Plan

- ★ Programowanie obiektowe w C++
- ★ Projektowanie obiektowe
- ★ Różne technologie obiektowe

Język C++ – literatura

- ★ Bjarne Stroustrup ”Język C++”, WNT 2002
- ★ Stanley B. Lippman, Josee Lajoie ”Podstawy języka C++”, WNT 2001
- ★ Specyfikacja standardu języka C++ – „draft” – 2.12.1996
- ★ SGI Standard Template Library Programmer’s Guide
  `http://www.sgi.com/tech/stl/`

Podstawowe różnice pomiędzy C a C++

Komentarze

```
1    x = y; /* stary - może być wieloliniowy */
2    y = z; // nowy - do końca linii
```

Deklaracje i definicje

- ★ W C++ **nie wolno** używać niezadeklarowanych funkcji
- ★ Szczególnie istotne staje się dbanie o pliki nagłówkowe
- ★ Deklaracje wewnątrz funkcji nie muszą występować bezpośrednio po klamerce otwierającej - mogą pojawiać się wewnątrz kodu
  - ▶ `for (int i=0; i<n; i++) ...`

Podstawowe różnice pomiędzy C a C++

Deklaracje struktur

★ tworzą „pełnoprawne” typy (nie potrzeba **`typedef`**):
Przy następującej deklaracji typu:

```
1 struct DwaPola {
2   int pole1;
3   double pole2;
4 };
```

w języku C zmienne deklarujemy przez:

```
1 struct DwaPola x;
```

a w języku C++ można przez:

```
1 DwaPola x;
```

Podstawowe różnice pomiędzy C a C++

Referencje (typ &)

★ zmienne referencyjne – odnośniki do innych zmiennych, muszą być od razu inicjowane:

```
1 int x;
2 int &refx = x;
3 double &cos = nazwaStr.nazwaPola->iJeszczeCos;
```

★ „trzeci" sposób przekazywania argumentów do funkcji

★ w zapisie jak zwykłe przekazanie przez wartość, w działaniu jak przekazanie adresu do zmiennej

★ podobne funkcjonowanie jak w przypadku Pascal'owego przekazywania argumentu przez zmienną

Referencje (typ &) - Przykład

W C zawsze przez wartość (wartością może być wskaźnik):

```
1 void swap(int x, int y)
2 {
3   int z = x;
4   x = y;
5   y = z;
6 }
```

```
1 void swap(int *x, int *y)
2 {
3   int z = *x;
4   *x = *y;
5   *y = z;
6 }
```

W C++ można tak:

```
1   void swap(int &x, int &y)
2   {
3     int z = x;
4     x = y;
5     y = z;
6   }
```

Podstawowe różnice pomiędzy C a C++

Domyślne wartości argumentów funkcji

★ deklaracja

```
1 Wielomian Pochodna(Wielomian fun, int ktora=1);
```

★ definicja

```
1 Wielomian Pochodna(Wielomian fun, int ktora) {
2   if (ktora>1)
3     return Pochodna(Pochodna(fun, ktora-1));
4   else
5     for (int i=Stopien(fun); i>0; i--)
6       ...
7 }
```

★ wartość domyślną można podać w definicji o ile nie było deklaracji

★ jeśli pewien argument ma wartość domyślną, to muszą ją mieć również kolejne argumenty

Klasy i obiekty

★ definicja, pola i funkcje (metody)

```
1 #define MAX_STOPIEN 100
2 class Wielomian
3 {
4   int st;
5   double wsp[MAX_STOPIEN+1];
6   Wielomian Pochodna(int ktora=1);
7 };
```

★ definicje metod

```
1 Wielomian Wielomian::Pochodna(int ktora)
2 {
3   if (ktora == 1)
4     for (int i=st; i>0; i--)
5       ...
6 }
```

Modyfikatory dostępu

★ dostęp do wnętrza klasy (information hiding): **public**, **protected**, **private**

```
1  class Wielomian
2  {
3    private :
4      int st;
5      double wsp[MAX_STOPIEN+1];
6
7    public :
8      int Stopien() {return st;}
9      Wielomian Pochodna(int ktora);
10 };
11
12 Wielomian w;    // deklaracja w zewnętrznej funkcji
13 w.st;           // nie wolno
14 w.Stopien();    // czemu nie
```

Struktury – też klasy

★ struktury to klasy o publicznym dostępie – w klasach domyślny modyfikator dostępu to **private**

```
1 struct nazwa
2 {
3   ...
4 };
```

==

```
1 class nazwa
2 {
3 public :
4   ...
5 };
```

★ struktury z modyfikatorami dostępu niczym nie różnią się od klas

Początek projektowania obiektowego

Przykład: Model silnika samochodu wraz z niezbędnymi okolicami

Obiekty – części stanowiące odrębną całość z pewną wyraźnie określoną funkcjonalnością:

- ★ akumulator
- ★ stacyjka
- ★ rozrusznik
- ★ silnik
  - ► koło zamachowe
  - ► wał korbowy
  - ► popychacze, zawory, cylindry, . . .
- ★ alternator
- ★ . . .

Początek projektowania obiektowego – c.d.

