Podstawy programowania 2

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

e-mail: pszwed@agh.edu.pl

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

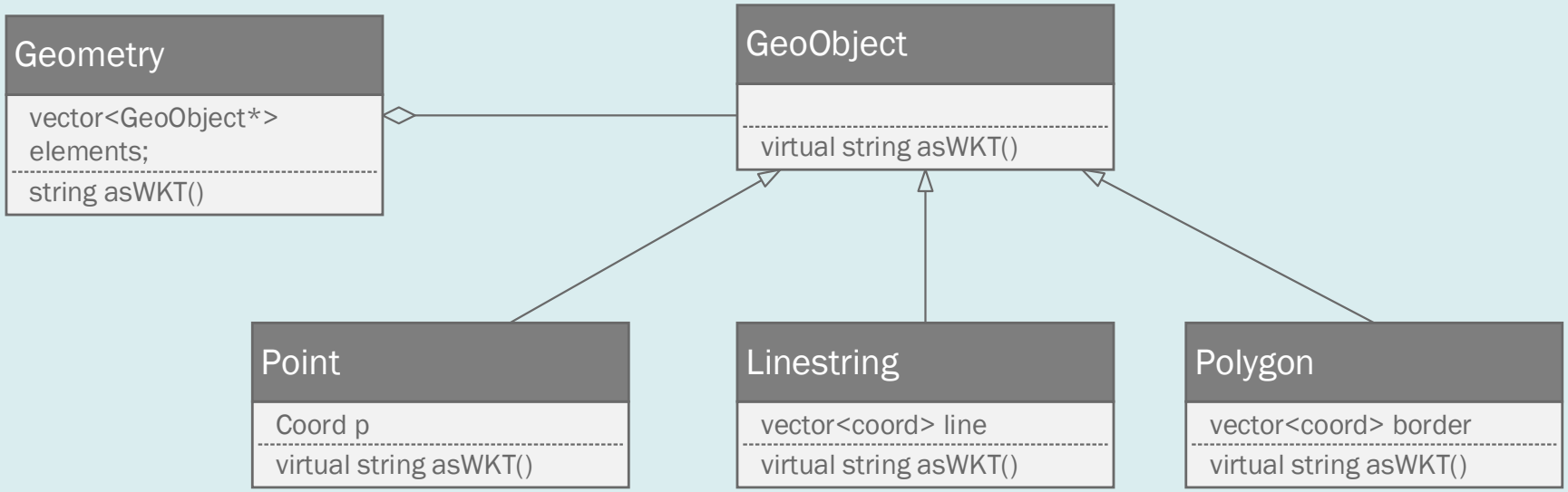
Aktualizacja: 27.03.2021

4. Funkcje wirtualne

Polimorfizm

Konstruując hierarchie klas bardzo często definiujemy metody, które mają **taki sam interfejs** (nazwę, parametry i typ zwracanych wartości) ale mają **różną implementację**, zależną od typu obiektu.

Takie funkcje nazywamy **polimorficznymi**.



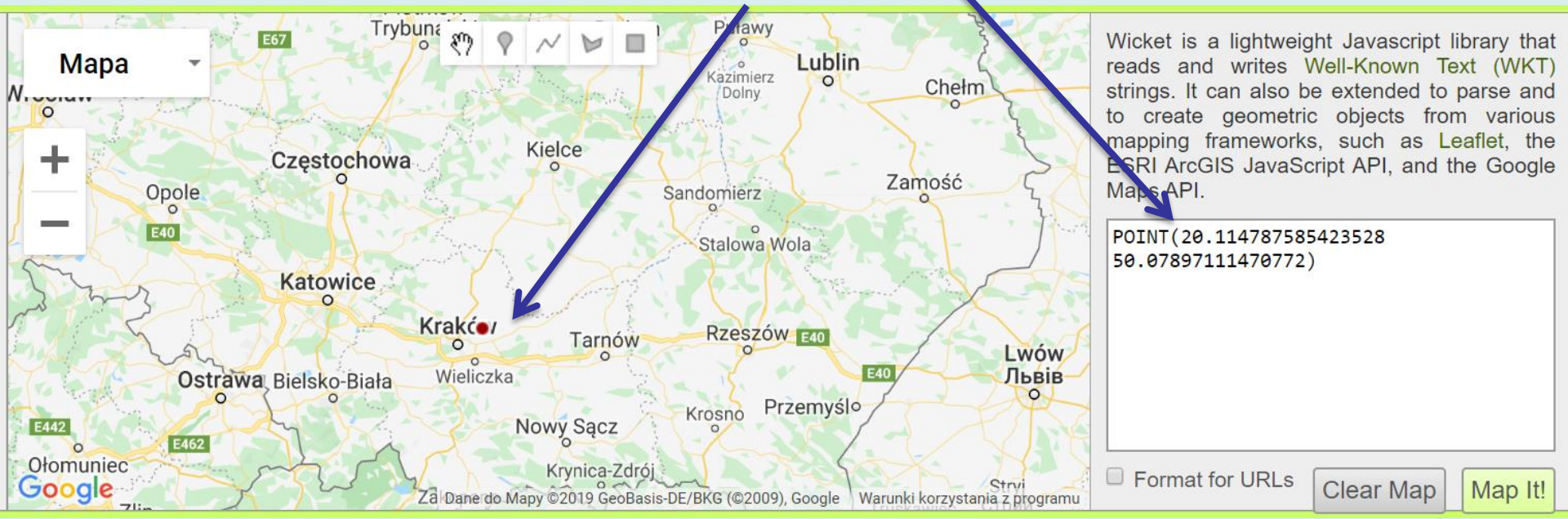
Klasami potomnymi `GeoObject` są `Point`, `Linestring` i `Polygon`. Każda z klas implementuje funkcję `asWKT()`, ale w różny spsób. **Jest to funkcja polimorficzna.**
`Geometry` zawiera obiekty klas potomych `GeoObject`

Point

Point
Coord p
virtual string asWKT()

- Dane – to para współrzędnych
- `asWKT()` – formatuje dane w formacie Well-Known Text

POINT(20.114787585423528 50.07897111470772)

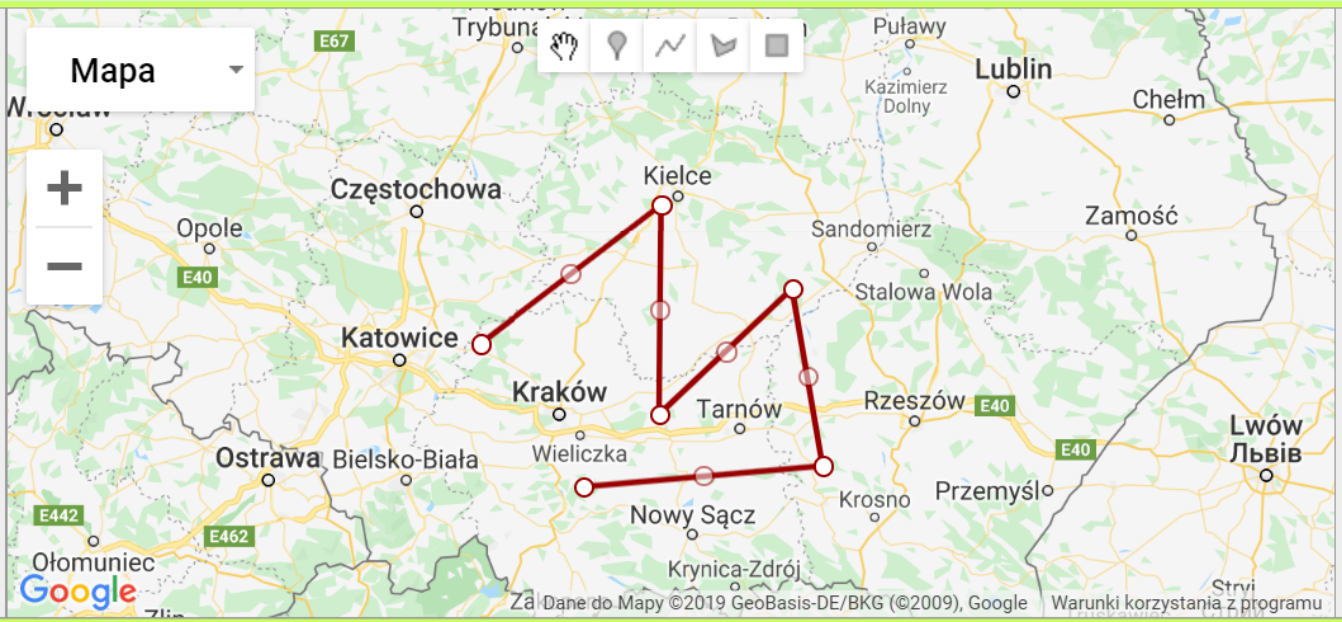


http://arthur-e.github.io/Wicket/sandbox-gmaps3.html

Linestring

Linestring
vector<coord> line
virtual string asWKT()

