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: 16.05.2020

11. Wielokrotne wykorzystanie kodu. Szablony

Wielokrotne wykorzystanie kodu

Implementacje kontenerów danego rodzaju (np.: list, wektorów) różniących się jedynie typem przechowywanych obiektów są najczęściej bardzo podobne.

W języku C++ można wskazać co najmniej trzy techniki wielokrotnego wykorzystania stworzonego kodu kontenera.

- kopiowanie kodu
- skorzystanie z dziedziczenia
- użycie szablonów

Kopiowanie kodu

Kopiowanie kodu i zmiana typów przechowywanych obiektów jest techniką najprostszą. Ze względu na konieczność ręcznej modyfikacji kodu łatwo jest wprowadzić wiele błędów. Technika powiększa rozmiary kodu wykonywalnego programów.

```
class Vector{
 // ...
    double*start;
    double*end;
// ...
public:
    bool pushFront(double v);
    bool pushBack(double v);
    bool insertAt(int where,double v);
    bool deleteFront();
    bool deleteBack();
    double&elementAt(int i)const;
 // ...
```

Dziedziczenie

Jest to rozwiązanie typowe dla języków obiektowych typu Java, a także dla wczesnych implementacji bibliotek w C++. Zakłada się, że drogą do wielokrotnego użycia kodu kontenera jest dziedziczenie.

- Kontener implementowany jest w ten sposób, by przechowywać obiekty klasy bazowej (`Object`, `CObject`, itd.). **Kontener przechowuje wskaźniki do elementów**.
- Sam **kontener jest również klasą potomną klasy `Object`**, stąd możliwa jest implementacja skomplikowanych struktur, w których kontenery mogą zawierać inne kontenery.
- Chcąc umieścić własne dane w kontenerze należy stworzyć klasę dziedziczącą po klasie `Object` lub innej klasie, której przodkiem jest `Object`.

Dziedziczenie

```
class Object
{
public:
    virtual ~Object(){}
};
```

- `Object**start` -- tablica zawiera wskaźniki do obiektów klasy `Object` lub potomnych.
- Kontener może przechowywać obiekty różnych typów.
- Pamięć dla obiektów przydzielona jest na stercie.

```
class VectorObj : public Object
{
protected:
    Object**start;
    Object**end;
    int capacity;
    void free() {
        if (start!=0) {
            for (int i = 0; i<getSize();i++)
                delete start[i];
            delete start;
        }
        start=end=0;
    }
public:
    VectorObj(){start=end=0;capacity=0;}
    virtual ~ VectorObj(){free();}
    //...
```

Dziedziczenie

W kontenerze nie można przechowywać zmiennych typów wbudowanych. Konieczne jest obiektowe opakowanie.

```
class Int: public Object
{
public:
    int value;
    Int(int v=0){value=v;}
    operator int(){return value;}
};


void foo(){
    VectorObj v;
    for(int i=0;i<10;i++)v.pushBack(new Int(i));
}
```

Szablony

Szablony

- Szablony (*ang*. *templates*) są mechanizmem, który w języku C++ zyskał bardzo szerokie uznanie, zwłaszcza po pojawieniu się około 1995 roku standardowej biblioteki C++, znanej także jako STL (*Standard Template Library*).
- Szablony wyparły z języka C++ kontenery obiektowe:
  - Konieczność ograniczenia się do jednej hierarchii klas
  - Kontenery obiektowe są niewydajne dla typów wbudowanych (int, char, double)

Szablony

- Idea użycia szablonów jest nieco podobna do wykorzystania makr preprocesora. W pierwszym wydaniu książki *C++ Programming Lanuguage*, Stroustrup zaproponował implementację kontenerów właśnie za pomocą makr preprocesora.
- W przypadku szablonów - zamiast mechanizmu dziedziczenia - następuje wielokrotne użycie *kodu źródłowego*.
- Kontenery zdefiniowane w postaci szablonów nie zawierają wskaźników do obiektów potomnych klasy `Object`, ale **nieokreślone parametry**, które w momencie użycia szablonu są zastępowane przez kompilator odpowiednimi wartościami typów lub wartościami liczbowymi.