Zadania klas

★ Wyodrębnienie osobnych elementów funkcjonalnych

★ Zamknięcie w jedną całość wartości opisujących obiekt i metod funkcjonowania obiektu

Przykład: stacyjka

- ► pozycja kluczyka
- ► funkcja zmiany położenia kluczyka – `stacyjka.przełącz()`:
  - przekaż prąd układowi zapłonu – `układZapłonu.zasil()`
  - przekaż prąd rozrusznikowi – `rozrusznik.zasil()`

★ Możliwość wielokrotnego użycia klasy – wiele podobnych obiektów

Przykład: cylindry, korbowody, tłoki, zawory, świece zapłonowe, przekaźniki

★ Ułatwienie projektowania aplikacji – dziel i zwyciężaj – wyodrębniaj klasy/obiekty i implementuj zredukowany zakres funkcji

Konstruktory i destruktory

★ Konstruktory, destruktory, konstruktory kopiujące – tworzą i likwidują obiekty

- ▶ konstruktorów może być wiele (różne konteksty), a destruktor zawsze tylko jeden
- ▶ konstruktor = metoda o nazwie takiej jak nazwa klasy
- ▶ destruktor = metoda o nazwie składającej się z tyldy (~) i nazwy klasy
- ▶ konstruktory mogą być prywatne!

★ cykl życia obiektu

$$\text{przydzielenie pamięci} \rightarrow \text{konstrukcja} \rightarrow \cdots$$
$$\cdots \rightarrow \text{destrukcja} \rightarrow \text{zwolnienie pamięci}$$

Konstruktory i destruktor klasy wielomianów

```
1  class Wielomian
2  {
3  private :
4    int st;
5    double wsp[MAX_STOPIEN+1];
6  public :
7    Wielomian Pochodna(int ktora);
8    Wielomian();                          // Konstruktor
9    Wielomian(int st, double *wsp); // Konstruktor
10   Wielomian(Wielomian &); // Konstruktor kopiujący
11   ~Wielomian();                 // Destruktor
12 };
```

Konstruktory c.d.

```
1  void DeklaracjeWielomianow(void)
2  {
3    double tab[] = {2, 5, 16, 0, 12, 4};
4    int n = sizeof(tab)/sizeof(*tab);
5    Wielomian w1;                 // konstruktor bezargumentowy
6    Wielomian w2(n, tab);         // konstruktor z argumentami
7    Wielomian w3(w2);             // konstruktor kopiujący
8    Wielomian w4 = w2;            // też konstruktor kopiujący
9    ...
10 }
```

Destruktory wołane są automatycznie w odpowiednim czasie – tutaj na zakończenie funkcji `DeklaracjeWielomianow`.

Wskaźnik this

★ wskaźnik **this** to wskaźnik do obiektu na którym zawołano daną metodę (do wykorzystania tylko w metodach klas)

```
1  Wielomian &Wielomian::RazyStala(double stala)
2  {
3    for (int i=0; i<=st; i++)
4      wsp[i] *= stala;
5    return *this;
6  }
7
8  main()
9  {
10   double wsp[] = {3.0, 2.0, 1.0};
11   Wielomian w(sizeof(wsp)/sizeof(*wsp), wsp);
12   w.RazyStala(2).RazyStala(3);
13   Wielomian w2 = w.Pochodna();
14 }
```

Wskaźnik this

★ „Odkrywanie” pola przykrytego zmienną

```
1 Wielomian::Wielomian(int st, double *wsp)
2 {
3   this->st = st;
4   for (int i=0; i<=st; i++)
5     ...
6 }
```

★ przekazywanie wskaźnika funkcjom zewnętrznym

```
1 String::String(char *s)
2 {
3   str = new char[strlen(s)+1];
4   strcpy(str, s);
5   stringMgr->RejestrPamieci(this, s);
6 }
```

Friends czyli przyjaciele

★ *friends* – przyjaciele – klasy i funkcje zadeklarowane jako przyjaciele mają pełen dostęp do prywanych i chronionych pól i funkcji klasy

```
1  class Wielomian {
2    ...
3    friend class PrzestrzenWielomianow;
4    friend Wielomian Dodaj(Wielomian &, Wielomian &);
5    friend void Menedzer::Zarzadzaj(Wielomian &);
6  };
7  Wielomian Dodaj(Wielomian &w1, Wielomian &w2) {
8    Wielomian wynik = w1;
9    for (int i=0; i<=w2.st; i++)
10     wynik.wsp[i] += w1.wsp[i];
11   return wynik;
12 }
```

★ Najlepiej trzymać się z dala od przyjaciół!

`static` w języku C

★ zmienna globalna ograniczona do modułu

```
1 static int x;
```

- ▶ widoczna tylko w ramach jednego pliku
- ▶ różne pliki mogą deklarować zmienne statyczne o tej samej nazwie nie powodując konfliktów przy scalaniu programu

★ zmienna w funkcji

```
1 void funkcja(void) {
2   static int licznik = 0;
3   licznik++;
4   ...
5 }
```

- ▶ pamięć przydzielona i inicjowana przy pierwszym wywołaniu i zwalniana na zakończenie programu
- ▶ zawartość „żyje” pomiędzy kolejnymi wywołaniami funkcji