`Linestring` to ciąg punktów tworzących linię łamaną



Wicket is a lightweight Javascript library that reads and writes Well-Known Text (WKT) strings. It can also be extended to parse and to create geometric objects from various mapping frameworks, such as Leaflet, the ESRI ArcGIS JavaScript API, and the Google Maps API.

```
LINESTRING(19.488566882298528
50.325095827083295,20.532268054173528
50.83436351970718,20.521281726048528
50.06486850297297,21.290324694798528
50.52806702224989,21.466105944798528
49.87407715763925,20.081828601048528
49.7961304385344)
```

Format for URLs

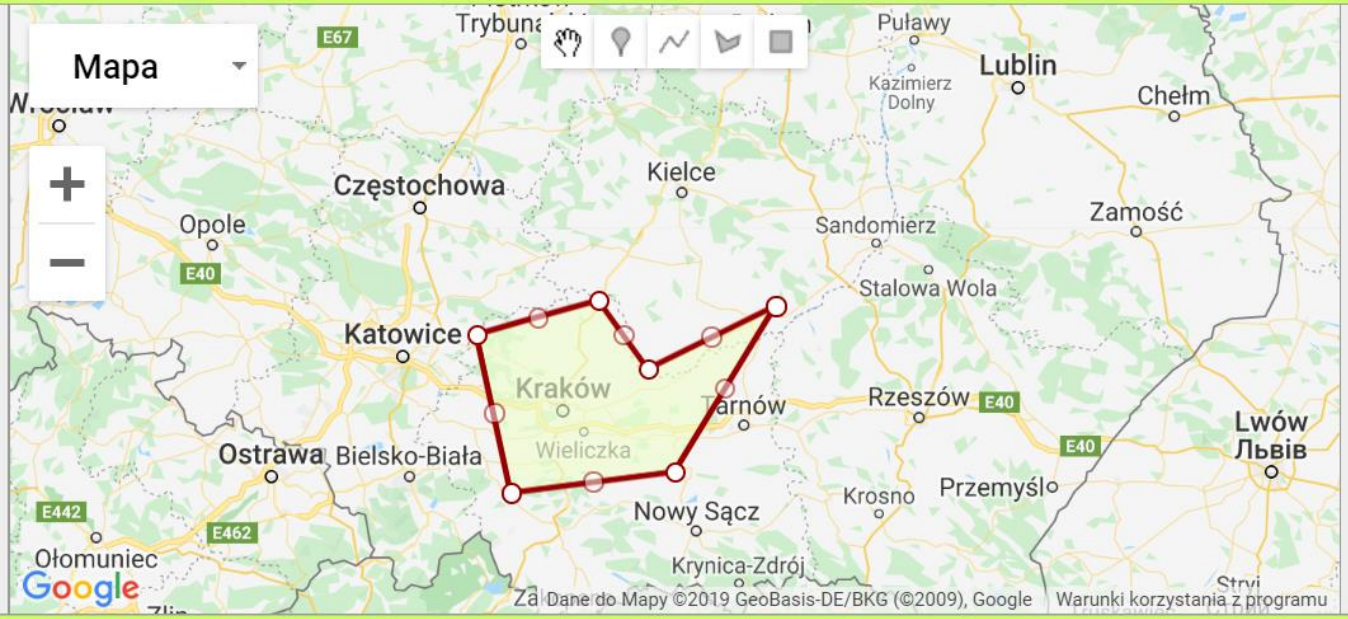
Clear Map

Map It!

Polygon

Polygon
vector<coord> border
virtual string asWKT()

Polygon to wielobok.



Wicket is a lightweight Javascript library that reads and writes Well-Known Text (WKT) strings. It can also be extended to parse and to create geometric objects from various mapping frameworks, such as Leaflet, the ESRI ArcGIS JavaScript API, and the Google Maps API.

```
POLYGON((19.444621569798528
50.34613319838949,19.642375476048528
49.76065857218804,20.587199694798528
49.83866240567945,21.169475085423528
50.45118035404765,20.433391101048528
50.21976919878196,20.147746569798528
50.47216185412133,19.444621569798528
50.34613319838949))
```

Format for URLs

Clear Map

Map It!

Geometry

- `GeoObject` jest sztucznym korzeniem hierarchii wprowadzonym po to aby zapewnić jednolity interfejs. Jego funkcja `asWKT()` jest pusta.
- `Geometry` zawiera tablicę (`vector` z biblioteki standardowej) wskaźników typu `GeoObject*`. Zakładamy, że te wskaźniki wskazują jednak rzeczywiste elementy typu `Point`, `Linestring` lub `Polygon`.

Geometry

```
class Geometry{
public:
    vector<GeoObject*> elements;
    string asWKT();
};

string Geometry::asWKT(){
    string r;
    for(int i=0;i<elements.size();i++){
        r.append(elements[i]->asWKT());
    }
    r.append(" ");
    return r;
}
```

Aby utworzyć tekstową reprezentacją WKT funkcja `Geometry::asWKT()` iteruje przez wszystkie wskaźniki w tablicy `elements` i woła dla wskazywanych obiektów funkcję `asWKT()`.

W zależności od wskazywanego obiektu będzie wywołana polimorficzna funkcja, która zwróci tekst POINT, LINESTRING lub POLYGON.

Funkcje polimorficzne

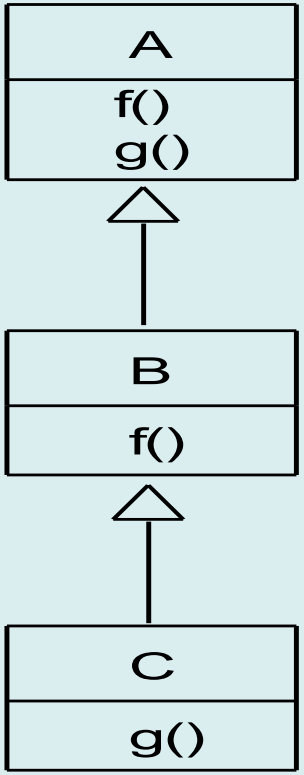
Aby osiągnąć efekt polimorficznego wywołania funkcji:

- Funkcja musi być zdeklarowana w klasie bazowej jako wirtualna
- Musi być wywołana za pośrednictwem wskaźnika lub referencji

W C++ występują trzy rodzaje metod:

1. **Statyczne** – nie są polimorficzne
2. Zadeklarowane **bez** słowa kluczowego **`virtual`** – nie są polimorficzne
3. Zadeklarowane **z użyciem `virtual`** – zachowują się polimorficznie, jeżeli są wołane za pośrednictwem wskaźnika lub referencji

Dziedziczenie metod



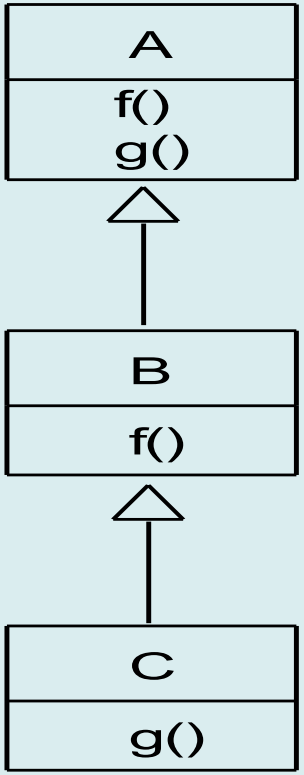

```
class A
{
public:
    A(){}
    virtual void f(){
        printf("A::f");
    }
    virtual void g(){}
};
```

```
class B : public A
{

public:
    B():A(){}
    void f(){
        printf("B::f ");
    }
};
```

```
class C : public B
{
public:
    C():B(){}
    void g(){
        printf("C::g ");
    }
};
```

Dziedziczenie metod




```
void call_g(A&a){
    a.g();
}

void call_f(A&a){
    a.f();
}

int main(){
    A a; B b; C c;
    call_f(a); // A::f()
    call_f(b); // B::f()
    call_f(c); // B::f()
    call_g(a); // A::g()
    call_g(b); // A::g()
    call_g(c); // C::g()
}
```

Wywołanie poprzez referencję typu bazowego A. Jeżeli parametrem będzie obiekt klasy B lub C nastąpi przekształcenie w referencję typu A.