Makra preprocesora

- Makra preprocesora pozwalają na wielokrotnie wstawienie do kodu instrukcji, których działanie może przypominać wywołanie funkcji lub procedury.
- Podczas działanie preprocesora następuje substytucja tekstu bez sprawdzania typów. Pozwala to na zdefiniowanie wzorców kodu, który może działać dla różnych typów danych.

Makra preprocesora - przyklad

```
#define min(a,b)    (a<b?a:b)

#define sum(table,size,result)                  \
{                                               \
   for(int i=0;i<size;i++)result+=table[i];     \
}

#define duplicate(table,size,T,result)          \
{                                               \
   result=new T[size];                          \
   for(int i=0;i<size;i++)result[i]=table[i];   \
}
```

- Znak \ to kontynuacja wiersza (wstępne przetwarzanie tekstu przed fazą preprocesora)
- Makro preprocesora musi być zdefiniowane w jednej linii

Makra preprocesora - przyklad

```
int x=1,y=2;
int m= min(x,y) ; // (x<y?x:y)

float t[3]={1.1F,200,-45};
float result=0;
sum(t,3,result);
float *tcopy;
duplicate(t,3,float,tcopy);

char s[]="Ala ma kota";
char*copy;
duplicate(s,strlen(s)+1,char,copy);
```

- Makro `min` będzie działało poprawnie dla dowolnego typu, dla którego zdefiniowany jest operator <.
- Makro `sum` dla typu, który definiuje operator +=
- Makro `duplicate`, dla typu z poprawnie działającym operatorem przypisania.

Składnia szablonów

Szablony oferują znacznie większe możliwości, niż makra preprocesora. Pozwalają na zdefiniowanie parametryzowanych wzorców funkcji i klas.

Składnia

```
template < [typelist] [, [ arglist ]] > declaration,
```

1. `typelist` – jest listą typów użytych w szablonie; definicje typów oddzielone są przecinkami i mają postać:
   - **`class`** identifier lub
   - **`typename`** identifier
2. `arglist` – jest listą argumentów (analogiczną do argumentów funkcji)
3. `declaration` – jest deklaracją funkcji lub klasy, w której zazwyczaj używane są identyfikatory zdefiniowane w liście typów i argumentów.

Przykład

```
template<class T, int size>
class Array
{
public:
    T buffer[size];
    operator const T*()const{return buffer;}
    operator T*(){return buffer;}
};
```

Instancjacja szablonów

- Wywołanie funkcji lub utworzenie obiektu klasy zdefiniowanej w szablonie wymaga podania parametrów szablonu: nazw typów lub wartości argumentów (obiektów lub wartości liczbowych).
- Kod funkcji i definicje klas nie są generowane w trakcie wykonania programu, lecz w trakcie kompilacji, na podstawie statycznej analizy typów parametrów użytych w wywołaniu.
- Proces przypisywania parametrów szablonowi nazywany *instancjacją* szablonu. Dla każdego zestawu użytych parametrów generowana jest pojedyncza *instancja* kodu funkcji lub klasy.

```
void main()
{
    Array<char,256> string;
    strcpy(string,"Text");
    cout<<(const char*)string<<endl;
}
```

Szablony funkcji

- Szablon funkcji definiuje nieskończony zbiór funkcji, którego elementy mogą zostać utworzone w wyniku instancjacji.
- W definicji szablonu funkcji składowa *`declaration`* jest deklaracją funkcji parametryzowaną listą typów i argumentów szablonu.
- Wygenerowane funkcje są dołączane do kodu wynikowego programu.

Szablony funkcji - przykład

```
template<class T>
T sum(const T*table, int size) {
    T result;
    for(int i=0;i<size;i++)result+=table[i];
    return result;
}

template<class T>
T*duplicate(const T*table, int size) {
    T*result=new T[size];
    for(int i=0;i<size;i++)result[i]=table[i];
    return result;
}

template<class T>
T min(T a, T b){
    return a<b?a:b;
}
```

Instancjacja

Proces instancjacji (czyli generowania kodu funkcji) może następować automatycznie w wyniku znalezienia przez kompilator jej wywołania. Typ funkcji jest określony na podstawie typu użytych argumentów.

```
int main()
{
    float t[3]={1.1F,200,-45};
    float result= sum(t,3);
    // sum<float>(t,3)
    float*fc=duplicate(t,3);
    // duplicate<float> (t,3)
    char s[]="Ala ma kota";
    char*copy= duplicate(s, strlen(s)+1);
    // duplicate<char>(s, strlen(s)+1)
}
```

Instancjacja

Brak jawnej specyfikacji parametrów szablonu jest wygodny – typ funkcji do wygenerowania pozostawiany jest kompilatorowi, ale równocześnie może prowadzić do niejednoznaczności. W takim przypadku raportowane są błędy.