`static` w C++ – pola statyczne

★ pola statyczne (*static class members*) to pola dzielone przez wszystkie obiekty danej klasy

```
1 class Wielomian
2 {
3   static int ileObiektow;
4 public:
5   Wielomian() {ileObiektow++;}
6 };
7 int Wielomian::ileObiektow = 0;
```

★ jeden dla wszystkich, co oznacza, że modyfikacja pola w dowolnym obiekcie zmienia to pole we wszystkich pozostałych

★ publiczne pole statyczne jest niemal równoważne zmiennej globalnej dostępnej przez `Klasa::pole`

★ oprócz deklaracji w klasie niezbędna jest deklaracja na zewnątrz (ewentualnie z inicjalizacją)

Tablice obiektów

- ★ przy inicjowaniu i zwalnianiu pamięci konstruktor (bezargumentowy) jest wołany dla każdego obiektu z tablicy
- ★ dynamiczny przydział pamięci – operatory **new** i **delete** (**delete[]**)

```
1 int *x = new int[100];
2 int k;
3 scanf("%d", &k);
4 Wielomian *w = new Wielomian[k];
5 Wielomian *v = new Wielomian(st, wsp);
6 ...
7 delete x;     // Błąd - nie zwolnimy wszystkiego
8 delete[] w;   // OK
9 delete v;     // OK
```

Polimorfizm – przeciążanie operatorów

★ pomysł nie całkiem nowy:

```
1   5 + 17          5.0 + 17.0
2   5 / 17          5.0 / 17
```

★ operatory, które można przeciążać

```
1 +   -   *   /   %   ^   &   |   ~   !
2 =   <   >   +=  -=  *=  /=  %=  ^=  &=
3 |=  <<  >>  >>= <<= ==  !=  <=  >=  &&
4 ||  ++  --  ->* ,   ->  []  ()  new delete
```

★ nie można tworzyć własnych operatorów

★ nie można definiować operatorów o ww nazwach ale z inną liczbą argumentów niż oryginalnie

Przeciążanie operatorów – deklaracje

Operatory, których pierwszym argumentem jest obiekt pewnej klasy mogą być zadeklarowane jako niezależne lub wewnątrz tej klasy:

★ niezależnie (na zewnątrz klasy) – często warto by taki operator był zaprzyjaźniony z klasą:

```
1  class Wielomian
2  {
3    ...
4    friend Wielomian operator+(Wielomian, Wielomian);
5  };
6
7  Wielomian operator+(Wielomian w1, Wielomian w2)
8  {
9    ...
10 }
```

★ wewnątrz klasy:

```
1  class Wielomian
2  {
3    ...
4    Wielomian operator+(Wielomian);
5  };
6
7  Wielomian Wielomian::operator+(Wielomian w)
8  {
9    ...
10 }
```

★ przykłady deklaracji operatorów:

```
1  double operator[](int index);
2  Wielomian &operator=(Wielomian &);
3
4  int operator==(Wielomian &, Wielomian &);
```

Przeciążanie operatorów – dwie szkoły

★ Szkoła 1:

- jeśli tylko się da to wewnątrz klasy, np:

```
1 Wielomian &operator+=(Wielomian);
2 Wielomian operator+(Wielomian);
3 Wielomian operator==(Wielomian);
```

★ Szkoła 2:

- wewnątrz klasy te, które są w szczególny sposób związane z jednym obiektem definiowanej klasy, np:

```
1 Wielomian &operator+=(Wielomian);
```

- jeśli operator w sposób równorzędny dotyczy dwóch obiektów tego typu, to sprawiedliwie jest umieścić go poza klasą, np:

```
1 Wielomian operator+(Wielomian, Wielomian);
2 Wielomian operator==(Wielomian, Wielomian);
```

Przeciążanie operatorów – c.d.

- ★ Uwaga na referencje!
- ★ Najlepiej by definiowany operator był logicznie maksymalnie bliski oryginalnego znaczenia
- ★ Operator indeksowania – przede wszystkim dla tablic

```
1 int IntArray::operator[](int index);
```

- ★ Operator wywołania funkcji – klasy w roli funkcji

```
1 JakisTyp Klasa::operator()(/* argumenty*/);
```

- ★ Operator wskazywania (wyłuskiwania) – niby obiekt, a jak wskaźnik

```
1 InnaKlasa *Klasa::operator->();
```

★ Operator przypisania – szczególne znaczenie gdy pamięć przydzielana jest dynamicznie

```
1  class Wektor
2  {
3    int wymiar;
4    double *wsk;
5  public:
6    Wektor(int _wymiar);
7    Wektor(Wektor &w);
8    ~Wektor();
9    Wektor &operator=(Wektor &w);
10   double &operator[](int index);
11 };
```

```
1  Wektor::~Wektor()
2  {
3    delete[] wsk;
4  }
5  Wektor &Wektor::operator=(Wektor &w)
6  {
7    wymiar = w.wymiar;
8    delete[] wsk;
9    wsk = new double[wymiar];
10   memcpy(wsk, w.wsk, wymiar*sizeof(*wsk));
11 }
12 Wektor::Wektor(Wektor &w)
13 {
14   wsk = 0;
15   *this = w;
16 }
```

★ Operatory konwersji typów, np:

```
1 operator int();
2 operator double();
3 operator char *();
```

Przyklad:

```
1  class MyString
2  {
3      char *str;
4    public:
5      MyString(char *s);
6      operator char*() {return str;}
7  };
8  main() {
9      char str[20];
10     MyString s("Ala");
11     strcpy(str, s);
12 }
```

★ Operatory `++` i `--`

```
1 Typ operator++();    // przedrostkowy
2 Typ operator++(int); // przyrostkowy
```

Należy unikać zbyt skomplikowanych wyrażeń, w tym takich, które stosują operatory `++` bądź `--` do zmiennych, występujących w wyrażeniu więcej niż raz.