Wywołana zostanie, funkcja która została zdefiniowana w danej klasie lub odziedziczona po klasie bazowej.

Dziedziczenie metod

- W przypadku zwykłych funkcji kompilator jest w stanie określić, która funkcja zostanie wywołana. Wywołanie zostaje powiązane w trakcie kompilacji (**statycznie**) z kodem funkcji. Kryterium jest sposób dostępu – obiekt, referencja lub wskaźnik określonego typu.

- W przypadku funkcji wirtualnych wybór funkcji do wykonania dokonywany jest **dynamicznie** w trakcie działania programu na podstawie typu rzeczywistego obiektu wskazywanego przez wskaźnik lub referencję.

Wskaźniki do funkcji - przypomnienie

Wskaźniki do funkcji (1)

- Po skompilowaniu każdej funkcji przydziela się pewien obszar w pamięci. Podczas wywołania funkcji – po przeprowadzeniu niezbędnych inicjalizacji – program dokonuje skoku do instrukcji mieszczącej się pod adresem początkowym bloku kodu.
- Adres tego obszaru może zostać pobrany i wykorzystany do wywołania funkcji.
- Wskaźnik do funkcji jest zmienną, która zawiera adres funkcji. Posługując się wskaźnikiem można tę funkcję wywołać.
- Typową praktyką przy projektowaniu bibliotek w C/C++ jest możliwość przekazania wskaźnika do funkcji, która, na przykład, będzie odpowiedzialna za: wyświetlanie pewnych informacji, porównywanie elementów, zapis i odczyt danych.

Wskaźniki do funkcji (2)

- Kompilator języków C/C++ zwraca uwagę na zgodność typów. W przypadku wskaźników do funkcji typ określony jest przez typ **zwracanej wartości** i typy **argumentów**.
- Deklaracje wskaźników do funkcji jest kłopotliwa. Najlepiej posłużyć się prostym przepisem:

  jeżeli funkcja jest zadeklarowana jako

  `return-type function(arg-list)`

  wówczas

  `return-type (*`**`function-pointer`**`)(arg-list)`

  deklaruje wskaźnik o nazwie **`function-pointer`** do funkcji zwracającej `return-type` i biorącej za argumenty `arg-list`.
- W przypadku bardziej złożonych definicji najlepiej przeprowadzić deklarację dwuetapową wykorzystując `typedef`:

```
typedef return-type (*fp-type)(arg-list);
fp-type function-pointer;
```

Wskaźniki do funkcji (3)

Przykład

```
void foo(int a)
{
        printf("%d",a);
}

typedef void (*VOID_INT_FP)(int);

int  main()
{
        VOID_INT_FP myptr = foo;
        if(myptr)myptr (7);
        return 0;
}
```

Analogicznie, jak dla tablic, identyfikator funkcji jest niemodyfikowalnym wskaźnikiem do funkcji!

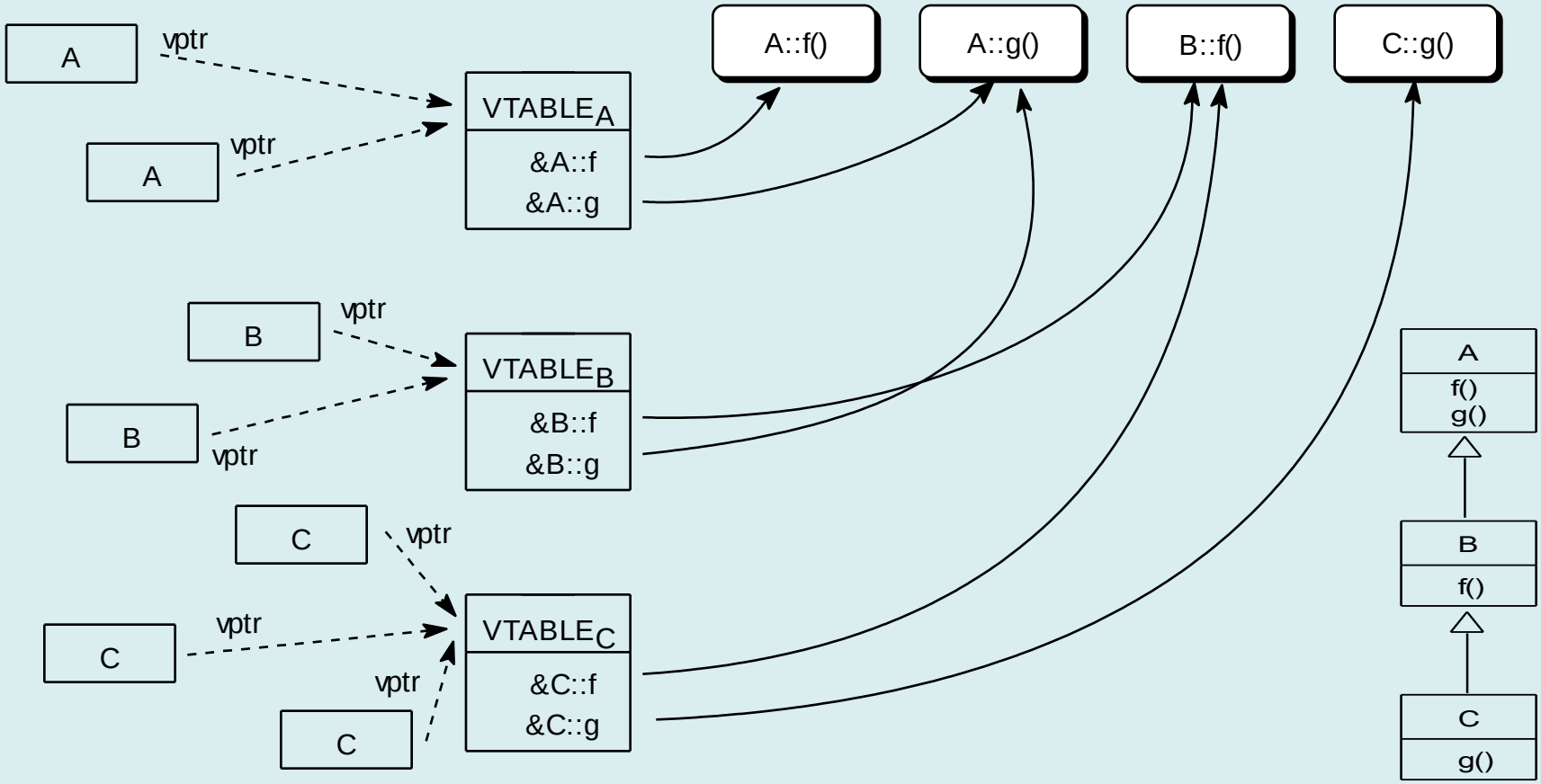
Z użyciem wskaźników do funkcji wiążą się analogiczne problemy, jak ze wskaźnikami do danych:

- Mogą mieć wartość nieokreśloną (wywołanie spowoduje zapewne błąd wykonania)
- Można testować, czy nie mają wartości zerowej i wywoływać funkcję opcjonalnie

Implementacja funkcji wirtualnych

- Dla każdej klasy zawierającej funkcje zadeklarowane jako wirtualne kompilator generuje pojedynczy obiekt będący tablicą wskaźników do funkcji zadeklarowanych jako wirtualne. Tablica ta nazywana jest **VTABLE**. Wskaźniki do funkcji są umieszczone zawsze w stałej kolejności.
- Do każdego obiektu klasy dodawane jest ukryte pole **vptr**, które jest wskaźnikiem na VTABLE odpowiedniego typu.
- Jeżeli w klasie bazowej zdefiniowane są funkcje wirtualne, wówczas dla każdej klasy potomnej generowane są analogiczne struktury danych, nawet jeżeli nie redefiniuje funkcji wirtualnych klasy bazowej.