Przykład

```
float a = min(1.0f,2.1);
```

Pierwszy z parametrów jest typu `float`, a drugi typu `double`. Kompilator nie jest w stanie dopasować argumentów, do zdefiniowanego wcześniej szablonu funkcji

```
template<class T> T min(T a, T b)
```

i tym samym automatycznie wygenerować jej instancji.

Jawna instancjacja

Instancja funkcji może być zdefiniowana jawnie przez podanie parametrów, dla których powinien być wygenerowany kod.

Składnia: `identifier<arglist>`

`identifier` – identyfikator funkcji zdefiniowanej w szablonie

`arglist` – lista argumentów (nazw typów i obiektów) oddzielonych przecinkami.

Przykład

```
float a = min<float>(1.0f,2.1);
```

Wygenerowana zostanie funkcja

```
float min(float,float);
```

Wołanie funkcji zostanie prawidłowo skompilowane (z ostrzeżeniem o możliwym obcięciu parametru 2.1 typu `double`).

Szablony klas

- Szablony klas definiują nieskończony zbiór klas, które mogą powstać w procesie instancjacji przez przypisanie parametrom szablonu identyfikatorów typów i argumentów będących obiektami.
- Szablony klas są mechanizmem ogólnego przeznaczenia, jednak najczęściej ich rolą jest zdefiniowanie kodu kontenera, który może być wielokrotnie wykorzystany przy generacji kontenerów zdolnych przechowywać obiekty określonego typu.

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
class Vector
{
    friend class Iterator<T>;
    T*start;
    T*end;
    int capacity;
protected:
    virtual void copy(const Vector&other);
    void move(Vector&other);
    virtual void free();
public:
    Vector(){start=end=0;capacity=0;}
    Vector (const Vector &other){copy(other);}
    Vector (Vector &&other){move(other);}
    ~Vector(){free();}
 // kontynuacja na następnym slajdzie
```

Szablon klasy Vector

```
    Vector &operator=(const Vector &other)  {
        if(&other!=this){free();copy(other);}
        return *this;
    }
    Vector &operator=(Vector &&other)  {
        if(&other!=this){free();move(other);}
        return *this;
    }
    int getSize()const{return end-start;}
    int getCapacity()const{return capacity;}
    bool reserve(int newCapacity);
    bool pushBack(const T&t);
    bool pushFront(const T&t);
    bool removeAt(int i);
    T&operator[](int index){
        if(index<0||index>=(end-start)) throw -1;
        return start[index];
    }

};
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
void Vector<T>::copy(const Vector &other)
{
    start=end=0;capacity=0;
    if(other.getSize()){
        start = new T[other.capacity];
        capacity=other.capacity;
        for(int i=0;i<other.getSize();i++){
            start[i]=other.start[i];
        }
        end= start+other.getSize();
    }
}
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
void Vector<T>::move(Vector &other)
{
    this->start = other.start;
    this->end = other.end;
    this->capacity = other.capacity;
    other.start=other.end=0;
    other.capacity = 0;
}

template<class T>
void Vector<T>::free()
{
    if(start)delete []start;
    start=0;capacity=0;
}
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
bool Vector<T>::reserve(int newCapacity)
{
    if(newCapacity<capacity)return false;
    T*tmp=new T[newCapacity];
    if(capacity){
        for(int i=0;i<getSize();i++)tmp[i]=start[i];
        delete []start;
    }
    end=tmp+(end-start);
    capacity=newCapacity;
    start=tmp;
    return true;
}
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
bool Vector<T>::pushBack(const T&t)
{
    if(capacity==getSize()
            && !reserve(capacity==0?16:2*capacity))
        return false;
    *end=t;
    end++;
    return true;
}
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
bool Vector<T>::pushFront(const T&t)
{
    if(capacity==getSize()
                  && !reserve(capacity==0?16:2*capacity))
        return false;
    end++;
    for(int i=getSize();i>0;i--){
        start[i]=start[i-1];
    }
    *start=t;
    return true;
}
```

Szablon klasy Vector