Przykład nieintuicyjnego działania kompilatora:

```
1 int id(int x) {return x;}
2 main() {
3   int z = 2;
4   cout << z + z++ << endl;
5   z = 2;
6   cout << z + id(z++) << endl;
7 }
```

generuje wyjście

```
1 4
2 5
```

Przeciążanie operatorów dla wielomianów

```
1 class Wielomian
2 {
3   ...
4 public :
5   Wielomian &operator=(Wielomian &);
6   Wielomian &operator*=(double c);
7   Wielomian operator*(double c);
8 };
```

```
1  Wielomian &Wielomian::operator=(Wielomian &w)
2  {
3    st = w.st;
4    /* można tak
5    for (int i=0; i<st+1; i++)
6      wsp[i] = w.wsp[i];
7    */
8    // ale jest lepsze rozwiązanie:
9    for (double *w1=wsp+st+1,*w2=w.wsp+st+1; w1-->wsp;)
10     *w1 = *--w2;
11   return *this;
12 }
```

```
1  Wielomian &Wielomian::operator*=(double c)
2  {
3    for (double *w=wsp+st; w-->wsp;)
4      *w *= c;
5    return *this;
6  }
7
8  Wielomian Wielomian::operator*(double c)
9  {
10   Wielomian w(*this);
11  /* Tak lepiej nie
12   for (int i=0; i<st+1; i++)
13     w.wsp[i] *= c; */
14   w *= c;         // Tak łatwiej i mniej miejsca na błędy
15   return w;
16 }
```

Przykład klasy wektorów bitowych

```
1  class WektorBitowy
2  {
3    unsigned int *bity;
4    int rozmiar;
5
6  public :
7    WektorBitowy(int rozmiar);
8    ~WektorBitowy();
9
10   WektorBitowy &operator+=(int nrBitu);  // Włącz bit
11   WektorBitowy &operator-=(int nrBitu);  // Wyłącz bit
12   int operator[](int nrBitu);  // Czy bit jest włączony
13
14   WektorBitowy &operator|=(WektorBitowy &);
15   WektorBitowy &operator&=(WektorBitowy &);
```

```
16    ...
17
18    friend WektorBitowy operator|(WektorBitowy &, WektorBitowy &);
19    ...
20  };
21
22  WektorBitowy::WektorBitowy(int rozmiar)
23  {
24    WektorBitowy::rozmiar = rozmiar/(sizeof(int)*8)+1;
25    bity = new int[WektorBitowy::rozmiar];
26  }
27
28  WektorBitowy::~WektorBitowy()
29  {
30    delete[] bity;
31  }
```

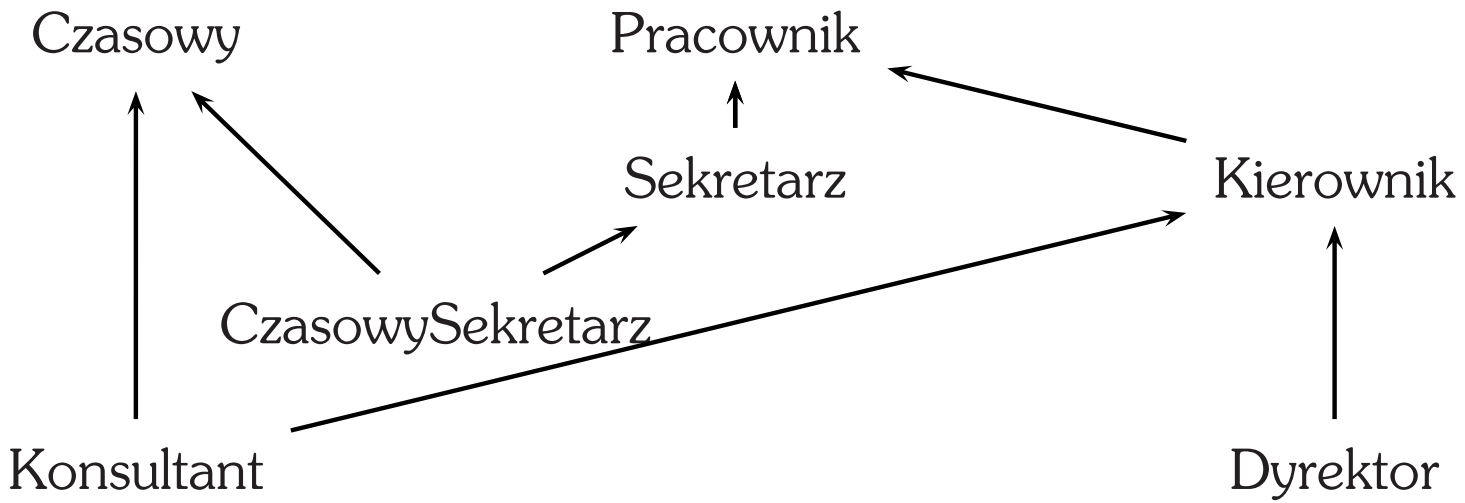
Dziedziczenie, klasy pochodne

```
1  class IntArray
2  {
3      int dim;
4      int *values;
5    public :
6      IntArray() : dim(0), values(0) {}
7      IntArray(int Dim) : dim(Dim) {values = new int[dim];}
8      // ...
9      int operator[](int index) {return values[index];}
10 };
11 class IntSortArray : public IntArray
12 {
13   public :
14     IntSortArray(int Dim) : IntArray(dim) {}
15 };
```