Implementacja funkcji wirtualnych



Kompilator dodaje do wywołania funkcji wirtualnej, np.: `ptr->f()`, dodatkowy kod, który:

- odczytuje wskaźnik vptr wskazywanego obiektu,
- na jego podstawie odnajduje odpowiednią tablicę `VTABLE`
- wywołuje funkcję, której adres jest umieszczony w `VTABLE` pod adresem odpowiadającym funkcji `f()`.

Funkcje których nie ma

- Bardzo często projektując hierarchię klas definiuje się pewien interfejs, który powinien zostać zachowany w klasie potomnej. Dzięki temu można tworzyć funkcje, które będą działały niezależnie od rzeczywistego obiektu.
- W specyfikacji interfejsu można wyróżnić dwa rodzaje funkcji:
  - które *muszą* zostać przedefiniowane,
  - które *mogą* zostać przedefiniowane.

Funkcje których nie ma

```
class Connection
{
public:
    // musi zostać przedefiniowana
    virtual int readByte()=0;
    // może zostać przedefiniowana
    virtual void showProgress(){}
};

void readInt(Connection&c,int&target)
{
    char buf[4];
    for(int i=0;i<4;i++) buf[i]= c.readByte();
    target = *(int*)buf;
    c.showProgress();
}
```

Klasy dziedziczące po `Connection`

- muszą przedefiniować `readByte()`,
- mogą przedefiniować `showProgress()`.

Klasy abstrakcyjne

- W powyższym przykładzie funkcja `readByte()` jest *czystą funkcją wirtualną* (ang. *pure virtual function*). Nie ma ona implementacji. W VTABLE klasy na jej miejscu wstawiony jest zerowy wskaźnik.

- Klasa, w której zdefiniowane są jakiekolwiek czyste funkcje wirtualne nazywana jest klasą ***abstrakcyjną***.

- Klasy abstrakcyjne definiuje się wyłącznie jako dodatkowe konstrukcje ułatwiające wykorzystanie polimorfizmu. Nie jest możliwe utworzenie obiektu klasy abstrakcyjnej. Zawsze konieczne jest zdefiniowanie klasy potomnej.

Klasy finalne

Deklarując klasę z użyciem słowa kluczowego final można zabronić dalszego dziedziczenia.

```
class Funkcja{
public:
    virtual double evaluate(double x)const=0;
};

class Sinus final:public Funkcja {
public:
    double evaluate(double x)const{
        return sin(x);
    }
};

class LepszySinus: public Sinus{
public:
    double evaluate(double x)const{
        std::cout<<"obliczam sin("<<x<<")";
        return Sinus::evaluate(x);
    }
};
```

```
error: cannot derive from 'final' base 'Sinus' in derived type 'LepszySinus'
  19 | class LepszySinus: public Sinus{
```

Modyfikator override

Modyfikator override informuje kompilator, że intencją programisty jest przedefiniowanie istniejącej metody. Jeżeli takiej nie ma – sygnalizowany jest błąd.

```
class Funkcja{
public:
    virtual double evaluate(double x)const=0;
};

class ArcusSinus final :public Funkcja {
public:
    virtual double evaluate(double x)const{
        if(x<-1.0 || x>1.0)return NAN;
        return acos(x);
    }
    virtual Funkcja*getInverse()const override;
};
class Sinus final:public Funkcja {
public:
    double evaluate(double x)const{
        return sin(x);
    }
    virtual Funkcja*getInverse()const override;
};
```

error: 'virtual Funkcja* ArcusSinus::getInverse() const' marked 'override', but does not override
38 | virtual Funkcja*getInverse()const override;

error: 'virtual Funkcja* Sinus::getInverse() const' marked 'override', but does not override
45 | virtual Funkcja*getInverse()const override;

Przykład: żółw

```
class Turtle{
public:
    double x,y;
    double angle;
    bool isPenDown;

    Turtle(){
        x=y=0;
        angle=0;
        isPenDown=true;
    }
    void forward(double distance);
    void rotate(double angle);
    void changePenState(bool putDown);
};
```

Stan żółwia:

- x,y – współrzędne położenia
- angle – kąt obrotu w stopniach
- isPenDown – czy pisak jest opuszczony (czyli przesunięcie narysuje kreskę)

Metody

- forward() – przesunięcie do przodu
- rotate() – zmiana kąta
- changePenState() – podniesienie lub opuszczenie pisaka

Metody żółwia

```
void Turtle::forward(double distance){
    if(isPenDown){
        cout<<"<line x1=\""<<x<<"\" y1=\""<<y<<"\" ";
    }
    x+=distance*cos(angle*M_PI/180);
    y+=distance*sin(angle*M_PI/180);
    if(isPenDown) {
        cout<<"x2=\""<<x<<"\" y2=\""<<y<<"\" "
           "style=\"stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2\" />\n";
    }
}

void Turtle::rotate(double angle){
    this->angle+=angle;
}

void Turtle::changePenState(bool putDown){
    isPenDown = putDown;
}
```

Żółw generuje obiekty <line> w formacie SVG (Scalable Vector Graphics)

Test żółwia

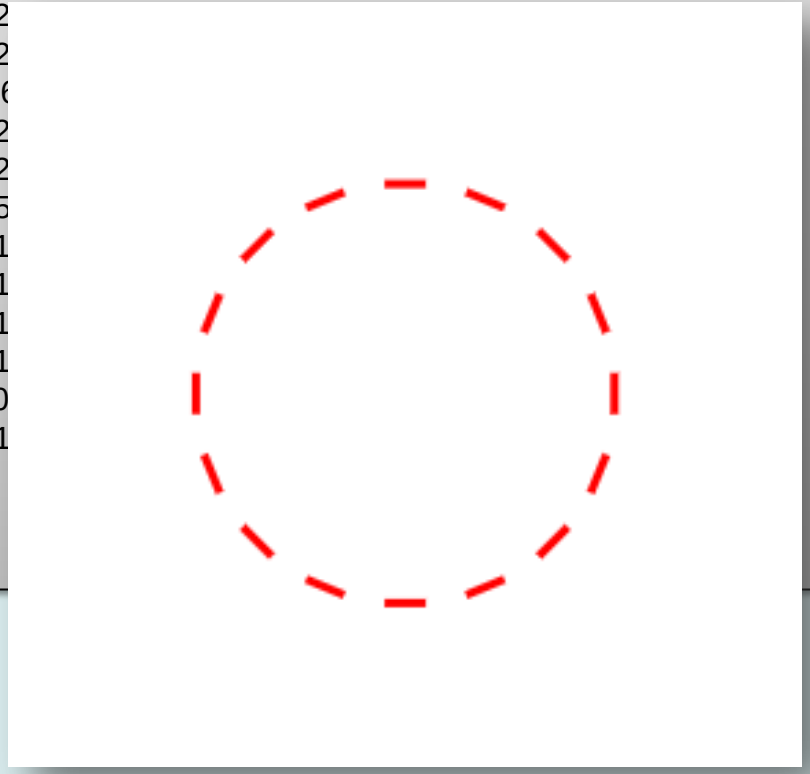
```
void test(){
    cout<<"<!DOCTYPE html>\n<html>\n<body>\n";
    cout<<"<svg height=\"300\" width=\"300\">\n";
    Turtle t;
    int n= 32;
    t.changePenState(false);
    t.rotate(45);
    t.forward(200);

    bool isPenDown = true;
    t.changePenState(isPenDown);
    for(int i=0;i<n;i++){
        t.forward(10);
        t.rotate(360.0/n);
        isPenDown=!isPenDown;
        t.changePenState(isPenDown);
    }
    cout<<"</svg>\n";
    cout<<"</body>\n</html>";
}
```