```
template<class T>
bool Vector<T>::removeAt(int i)
{
    if(i>=getSize())return false;
    for(;i<getSize();i++){
        start[i]=start[i+1];
    }
    end--;
    return true;
}
```

Szablon klasy Iterator

```
template<class T>
class Iterator
{
    const Vector<T>&vector;
    T*current;
public:
    Iterator(const Vector<T>&v)
            :vector(v),current(v.start){}
    Iterator&operator++(){current++;return *this;}
    Iterator operator++(int){
       Iterator tmp = *this;
       ++*this;
       return tmp;
    }
    bool good()const{return current<vector.end;}
    T&get()const{return *current;}
};
```

Instancjacja int

```
void test_int()
{
    Vector<int> v;
    for(int i=0;i<10;i++){
        v.pushBack(i);
    }
    Vector<int> v2=v;
    v2.pushBack(1000000);

    for(int i=0;i<v.getSize();i++){
        cout<<v[i]<<" ";
    }
    cout<<endl;
    for(Iterator<int> it(v2);it.good();++it)
        cout<<it.get()<<" ";
}
```

Wynik

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1000000

Instancjacja int

```
void test_int_remove()
{
    Vector<int> v;
    for(int i=0;i<20;i++){
        v.pushBack(i);
        v.pushFront(i);
    }

    for(int i=0;i<v.getSize();i++){
        if(v[i]%2==0)v.removeAt(i);
    }

    for(int i=0;i<v.getSize();i++){
        cout<<v[i]<<" ";
    }
}
```

```
19 17 15 13 11 9 7 5 3 1 0 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19
```

Jednak jedno 0 zostało?

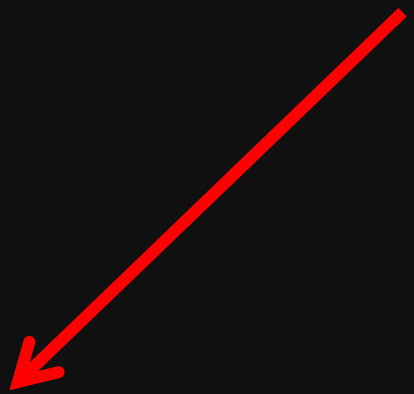
Instancjacja int

```
void test_int_remove()
{
    Vector<int> v;
    for(int i=0;i<20;i++){
        v.pushBack(i);
        v.pushFront(i);
    }

    for(int i=0;i<v.getSize();i++){
        if(v[i]%2==0)v.removeAt(i--);
    }

    for(int i=0;i<v.getSize();i++){
        cout<<v[i]<<" ";
    }
}
```

Po usunięciu zmniejszamy kursor, tak aby sprawdzić następny element



19 17 15 13 11 9 7 5 3 1 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19

Jednak jedno 0 zostało?

Instancjacja typem użytkownika

```
typedef struct {double x;double y;}point;

void test_point(){
    Vector<point> plot;
    for(double t=0;t<10;t+=.0001){
        point p;
        double d = exp(cos(t))-2*cos(4*t)-pow(sin(t/12),5);
        p.x=sin(t)*d;
        p.y=cos(t)*d;
        plot.pushBack(p);
    }
    for(int i=0;i<10;i++){
        cout<<"("<<plot[i].x<<" "<<plot[i].y<<")"<<endl;
    }
}
```

```
(0 0.718282)
(7.18282e-05 0.718282)
(0.000143656 0.718282)
(0.000215485 0.718283)
…
```

Tablica 2D

```
void test_2d(){
    Vector<Vector<int>> tab;
    int cols = 8;
    int rows = 16;
    for(int i=0;i<rows;i++){
        Vector<int> row;
        for(int j=0;j<cols;j++){
            row.pushBack(i*cols+j);
        }
        tab.pushBack(row);
    }
//...
```

- Do `tab` dodawanych jest 16 obiektów typu `Vector`. Każdy zawiera 8 elementów.
- W efekcie powstaje struktura danych o interfejsie tablicy dwuwymiarowej. Jej elementy to `tab[i][j]`, gdzie `i` to numer wiersza, a `j` to numer kolumny.

Tablica 2D