Dziedziczenie – kontrola dostępu

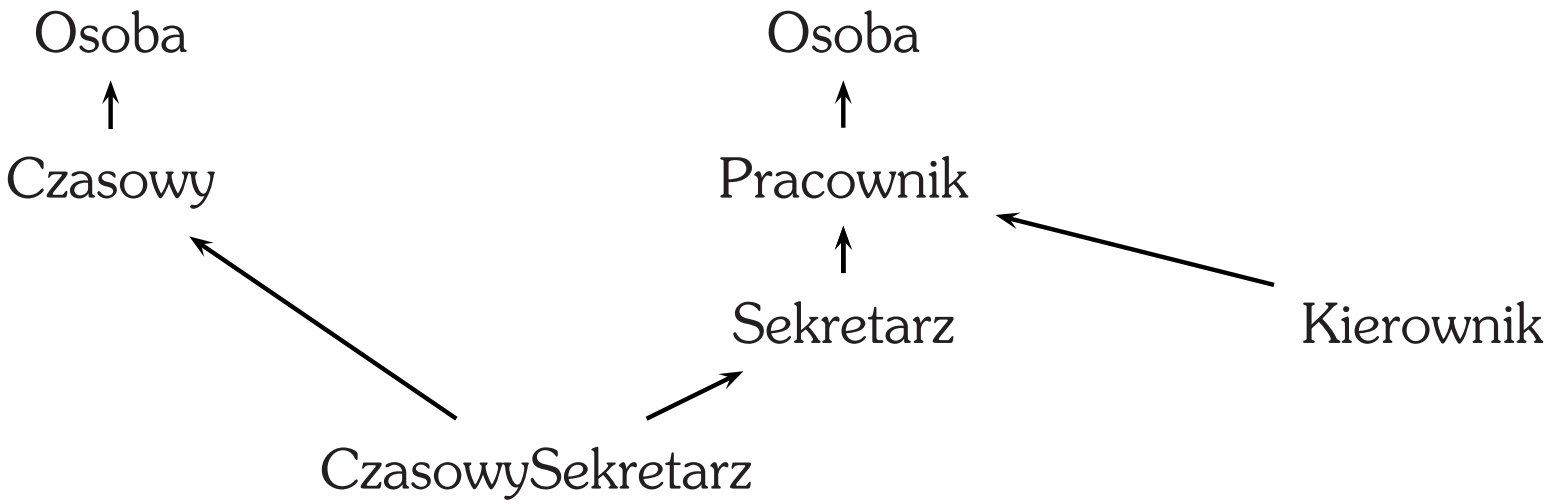
dziedziczenie	w klasie bazowej		
	public	protected	private
public	public	protected	—
protected	protected	protected	—
private	private	private	—

Hierarchie klas




```
1 class Czasowy  { /* ... */ };
2 class Pracownik  { /* ... */ };
3 class Sekretarz : public Pracownik { /* ... */ };
4 class Kierownik : public Pracownik { /* ... */ };
5 class CzasowySekretarz
6   : public Czasowy, public Sekretarz { /* ... */ };
7 class Konsultant
8   : public Czasowy, public Kierownik { /* ... */ };
```