Program przesuwa żółwia na środek i rysuje okrąg linią przerywaną (pętla for)

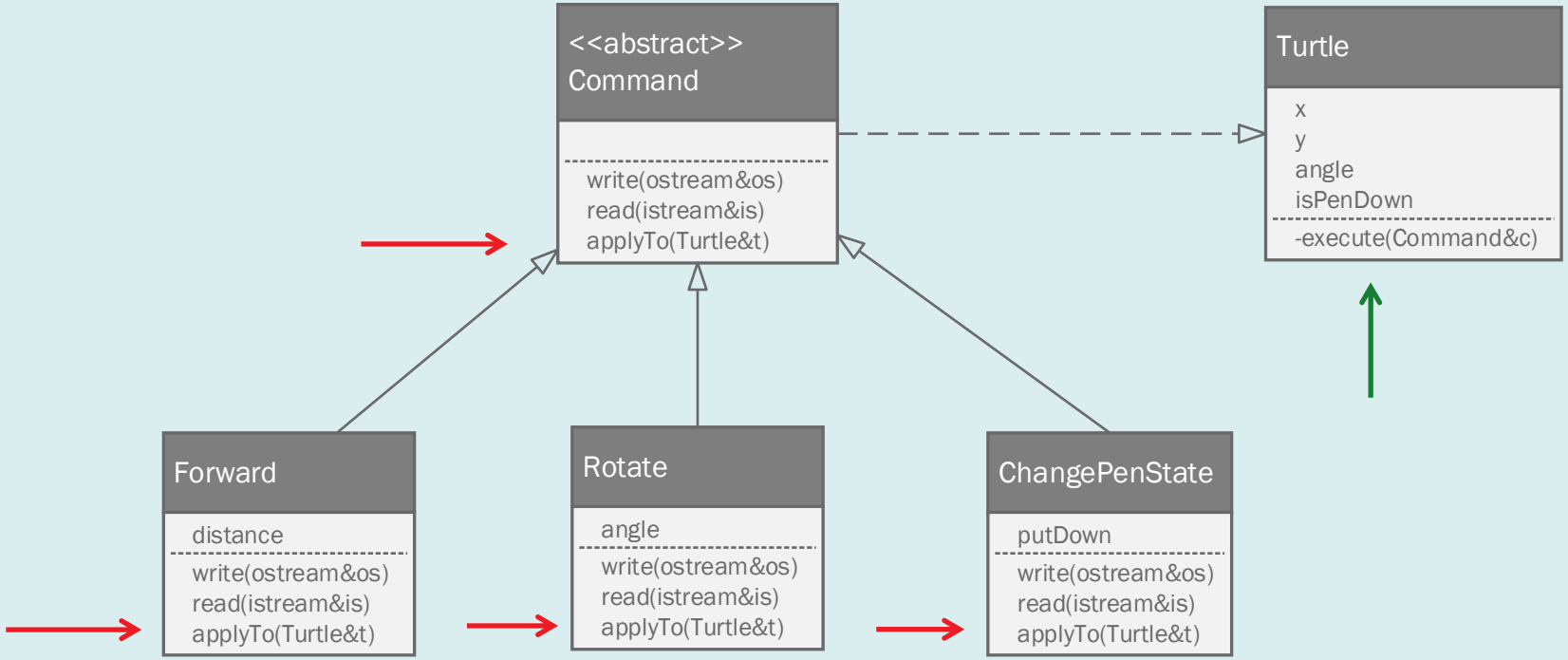
Wynik

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<svg height="300" width="300">
<line x1="141.421" y1="141.421" x2="148.492" y2="148.492" style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="154.048" y1="156.807" x2="157.875" y2="166.046" style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="159.826" y1="175.854" x2="159.826" y2="185.854" style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="157.875" y1="195.662" x2="154.048" y2="204.9" style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="148.492" y1="213.215" x2="141.421" y2="2
<line x1="133.107" y1="225.842" x2="123.868" y2="2
<line x1="114.06" y1="231.62" x2="104.06" y2="231.6
<line x1="94.2522" y1="229.669" x2="85.0134" y2="2
<line x1="76.6987" y1="220.286" x2="69.6276" y2="2
<line x1="64.0719" y1="204.9" x2="60.2451" y2="195
<line x1="58.2942" y1="185.854" x2="58.2942" y2="1
<line x1="60.2451" y1="166.046" x2="64.0719" y2="1
<line x1="69.6276" y1="148.492" x2="76.6987" y2="1
<line x1="85.0134" y1="135.866" x2="94.2522" y2="1
<line x1="104.06" y1="130.088" x2="114.06" y2="130
<line x1="123.868" y1="132.039" x2="133.107" y2="1
</svg>
</body>
</html>
```



Refaktoryzacja

Program (ciąg poleceń) dla żółwia jest napisany w języku C++. Co należałoby zrobić, aby polecenia dla żółwia zapisywać w innym formacie?



- Zapisujemy polecenia jako obiekty. Każdy obiekt przechowuje argument polecenia.
- Polimorficzna metoda `Command::applyTo(Turtle&t)` wykonuje polecenie na żółwiu (zmienia jego stan).
- Żołw też może wykonać dowolne polecenie za pomocą `execute(Command&c)`

Klasa Command

```
class Command{
public:
    virtual void write(ostream&os)const=0;
    virtual void read(istream&is)=0;
    virtual void applyTo(Turtle&turtle)const=0;
    virtual ~Command(){}
};
```

- `write(ostream&os)` – zapisuje polecenie do strumienia wyjściowego. Strumieniem wyjściowym może być `cout` (standardowe wyjście) lub strumień skojarzony z plikiem (`ofstream`)
- `read(istream&is)` – odczytuje polcenie (a właściwie jego argument ze strumienia wejściowego: `cin` (standardowe wejście) lub `ifstream` (plik)
- `applyTo(Turtle&turtle)` – wykonuje polecenie wołając odpowiednią metodę Turtle
- Wirtualny destruktor `~Command()` – będzie wyjaśnione później…

Komenda Forward

```
class Forward : public Command{
    double distance;
public:
    Forward(double distance=0){
        this->distance=distance;
    }

    void write(ostream&os)const{
        os<<"FD"<<" "<<distance<<endl;
    }
    void read(istream&is){
        is>>distance;
    }

    void applyTo(Turtle&t)const{
        t.forward(distance);
    }
};
```

Zapisuje nazwę polecenia i argument. Np. wynikiem będzie: FD 100

Czyta tylko argument (`distance`)

Wywołuje metodę `Turtle::forward()`

Komenda Rotate

```
class Rotate : public Command{
    double angle;
public:
    Rotate(double angle=0){
        this->angle=angle;
    }
    void write(ostream&os)const{
        os<<"RL"<<" "<<angle<<endl;
    }
    void read(istream&is){
        is>>angle;
    }
    void applyTo(Turtle&t)const{
        t.rotate(angle);
    }
};
```

Komenda ChangePenState

```
class ChangePenState: public Command{
    bool putDown;
public:
    ChangePenState(bool putDown=true){
        this->putDown=putDown;
    }
    void write(ostream&os)const{
        os<<"PD"<<" "<<putDown<<endl;
    }
    void read(istream&is){
        is>>putDown;
    }
    void applyTo(Turtle&t)const{
        t.changePenState(putDown);
    }
};
```

Metoda Turtle::execute()

```
void Turtle::execute(const Command&c){
    c.applyTo(*this);
}
```

Żółw też ma możliwość wykonywania poleceń.