```
//...
    for(int i=4;i<rows;i++) {
        for (int j = 0; j < 8; j++) {
            cout << (char) tab[i][j];
        }
        cout<<"   ";
        for (int j = 0; j < 8; j++) {
            cout << setw(3)<<tab[i][j]<<" ";
        }
        cout << endl;
    }
}
```

!"#$%&'	32	33	34	35	36	37	38	39
()*+,-./	40	41	42	43	44	45	46	47
01234567	48	49	50	51	52	53	54	55
89:;<=>?	56	57	58	59	60	61	62	63
@ABCDEFG	64	65	66	67	68	69	70	71
HIJKLMNO	72	73	74	75	76	77	78	79
PQRSTUVW	80	81	82	83	84	85	86	87
XYZ[\]^_	88	89	90	91	92	93	94	95
`abcdefg	96	97	98	99	100	101	102	103
hijklmno	104	105	106	107	108	109	110	111
pqrstuvw	112	113	114	115	116	117	118	119
xyz{|}~□	120	121	122	123	124	125	126	127

Struktura kodu szblonów

- **Proces instancjacji wymaga, aby wszystkie definicje klas i funkcji były widoczne w danej jednostce kompilacji.** Dotyczy to zarówno metod inline i standardowych metod klas. Wzorzec funkcji może być zdefiniowany po wystąpieniu odwołanie jednakże wcześniej musi być widoczna deklaracja prototypu funkcji.
- Równocześnie, **w danej jednostce kompilacji nie mogą być widoczne dwie definicje szablonu klasy lub definicje funkcji.** (Prototypy funkcji i deklaracje klas bez podania ich definicji mogą być podane wielokrotnie.)
- Kompilator i linker generują zawsze **unikalny kod instancji klas i funkcji**, nawet, jeżeli proces instancjacji zachodzi w różnych jednostkach kompilacji. Oznacza to, że zostanie wygenerowana dokładnie jedna instancja klasy `Vector<int>`, nawet, jeżeli była ona wykorzystywana w dwóch różnych modułach.

Struktura kodu szblonów

Typowym rozwiązaniem jest umieszczenie jednej lub kilku definicji szablonów w pliku nagłówkowym oraz zabezpieczenie ich przed wielokrotnym włączeniem do danej jednostki kompilacji za pomocą instrukcji preprocesora:

```
#if !defined _Vector_h_
#define _Vector_h_
//deklaracja parametryzowanej klasy Vector<T>
//definicje parametryzowanych metod klasy Vector<T>
//definicja parametryzowanej klasy Iterator<T>
// inne definicje funkcji
#endif
```

Błędy instancjacji szablonów

- Kłopotliwą cechą szablonów jest to, że błędy raportowane są dopiero w momencie instancjacji (czyli generacji funkcji lub klas dla konkretnych wartości parametrów).
- Proces skanowania definicji szablonów przed ich instancjacją ogranicza się w zasadzie do sprawdzenia poprawnej liczby nawiasów otwierających i zamykających, stąd możliwe jest skompilowanie kodu, w którym pojawi się błędna definicja klasy lub funkcji:

```
template<class T>
void fooerr()
{
        if;
}
```

Błędy instancjacji szablonów

- Kompilator raportuje także błędy instancjacji, jeżeli typ/klasa będąca parametrem nie realizuje pewnego oczekiwanego interfejsu.

```
template <class T>
int compare(const T&a,const T&b){
    if(a<b)return -1;
    if(a==b)return 0;
    return 1;
}

class C{};

int main()
{
    cout<<compare<int>(1,2)<<endl; //ok
    cout<<compare<C>(C(),C()); // error
}
```

Szablony i dziedziczenie

Klasy wygenerowane przez instancjację szablonów mogą stać się klasami bazowymi dla klas zdefiniowanych przez użytkownika.

