskaźnikowym lub referencją;

wyrażenie `expr` musi być również typem wskaźnikowym lub referencją.

Jeżeli `TYPE` jest typem **wskaźnikowym**, operator zwraca wskaźnik typu `TYPE`:

- Niezerowy, jeżeli rzutowanie zakończy się powodzeniem
- Zerowy (`null`), jeżeli rzutowanie nie jest możliwe

Jeżeli `TYPE` jest typem **referencyjnym** operator generuje wyjątek `std::bad_cast` w przypadku niepowodzenia.

Aby zastosować ten operator wyrażenie expr musi być typu polimorficznego (czyli musi istnieć dla niego VTABLE)

Czasem konieczne jest również jawne włączenie opcji generacji RTTI w kompilatorze

Przykład 1

```
class Shape{
public:
       virtual ~Shape(){} // typ polimorficzny
};

class Circle:public Shape {};
class Square:public Shape {};
class Triangle:public Shape {};
class FilledTriangle:public Triangle {};

void whoAmI(Shape*shape){
    if( dynamic_cast<Circle*>(shape)!=0 )
        cout<<"Circle ";
    if( dynamic_cast<Square*>(shape)!=0 )
        cout<<"Square ";
    if( dynamic_cast<Triangle*>(shape)!=0 )
        cout<<"Triangle ";
    if( dynamic_cast<FilledTriangle*>(shape)!=0 )
        cout<<"FilledTriangle ";
}
```

Przykład 1

```
int main(){
    Shape*table[4];
    table[0]=new Circle();
    table[1]=new Square();
    table[2]=new Triangle();
    table[3]=new FilledTriangle();
    for(int i=0;i<4;i++){
        cout<<"I am a ";
        whoAmI(table[i]);
        cout<<endl;
    }
    for(int i=0;i<4;i++)delete table[i];
}
```

I am a Circle
I am a Square
I am a Triangle
I am a Triangle FilledTriangle

Przykład 2

```
class A{ public:
    virtual void printName(){
        cout<< "A"<<endl;
    }
};
class B : public A{ public:
    virtual void printName(){
        cout<< "B"<<endl;
    }
};
class C : public A{ public:
    virtual void printName(){
        cout<< "C"<<endl;
    }
};
```

```
int main(){
    C c;
    A&ra=c;
    try {
        C &rc = dynamic_cast<C &>(ra);
        rc.printName();
        B &rb = dynamic_cast<B &>(ra);
        rb.printName();
    }
    catch(std::bad_cast e){
        cout<<"bad cast"<<endl;
    }
}
```

Użycie operatora w przypadku referencji może powodować generację wyjątku.

```
C
bad cast
```

Operator lepiej sprawdza się w przypadku wskaźników.

Operator typeid

Operator typeid pozwala na określenie typu obiektu w trakcie wykonania programu.

Składnia:

```
typeid(TYPE)
```

lub

```
typeid(expr)
```

Operator `typeid` zwraca stałą referencję typu `const type_info &` do obiektu klasy `type_info`. Obiekty te są generowane automatycznie przez kompilator dla każdej klasy po włączeniu opcji użycia RTTI.

Argument `TYPE` powinien być nazwą klasy lub (dla kompatybilności) typem wbudowanym.

Typem wyrażenia `expr` powinna być:

- referencja
- wskaźnik, na którym zastosowano operator dereferencji *.
  Bez dereferencji rezultatem działania operatora byłaby informacja o typie wskaźnikowym, a nie wskazywanym obiekcie.

Operator typeid

Typ wyrażenia powinien być typem polimorficznym (zawierającym co najmniej jedną funkcję wirtualną) . W przeciwnym wypadku rezultatem będzie informacja o typie wyrażenia, a nie wskazywanym obiekcie.

Klasa `type_info` zdefiniowana jest w pliku nagłówkowym `<typeinfo.h>` lub `<typeinfo>` jako:

```
class type_info {
public:
    virtual ~type_info();
    int operator==(const type_info& rhs) const;
    int operator!=(const type_info& rhs) const;
    int before(const type_info& rhs) const;
    const char* name() const;
    const char* raw_name() const;
private:
    ...
};
```

- Operatory == i != umożliwiają porównanie typów.
- Funkacja `name()` zwraca nazwę typu obiektu, natomiast `raw_name()` wewnętrzną dekorowaną nazwę tworzoną przez kompilator.

Operator typeid

```
void writeIfCircle(ostream&os,Shape&shape)
{
    if( typeid(shape) != typeid(Circle) )return;
    Circle&circle=static_cast<Circle&>(shape);
    // write circle here
}

void whoAmI(Shape*shape)
{
    cout<<typeid(*shape).name();
    std::string s = typeid(*shape).name();
    cout<<s<<endl;
}
// dla obiektu typu FilledTriangle wypisze:
// wyłącznie ‘FilledTriangle’
```

dynamic_cast i typeid

- Oba operatory zachowują się poprawnie dla typów polimorficznych. Dla innych typów program może nie zostać skompilowany lub ich działanie może być nieoczekiwane.
- Operator `typeid` pozwala wyłącznie na określenie rzeczywistego typu, natomiast nie pozwala na stwierdzenie, czy należy on również do klasy umieszczonej w środku hierarchii.
- Operator `dynamic_cast` pozwala rzutowanie na poziom pośredni.
- Oba operatory nie pozwalają na określenie typu lub rzutowanie wskaźnika typu `void*`. Wskaźnik `void*` nie ma informacji o typie.
- Operator typeid działa również dla typów wbudowanych.

dynamic_cast i typeid

- Jeżeli argumentami operatorów są referencje i nie jest możliwe określenie typu lub przeprowadzenie bezpiecznego rzutowania – oba operatory generują wyjątki. Powinny być one przechwytywane. Alternatywą jest wołanie wyłącznie operatora `dynamic_cast` dla typów wskaźnikowych.
- Techniki programowania wykorzystujące rzutowanie w dół oparte na RTTI powinny być stosowane z umiarem, ponieważ prowadzą do kodu wykonywanego warunkowo (wewnątrz instrukcji `if-else` lub `switch-case`). Tego typu kod jest trudny w konserwacji i kłopotliwy w przypadku rozszerzeń. Bardzo często może być on wyeliminowany przez użycie funkcji polimorficznych.