```
[1] Turtle t;
[2] Rotate r(45);
[3] t.execute(r);
[4] t.execute(Forward(100));
```

Polecenia można przekazywać, jak w [3] – jako obiekty lub tworzyć w locie, jak [4].

1. Obiekt, np. `Rotate r(45)` jest zamieniany na referencję typu `Command` przez pobranie adresu i **rzutowanie w górę**
2. Wołana jest **polimorficzna** metoda `Command::applyTo(Turtle&t)`, do której przekazywana jest referencja do obiektu żółwia `*this`
3. Dla obiektu typu `Rotate` nastąpi wywołanie `Rotate::applyTo(Turtle&t)`, a w niej `t.rotate(angle)`

Przykład

```
void drawHexagon(){
    int n= 6;
    Turtle t;
    t.execute(ChangePenState(false));
    t.execute(Rotate(45));
    t.execute(Forward(200));
    t.execute(ChangePenState(true));

    for(int i=0;i<n;i++){
        Forward f(50);
        Rotate r(360.0/n);
        t.execute(f);
        t.execute(r);
    }
}
```

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<body>
<svg height="300" width="300">
<line x1="141.421" y1="141.421" x2="176.777" y2="176.777"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="176.777" y1="176.777" x2="163.836" y2="225.073"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="163.836" y1="225.073" x2="115.539" y2="238.014"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="115.539" y1="238.014" x2="80.1841" y2="202.659"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="80.1841" y1="202.659" x2="93.1251" y2="154.362"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />
<line x1="93.1251" y1="154.362" x2="141.421" y2="141.421"
style="stroke:rgb(255,0,0);stroke-width:2" />


</svg>
</body>
</html>
```

Program dla żółwia

```
int n= 16;
int p= 2;
Command*cmds[p+3*n];
cmds[0] = new Rotate(45);
cmds[1] = new Forward(100);

bool isPenDown = true;
for(int i=0;i<n;i++){
    cmds[p+3*i] = new Forward(10);
    cmds[p+3*i+1] = new Rotate(360.0/n);
    isPenDown=!isPenDown;
    cmds[p+3*i+2] = new ChangePenState(isPenDown);
}

Turtle t;
for(int i=0;i<sizeof(cmds)/sizeof(cmds[0]);i++){
    //t.execute(*cmds[i]);
    cmds[i]->applyTo(t);
}
```

Tablica wskaźników. Microsoft: zamiast deklaracji VLA może być konieczne obliczenie rozmiaru.

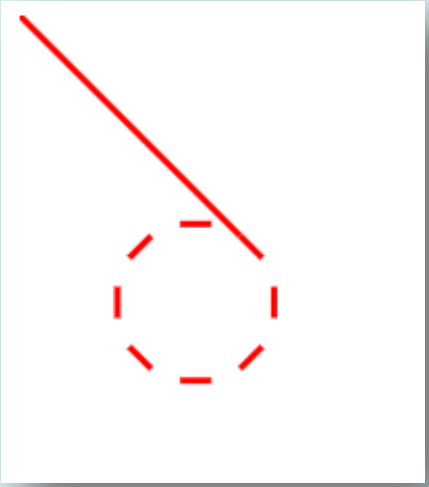
Wykonanie

Program dla żółwia

Zapis do pliku

```
ofstream of("commands.txt");
for(int i=0;i<sizeof(cmds)/sizeof(cmds[0]);i++){
    cmds[i]->write(of);
}
```

```
RL 45
FD 100
FD 10
RL 22.5
PD 0
FD 10
RL 22.5
PD 1
FD 10
RL 22.5
PD 0
FD 10
...
```



Nasz program nie podnosił pisaka na początku, stąd linia od punktu (0,0) do pierwszego punktu okręgu.

Wyrażenie `sizeof(cmds)/sizeof(cmds[0])` pozwala wyznaczyć liczbę elementów tablicy (jeżeli jej deklaracja jest widoczna). Jeżeli tablica jest przekazana do funkcji zwróci 8/8=1

Program dla żółwia

Tablica zawiera obiekty utworzone za pomocą operatora new, dla których pamięć jest przydzielona na stercie. Należy je usunąć…

```
for(int i=0;i<sizeof(cmds)/sizeof(cmds[0]);i++){
    delete cmds[i];
}
```

Odczyt poleceń z pliku

```
Command*next(istream&is){
    if(!is)return 0;
    string s;
    is>>s;
    Command *c=0;
    if(s=="FD"){
        c=new Forward();
    }
    if(s=="RL"){
        c=new Rotate();
    }
    if(s=="PD"){
        c=new ChangePenState();
    }
    if(!c)return c;
    c->read(is);
    return c;
}
```

1. Funkcja czyta symbol polecenia.
2. Następnie w zależności od symbolu tworzy obiekt odpowiedniego typu.
3. Obiekt odczytuje swoją zawartość ze strumienia: `c->read(is)`

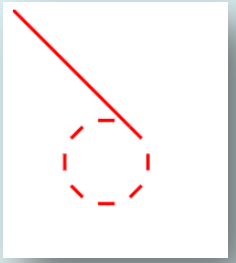
Funkcja zwraca `0` (`NULL`) jeżeli strumień zakończy się lub symbol polecenia nie zostanie rozpoznany.

Odczyt i wykonanie

```
void read_execute(){
    ifstream is("commands.txt");
    vector<Command*> cmds;
    for(;;){
        Command*c = next(is);
        if(!c)break;
        cmds.push_back(c);
    }
    Turtle t;
    for(int i=0;i<cmds.size();i++){
        t.execute(*cmds[i]);
    }
    for(int i=0;i<cmds.size();i++){
        delete cmds[i];
    }
}
```

Funkcja:

1. Otwiera strumień plikowy
2. W pętli nieskończonej odczytuje polecenia; przerywa gdy zwrócony zostanie zerowy wskaźnik.
3. Polecenia dodawane są do wektora – kontenera standardowej biblioteki C++.
4. Następnie żółw wykonuje polecenia.
5. Przy wyjściu z funkcji wektor cmds zniknie, ale nie obiekty Command na stercie. Musimy je usunąć,

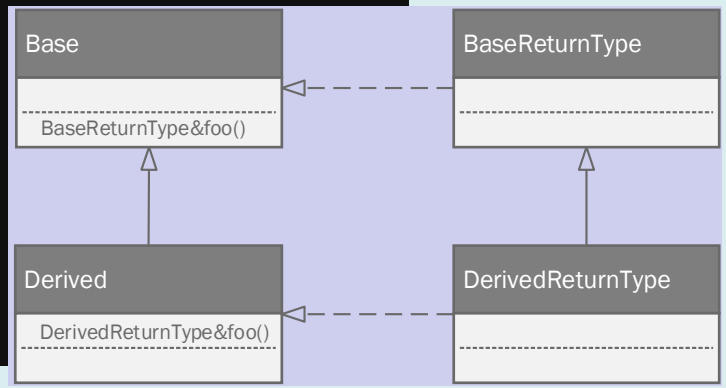


Przedefiniowanie funkcji wirtualnych

- Użycie funkcji wirtualnych narzuca pewne ograniczenia. Wskaźniki umieszczane w VTABLE kolejnych klas hierarchii muszą być tych samych typów. Stąd nie jest możliwa zmiana deklaracji funkcji wirtualnych w klasach potomnych.
- Jedynym wyjątkiem jest typ zwracanej wartości. Możliwe jest zwracanie wskaźnika lub referencji do pewnej klasy potomnej typu zwracanego w bazowej funkcji wirtualnej.

```
class BaseReturnType {};
class DerivedReturnType : public BaseReturnType {};

class Base{
    virtual BaseReturnType& foo();
};
class Derived : public Base{
    DerivedReturnType& foo();
};
```



`Derived:: foo()` zwraca wartość typu `DerivedReturnType&`. Referencja tego typu może być automatycznie zrzutowana w górę (*upcast*) do referencji typu `BaseReturnType&`.

Przedefiniowanie funkcji wirtualnych

Typowe zastosowanie:

- Base ≡ BaseReturnType
- Derived ≡ DerivedReturnType

```
class Object{
    virtual Object*clone()const;
};

class MyObject : public Object{
    MyObject*clone()const{
        return new MyObject(*this);
    }
};
```

Funkcja clone() zwraca kopię danego obiektu, dla której pamięć przydzielono na stercie.