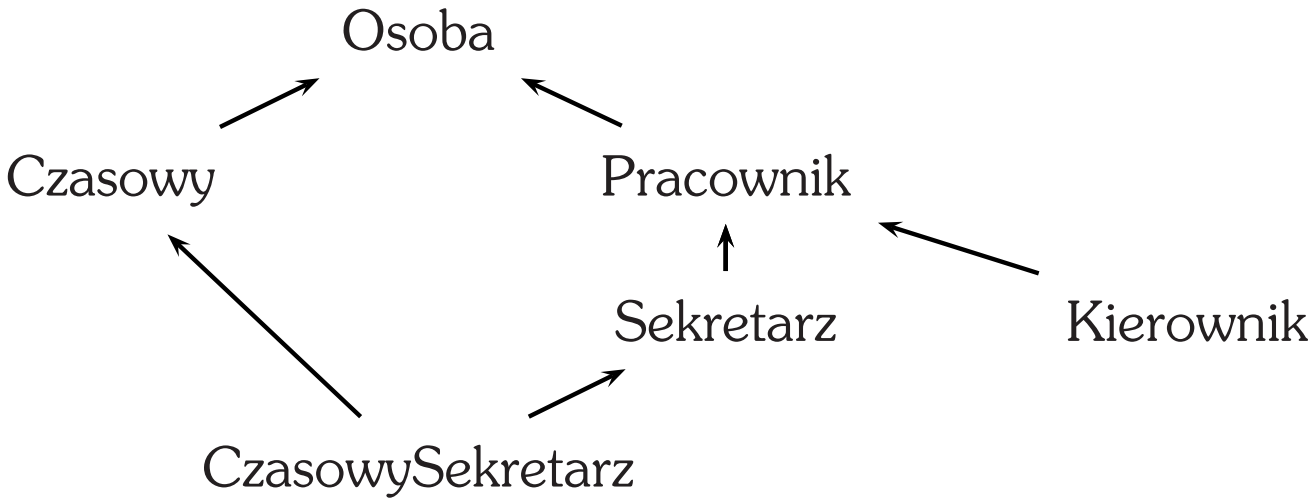
Wielokrotne dziedziczenie



Rozstrzyganie niejednoznaczności

```
1 // Osoba posiada metodę Nazwisko()
2 // Czasowy i Pracownik posiadają metody Wynagrodzenie()
3 CzasowySekretarz p;
4 p.Wynagrodzenie();                // Błąd
5 p.Czasowy::Wynagrodzenie();       // OK
6 p.Pracownik::Wynagrodzenie();     // OK
7 p.Osoba::Nazwisko();              // Błąd
```

Wirtualne klasy bazowe




```
1 class Czasowy : public virtual Osoba { /* ... */ };
2 class Pracownik : public virtual Osoba { /* ... */ };
3 class Sekretarz : public Pracownik { /* ... */ };
4 class CzasowySekretarz
5   : public Czasowy, public Sekretarz { /* ... */ };
```

Wirtualne klasy bazowe – c.d.

★ Jedna kopia obiektu klasy bazowej

★ Konstruktor wirtualnej klasy bazowej musi być wołany przez konstruktor każdej klasy potomnej

```
1 CzasowySekretarz::CzasowySekretarz(???)
2     : Czasowy(???), Sekretarz(???),
3       Osoba(???)
4 {
5   ...
6 }
```

Inaczej mielibyśmy niejednoznaczność, bo każda z klas `Czasowy` i `Sekretarz` może inaczej inicjować obiekt typu `Osoba`.

★ Uwaga na transformacje typów wskaźników:

```
1 CzasowySekretarz *p;
2 Czasowy *pt = (Czasowy *)p;
3 Sekretarz *ps = (Sekretarz *)p;
4 Osoba *po = (Osoba *)p;
```

Założenie merytorycznej poprawności tych konwersji łatwo prowadzi do sprzeczności – obiekty różnych typów pod tym samym adresem!

Rozwiązanie: wykorzystanie Runtime Type Identification (RTTI), ale o tym później.

Metody wirtualne

```
1  class Figura {
2    public :
3      virtual void Obroc(int);
4      virtual void Rysuj();
5      void Skaluj(float wsp);
6      ...
7  };
8  class Okrag : public Figura {
9      int x, y;
10     int promien;
11   public :
12     void Obroc(int);
13     void Rysuj();
14     void Skaluj(float wsp);
15 };
```

```
1 void main()
2 {
3   Okrag o;
4   Figura *f = &o;
5   f->Skaluj(0.5);    // woła Figura::Skaluj()
6   f->Rysuj();        // woła Okrag::Rysuj()
7 }
```

Uwagi:

- ★ Metody wirtualne wołane w konstruktorze są uruchamiane jak niewirtualne (obiekt potomny jeszcze nie istnieje - a dokładniej nie został zainicjowany - więc nie może działać)
- ★ Wirtualne metody zwiększają rozmiary klas (odpowiednie adresy do funkcji muszą być przechowywane razem z obiektem)

Bardziej realna postać problemu:

```
1  void SkalujIRysuj(Figura *f)
2  {
3    f->Skaluj();
4    f->Rysuj();
5  }
6  void main()
7  {
8    Okrag o;
9    ...
10   SkalujIRysuj(&o);
11 }
```

Wirtualne destruktory

```
1  class Figura {
2    public :
3      ...
4      virtual ~Figura() {}
5  };
6  class ListaFigur {
7      Figura *figura[1000];
8      int ileFigur;
9    public:
10     ...
11     ~ListaFigur();  // zwalnia pamięć po wszystkich figurach
12     void Dodaj(Figura *);
13     void Rysuj();
14 };
```

```
1  ListaFigur::~ListaFigur() {
2    for (int i=0; i<ileFigur; i++)
3      delete figura[i];
4  }
5  void ListaFigur::Rysuj() {
6    for (int i=0; i<ileFigur; i++)
7      figura[i]->Rysuj();
8  }
9
10 void DwieFigury()
11 {
12   ListaFigur l;
13   l.Dodaj(new Okrag(30, 20, 15));
14   l.Dodaj(new Kwadrat(5, 5, 25));
15   l.Rysuj();
16 }
```

Kolejność wywołań konstruktorów i destruktorów

- ★ konstruktory od klasy pierwotnej do „najbardziej potomnej”
- ★ destruktory w odwrotnej kolejności
- ★ w dziedziczeniu wielokrotnym konstruktory są wołane w porządku odpowiadającym deklaracji dziedziczenia
- ★ konstruktory obiektów będących polami klasy są wołane po konstruktorze klasy, w której występują, w kolejności, w jakiej pojawiają się w deklaracji klasy
- ★ inicjalizacja pól może być umieszczona w sposób analogiczny do wywołań konstruktorów klas bazowych (musi w sytuacji, kiedy klasa pola-obiektu ma tylko konstruktory z niepomijalnymi argumentami)
- ★ z destruktorami mamy sytuację analogiczną
- ★ wirtualne klasy bazowe są zawsze inicjowane przed niewirtualnymi