```
template <class T,
    int size=100>
class A {
public:
    virtual void foo()=0;
    T buf[size];
};
```

```
class B:public A<int>
{
public:
    void foo(){
        cout<<"B::foo()"<<endl;};
};

int main(){
    A<int>*ptr=new B();
    ptr->foo();
}
```

Relacja dziedziczenia pomiędzy parametrami szablonów klas nie przenosi się jednak na dziedziczenie instancji wygenerowanych klas:

- `Vector<Linestring>` nie dziedziczy po `Vector<GeoObject>;`
- `Vector<Linestring*>` nie dziedziczy po `Vector<GeoObject*>`

Kontener zawierający wskaźniki

- Parametrem instancjacji szablonów może być typ wskaźnikowy

```
void test_ptrs(){
    Vector<const char*> txts;
    txts.pushBack("Stoi na stacji");
    txts.pushBack("Lokomotywa");
    txts.pushBack("I pot z niej spływa");
    txts.pushBack("Tłusta oliwa");
    for(Iterator<const char*> it(txts);it.good();++it){
        cout<<it.get()<<endl;
    }
}
```

```
Stoi na stacji
Lokomotywa
I pot z niej spływa
Tłusta oliwa
```

W tym przypadku parametrem są wskaźniki do tekstów umieszczonych w pamięci statycznej (bloku danych).

Kontener zawierający wskaźniki

Częściej będą to wskaźniki do obiektów, dla których pamięć przydzielana jest na stercie.

Funkcja `str_alloc` sporządza kopię tekstu na stercie:

- Oblicza długość tekstu i alokuje pamięć
- Kopiuje tekst

```
char*str_alloc(const char*t){
    char*ptr = new char[strlen(t)+1];
    strcpy(ptr,t);
    return ptr;
}
```

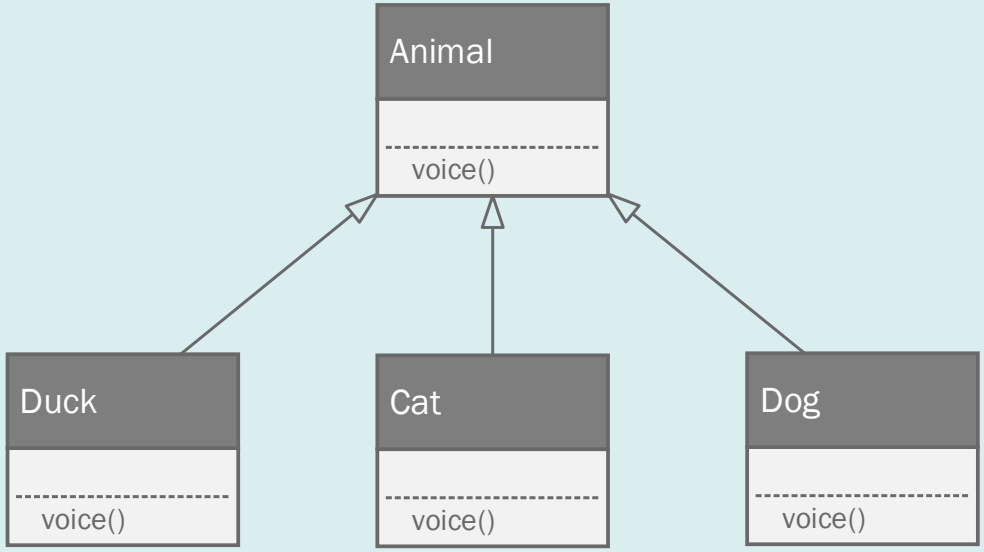
Kontener zawierający wskaźniki

```
void test_alloc_ptrs(){
    Vector<char*> txts;
    txts.pushBack(str_alloc("Stoi na stacji"));
    txts.pushBack(str_alloc("Lokomotywa"));
    txts.pushBack(str_alloc("I pot z niej spływa"));
    txts.pushBack(str_alloc("Tłusta oliwa"));
    for(Iterator<char*> it(txts);it.good();++it){
        cout<<it.get()<<endl;
    }