`MyObject(*this)` to wywołanie konstruktora kopiującego. Konstruktor kopiujący może być automatycznie generowany przez kompilator lub zaimplementowany jawnie

Ponieważ klasa `MyObject` dziedziczy po `Object`, wskaźnik `MyObject*` może zostać automatycznie zrzutowany w górę – do klasy bazowej.

Funkcje wirtualne i dziedziczenie wielobazowe

Klasa dziedzicząca po kilku klasach bazowych może przedefiniowywać funkcje wirtualne występujące w różnych hierarchiach.

```
class A1{
public:
    virtual void f(){
        cout<<"A1::f"<<endl;}
    virtual void g(){
        cout<<"A1::g"<<endl;}
};
```

```
class A2{
public:
    virtual void g(){
        cout<<"A2::g"<<endl;}
};
```

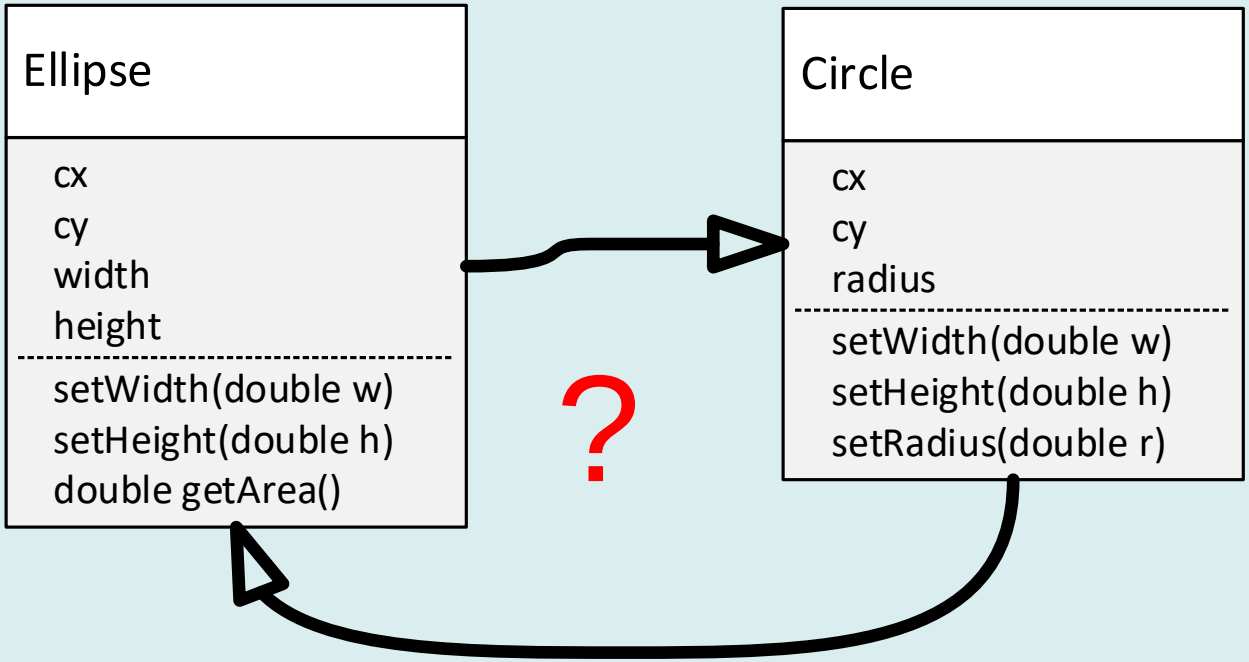
```
class B : public A1, public A2{
public:
    void f(){
        cout<<"B::f"<<endl;}
    void g(){
        cout<<"B::g"<<endl;}
};
```

```
int main(){
    A1*b1=new B();
    b1->f(); // wypisze B::f
    b1->g(); // wypisze B::g
    A2*b2=new B();
    b2->g();// wypisze B::g
}
```

LSP: zasada substytucji Liskov

Zgodnie z zasadą substytucji Barbary Liskov (Liskov Substitution Principle – LSP) jeżeli obiekty klas bazowych zostaną zastąpione obiektami klas potomnych, to zachowanie aplikacji nie powinno ulec zmianie.

Niech Φ(x) własnością obiektów typu T. Wówczas własność Φ(y) powinna być zachowana dla obiektów y typu S, gdzie S jest typem potomnym T.



LSP

```
class Ellipse{
protected:
    double width;
    double height;
    double cx;
    double cy;
public:
    Ellipse(double _cx, double _cy,
            double w, double h)
    :cx(_cx),cy(_cy),
    width(w),height(h){}
    virtual void setWidth(double w){
        width=w;}
    virtual void setHeight(double h){
        height=h;}
    virtual double getArea(){
        return 3.14*width/2*height/2;}
};
```

```
class Circle:public Ellipse{
public:
    Circle(double _cx, double _cy,
            double radius)
    :Ellipse(_cx,_cy,radius,radius){}
    virtual void setWidth(double w){
        Ellipse::setWidth(w);
        Ellipse::setHeight(w);
    }
    virtual void setHeight(double h){
        Ellipse::setWidth(h);
        Ellipse::setHeight(h);
    }
    void setRadius(double r){
        setWidth(2*r);
    }
};
```

LSP

```
void test_substitution(){
    Ellipse*tab[]{new Ellipse(0,0,1,2),new Circle(0,0.,2)};
    cout<<tab[0]->getArea()<<endl;
    cout<<tab[1]->getArea()<<endl;
    cout<<endl;

    tab[0]->setHeight(2);
    tab[0]->setWidth(4);
    tab[1]->setHeight(2);
    tab[1]->setWidth(4);
    cout<<tab[0]->getArea()<<endl;
    cout<<tab[1]->getArea()<<endl;

    delete tab[0];
    delete tab[1];
}
```

```
1.57
3.14

6.28
12.56
```

LSP – zamiana

```
class Circle{
protected:
    double radius;
    double cx;
    double cy;
public:
    Circle(double _cx, double _cy,
            double _r)
           :cx(_cx),cy(_cy),
           radius(_r){}
    virtual void setRadius(double r){
        radius=r;}
    virtual double getArea(){
        return 3.14*radius*radius;}
};
```

```
class Ellipse :public Circle{
    double radiusAux;
public:
    Ellipse(double _cx, double _cy,
            double w, double h)
            :Circle(_cx,_cy,w/2),
             radiusAux(h/2){}
    void setRadius(double r){
        radius=r;
        radiusAux=r;
    }
    virtual void setWidth(double w){
        Circle::setRadius(w/2);
    }
    virtual void setHeight(double h){
        radiusAux=h/2;
    }
    double getArea(){
        return 3.14*radius*radiusAux;}
};
```

LSP – test substytucji

```
void test_substitution(){
    Circle*tab[]{new Ellipse(0,0,1,2),new Circle(0,0.,2)};
    cout<<tab[0]->getArea()<<endl;
    cout<<tab[1]->getArea()<<endl;
    cout<<endl;

    tab[0]->setRadius(2);
    tab[1]->setRadius(2);
    cout<<tab[0]->getArea()<<endl;
    cout<<tab[1]->getArea()<<endl;

    delete tab[0];
    delete tab[1];
}
```

```
1.57
12.56

12.56
12.56
```

Interfejs

- Pod pojęciem interfejsu rozumiana jest klasa abstrakcyjna, która zawiera wyłącznie czyste funkcje wirtualne.
- Taką klasą była np. `Command`

```
class Command{
public:
    virtual void write(ostream&os)const=0;
    virtual void read(istream&is)=0;
    virtual void applyTo(Turtle&turtle)const=0;
    virtual ~Command(){}
};
```

- W innych językach, np. Java, C# wprowadzono słowo kluczowe `interface` do oznaczenia takich klas.
- Klasa może implementować kilka interfejsów (dziedziczenie wielobazowe).
- Interfejs nie powinien mieć stanu (deklarować atrybutów)