„Czyste" klasy wirtualne (abstrakcyjne)

```
1 class Figura {
2   public :
3     virtual void Obroc(int) = 0;
4     virtual void Rysuj() = 0;
5 };
6 void main() {
7   Figura f;    // Błąd
8 }
```

- ★ Nie da się stworzyć obiektu typu abstrakcyjnego
- ★ Mechanizm interfejsów (Pascal/Delphi, technologie MS Windows: ActiveX itp.)

Wzorce (ang. templates)

Przykład zapotrzebowania - minimum

★ wiele funkcji – nieprzyjemne...

```
1 int min(int arg1, int arg2) {
2   return arg1 < arg2? arg1 : arg2;
3 }
4 double min(double arg1, double arg2) {
5   return arg1 < arg2? arg1 : arg2;
6 }
```

★ **#define** – niebezpieczeństwo wielokrotnego liczenia

```
1 #define MIN(a,b) (((a)<(b)) ? (a) : (b))
2 ...
3 z = MIN(x.LiczDuzo(),1000);
4 // rozwinięte zostanie do:
5 z = (((x.LiczDuzo())<(1000)) ? (x.LiczDuzo()) : (1000));
```

Wzorce funkcji

```
1  template <class T>
2  T Min(T arg1, T arg2)
3  {
4    return arg1 < arg2? arg1 : arg2;
5  }
6  void main()
7  {
8    int i=5, j=10;
9    double x=1.9, y=3;
10   cout << Min(i,j) << endl;   // 5      T == int
11   cout << Min(x,y) << endl;   // 1.9    T == double
12   cout << Min<int>(x+y,x-y) << endl; // -1
13 }
```

Wzorce klas

```
1  template <class TypObiektu> class Stos
2  {
3      int rozmiar;
4      TypObiektu *pocz, *wierz;
5    public:
6      Stos(int r) {pocz = wierz = new TypObiektu[rozmiar = r];}
7      ~Stos() {delete[] pocz;}
8
9      void Odloz(TypObiektu o) {*wierz++ = o;}
10     TypObiektu Pobierz() {return *--wierz;}
11 };
```

Wzorce – użycie klasy Stos

```
1 void main()
2 {
3   int i;
4   Stos<int> stos(100);
5   for (i=0; i<20; i++)
6     stos.Odloz(i*i);
7   for (i=0; i<20; i++)
8     cout << stos.Pobierz() << "\n";
9 }
```

Wzorce – wektor dowolnego typu

```
1  template <class T, int d>
2  class Array
3  {
4    protected :
5      int dim;
6      T *values;
7    public :
8      Array() {values = new T[dim=d];}
9      ~Array() {delete[] values;}
10     T &operator[](int index);
11 };
```

★ Lepiej definiować wymiar w konstruktorze – tak jak było dla stosu

Wzorce – definicja metody

```
1 template <class T, int d>
2 T &Array<T, d>::operator[](int index)
3 {
4   if (index <0 || index >=dim)
5     exit(1);
6   return values[index];
7 }
```

Wzorce – dziedziczenie

```
1  typedef int CompareFun(const void *arg1, const void *arg2);
2
3  template <class T, int d>
4  class SortArray : public Array<T, d>
5  {
6    public :
7      void QuickSort(CompareFun *f);
8  };
9
10 template <int d>
11 class IntArray : public Array<int, d>
12 {
13   public :
14     ...
15 };
```

Wyjątki (exceptions)

★ Zgłaszanie wyjątków

```
1 throw 123;
2 throw "Nie wiem co się stało";
3 throw ExceptionTypeObject;
4 throw WyjatekZOpisem("Przekroczenie zakresu!");
```

★ Deklaracje klas dla wyjątków

```
1 class TypWyjątku {};
2 struct WyjatekZOpisem
3 {
4     string opis;
5     WyjatekZOpisem(char *o) {opis = o;}
6 };
```

★ Przechwytywanie wyjątków

```
1  try
2  {
3    lista instrukcji
4  }
5  catch (ExceptionType o)
6  {
7    lista instrukcji
8  }
9  catch (...)
10 {
11   lista instrukcji
12 }
```

★ Przechwytywanie wyjątków – więcej informacji

```
1  try
2  {
3    DuzoLiczenia();
4  }
5  catch (ExceptionType o)
6  {
7    Komunikat(o.opis);
8  }
9  catch (...)
10 {
11   Komunikat("Nieznany błąd w funkcji DuzoLiczenia()");
12 }
```

★ Przechwytywanie wyjątków – niebezpieczeństwo wycieków pamięci

```
1  try
2  {
3    Zadanie *z = new Zadanie();
4    z->PoliczWszystko();
5    delete z;
6  }
7  catch (...)
8  {
9    Komunikat("Coś się stało i z nie zwolniony :-(");
10 }
```