    // Konieczne zwolnienie pamięci

    for(Iterator<char*> it(txts);it.good();++it){
        delete it.get();
    }
}
```

Hierarchia klas



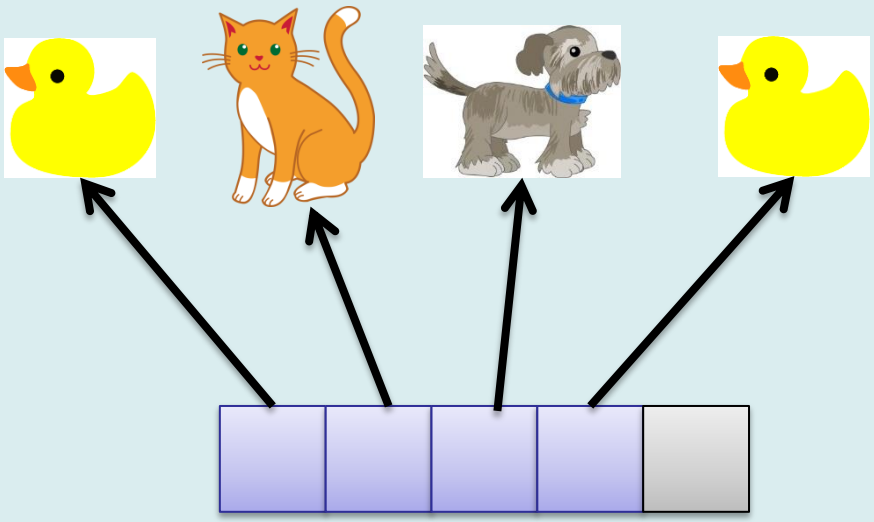

```
class Animal{
public:
    virtual void voice()=0;
};
```

```
class Dog: public Animal{
public:
    virtual void voice(){
        cout<<"hau-hau ";
    }
};

class Duck : public Animal{
public:
    virtual void voice(){
        cout<<"kwak-kwak ";
    }
};

class Cat: public Animal{
public:
    virtual void voice(){
        cout<<"miau-miau ";
    }
};
```

Kontener zawierający wskaźniki



- Zoo jest klasą potomną `Vector<Animal*>`. Przechowuje wskaźniki do obiektów, dla których pamięć jest przydzielana na stercie.
- Zoo jest właścicielem obiektów.
- **Minimalne wymagania to implementacja destruktora**.

```
class Zoo:public Vector<Animal*>{
public:
    ~Zoo(){
        for(int i=0;i<getSize();i++)
            delete (*this)[i];
    }
};
```

Wersja 1

Kontener zawierający wskaźniki

Przedefiniowując funkcje `free()` i `copy()` można również zapewnić poprawną implementację konstruktora kopiującego i operatora przypisania.


```
class Zoo:public Vector<Animal*>{
protected:
    void free();
    void copy(const Zoo&other);
public:

};

void Zoo::free(){
    for(int i=0;i<getSize();i++)delete (*this)[i];
    Vector<Animal*>::free();
}
```

Kontener zawierający wskaźniki

```
void Zoo::copy(const Zoo&other){
    Vector<Animal*>::copy(other);
    for(int i=0;i<getSize();i++){
        Animal*a = (*this)[i];
        if(typeid(*a)==typeid(Duck)){
            a=new Duck(*(Duck*)a);
        }
        else if(typeid(*a)==typeid(Cat)){
            a=new Cat(*(Cat*)a);
        }
        else if(typeid(*a)==typeid(Dog)){
            a=new Dog(*(Dog*)a);
        }
        else throw -1;
        (*this)[i]=a;
    }
}
```

Operator `typeid` pozwala na sprawdzenie, czy obiekt należy do danej klasy.

Jeżeli a jest kaczką (`Duck`) to tworzona jest kopia obiektu przez wywołanie konstruktora kopiującego.
To samo dla innych typów.

Test

```
void test_zoo(){
    Zoo zoo;
    zoo.pushBack(new Duck());
    zoo.pushBack(new Cat());
    zoo.pushBack(new Dog());
    zoo.pushBack(new Duck());
    for(Iterator<Animal*> it(zoo);it.good();++it){
        it.get()->voice();
    }
    cout<<endl;

    Zoo anotherZoo;
    anotherZoo = zoo;
    anotherZoo.pushBack(new Cat());
    for(Iterator<Animal*> it(anotherZoo);it.good();++it){
        it.get()->voice();
    }
    cout<<endl;
}
```

kwak-kwak miau-miau hau-hau kwak-kwak
kwak-kwak miau-miau hau-hau kwak-kwak miau-miau