Przykład

Deklarujemy dwa interfejsy:

- IStack – dostęp LIFO:
  - push() – umieszcza wartość na stosie
  - pop() – usuwa i zwraca ostatni element
  - empty() – czy stos jest pusty
- IRandomAccess – dostęp swobodny:
  - get(int i) – zwraca i-ty element
  - size() – zwraca liczbę elementów

```
class IStack{
public:
    virtual bool push(int i)=0;
    virtual int pop()=0;
    virtual bool empty()const=0;
    //nie zaszkodzi
    virtual ~IStack(){}
};
```

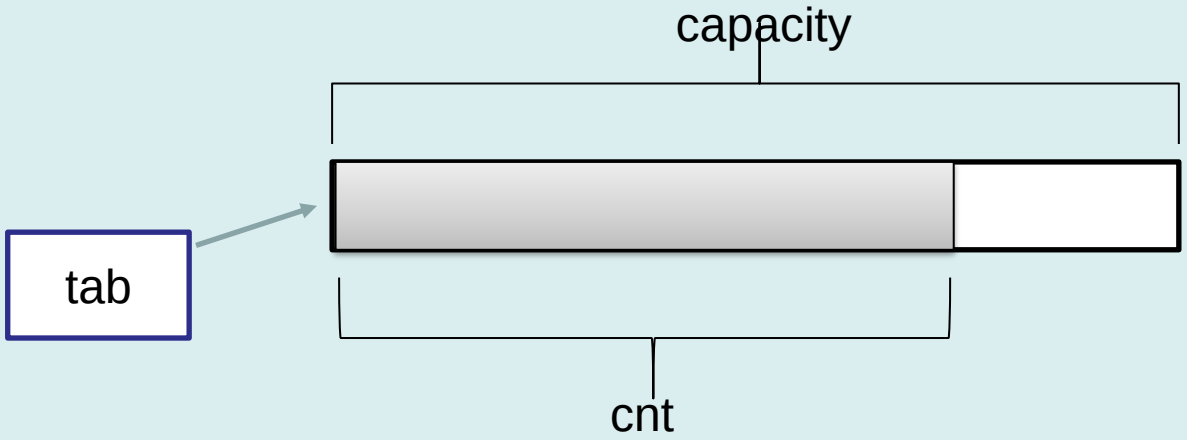
```
class IRandomAccess{
public:
    virtual int size()const=0;
    virtual int get(int i)const=0;
     //nie zaszkodzi
    virtual ~IRandomAccess(){}
};
```

Implementacja

```
class MyStack: public IStack, public IRandomAccess{
    int*tab;
    int capacity;
    int cnt;
public:
    MyStack(int _size):tab(new int[_size]),
       capacity(_size),cnt(0){}
    ~MyStack(){if (tab) delete []tab;}
    bool push(int i){
        if (cnt == capacity) return false;
        tab[cnt++]=i;
        return true;
    }
    int pop(){return tab[--cnt];}
    bool empty()const{return cnt==0;}
    int size()const{return cnt;}
    int get(int i)const{return tab[i];}
};
```

Implementacja

```
int*tab;
int capacity;
int cnt;
```



tab – wskaźnik do tablicy, dla której pamięć będzie przydzielona na stercie
capacity – pojemność (rozmiar) tablicy
cnt – licznik elementów w tablicy

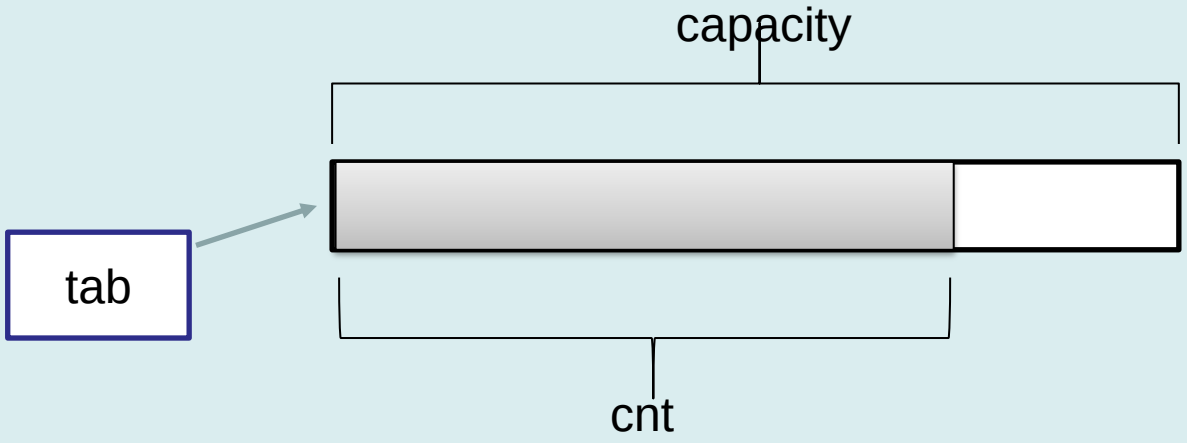
```
MyStack(int _size):tab(new int[_size]),
   capacity(_size),cnt(0){}

~MyStack(){if (tab) delete []tab;}
```

Konstruktor – tworzy tablicę o zadanym rozmiarze
Destruktor – zwalnia pamięć

Implementacja

`push()` – dodaje element i zwiększa licznik
`pop()` – zmniejsza licznik i zwraca ostatni element
`empty()` – porównuje licznik do 0




```
bool push(int i){
    if (cnt == capacity) return false;
    tab[cnt++]=i;
    return true;
}
int pop(){return tab[--cnt];}
bool empty()const{return cnt==0;}

int size()const{return cnt;}
int get(int i)const{return tab[i];}
```

Funkcje korzystające z interfejsów:

- `fillStack()` i `emptyStack()` „widzi” tylko stos
- `iterate()` realizuje dostęp swobodny `IRandomAccess`

```
void fillStack(IStack&s){
    for(int i=0;i<10;i++)s.push(i);
}

void emptyStack(IStack&s){
    while(!s.empty())cout<<s.pop()<<" ";
}

void iterate(IRandomAccess&s){
    for(int i=0;i<s.size();i++){
        cout<<s.get(i)<<" ";
    }
}
```

Wywołanie

```
int main(){
    MyStack ms(100);
    fillStack(ms);

    iterate(ms);
    cout<<endl;
    emptyStack(ms);
}
```

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
```

- Zaletą interfejsów jest separacja abstrakcyjnej specyfikacji od konkretnej implementacji.
- Jeżeli w miejsce klasy `MyStack` wstawimy klasę implementującą te same interfejsy `IStack` i `IRandomAccess`, wynik nie zmieni się.

Dziedziczymy po klasie vector<int>

```
class StackAsVector:
        public vector<int>,
        public IStack,
        public IRandomAccess{
public:
    bool push(int i){
        push_back(i);
        return true;
    }
    int pop(){
        int r = back();
        pop_back();
        return r;
    }
    bool empty()const{return vector<int>::empty();}
    int size()const{return vector<int>::size();}
    int get(int i)const{return at(i);}
};
```

Klasa `StackAsVector` dziedziczy po kontenerze standardowej biblioteki `std::vector<int>`

Metody obu interfejsów są implementowane z wykorzystaniem funkcji kontenera.

Metody `empty()` i `size()` pokrywają się, ale nie mogą zostać odziedziczone (nie są wirtualne w kontenerze `vector`).

vector<int> jako komponent

```
class StackUsingVector:
          public IStack, public IRandomAccess{
    vector<int> tab;
public:
    bool push(int i){
        tab.push_back(i);
        return true;
    }
    int pop(){
        int r = tab.back();
        tab.pop_back();
        return r;
    }
    bool empty()const{return tab.empty();}
    int size()const{return tab.size();}
    int get(int i)const{return tab[i];}
};
```

Klasa `StackUsingVector` wykorzystuje kontener `std::vector<int>` jako komponent

Większość metod implementowana jest przez delegację: `empty()` woła `tab.empty()`, `size()` woła `tab.size()`, `get()` woła `operator[]`, itd.