★ Przechwytywanie wyjątków – sprzątamy niezależnie czy wystąpił wyjątek czy nie

```
1  Zadanie *z=0;  // to zerowanie jest ważne
2  try
3  {
4    z = new Zadanie();
5    z->PoliczWszystko();
6  }
7  __finally
8  {
9    delete z;
10   Komunikat("I posprzątane :-)");
11 }
```

Wyjątki (exceptions)

★ Typy wyjątków wewnątrz klas

```
1 class NazwaKlasy
2 {
3   ...
4   class TypWyjątku {};
5 }
```

Wówczas przechwytywanie wyjątków wygląda tak:

```
1 catch (NazwaKlasy::TypWyjątku x)
2 {
3   ...
4 }
```

Wyjątki – prosty przykład

```
1  #include <stdio.h>
2
3  class ArgumentSilni{};
4
5  long Silnia(int x)
6  {
7    if (x < 0) throw ArgumentSilni();
8    return (x <= 1)? 1 : x * Silnia(x-1);
9  }
10
11 main()
12 {
13   int arg;
14   try
15   {
```

```
16      while (1)
17       {
18         printf("Podaj argument : ");
19         scanf("%d", &arg);
20         printf("%d! = %ld\n", arg, Silnia(arg));
21       }
22    }
23    catch (ArgumentSilni x)
24    {
25      printf("Niepoprawny argument dla funkcji Silnia().\n");
26      return 1;
27    }
28    catch (...)
29    {
30      printf("Nie obsługiwany wyjątek.\n");
31      return 2;
32    }
33 }
```

Strumienie, operatory << i >>

- ★ `#include <iostream.h>`
- ★ Obiekty standardowego wejścia/wyjścia: `cin`, `cout`, `cerr`.
- ★ Klasy `istream`, `ostream`, `ifstream`, `ofstream`, `istrstream`, ...
- ★ Przykład:

```
1 try {
2   cin >> x;
3   cout << "zmienna x ma wartość" << x << endl;
4 } catch (...) {
5   cerr << "Błąd!!!\n";
6 }
```

★ Dociążanie operatorów wewnątrz własnych klas:

```
1 class Cos
2 {
3   public:
4     ostream &operator <<(ostream &o)
5         {return o << "coś";}
6 };
```

Lepiej nie, bo wychodzą dziwactwa:

```
1 main()
2 {
3   Cos z;
4   cout << z;   // błąd kompilacji
5   z << cout;   // OK, ale chyba nie o to chodziło
6   z << cout << " i coś jeszcze";   // a fuj!
7 }
```

★ Dociążanie operatorów na zewnątrz własnych klas:

```
1 ostream &operator <<(ostream &o, Cos &obiekt)
2 {
3   return o << "coś";
4 }
```

Teraz pełny porządek:

```
1 main()
2 {
3   Cos z;
4   z << cout;   // błąd kompilacji - i bardzo dobrze
5   cout << z;   // OK
6   cout << z << " i coś jeszcze";   // OK
7 }
```

★ Dociążanie operatorów strumieniowych – uwaga na styl!

- Zwracamy `istream&` lub `ostream&`, bo inaczej:

```
1 void operator <<(ostream &o, Cos &obiekt)
2 {
3   o << "coś";
4 }
5 main()
6 {
7   Cos z;
8   cout << z << " i coś jeszcze";   // błąd kompilacji
9 }
```

l-wartości i r-wartości

- ★ wszystkie zmienne i wartości stałe leżą w pamięci, ale nie zawsze jest w przestrzeni *adresowalnej*
- ★ *l-wartość* – ang. *lvalue*, *location value*
  - ► to wartość, która jest odwołaniem do konkretnego miejsca w pamięci
  - ► w zamyśle "wartość, która może stać po lewej stronie instrukcji przypisania"
  - ► wyjątek: stała to też l-wartość, ale nie może stać po prawej stronie
- ★ *r-wartość* – ang. *rvalue*, *read value*
  - ► to dowolna wartość wyrażenia – mamy dostęp do wartości, ale nie do adresu pod którym leży
  - ► przykłady: stałe użyte w wyrażeniach, tymczasowe zmienne przechowujące wyniki wyrażeń
  - ► wartość, która może stać po prawej stronie instrukcji przypisania

l-wartości i r-wartości — c.d.

★ niepoprawne wyrażenia:

```
1 1 = 5+3;
2 sqrt(x) = 17;
3 int &x = 2;      // potrzebna l-wartość z prawej strony
```

★ niepoprawne wywołania funkcji

```
1 void f (int &x)
2 {
3   x = 2*2;
4 }
5 main()
6 {
7   f(3+4);   // nie można, bo 3+4 daje wartość tymczasową
8 }
```

★ niepoprawne wywołania operatorów

```
1  class Wielomian
2  {
3      ...
4    public:
5      Wielomian &Wielomian::operator=(Wielomian &);
6  };
7
8  Wielomian operator+(Wielomian &, Wielomian &);
9
10 main()
11 {
12   Wielomian w1, w2, w3;
13   w3 = w1+w2;     // błąd! op= wymaga l-wartości
14   w1+w2+w3;       // też błąd: (w1+w2)+w3
15 }
```

Obiekty tymczasowe

- ★ powstają przy wyliczaniu wartości wyrażeń (wyniki częściowe), zwracaniu wartości funkcji itp.
- ★ żyją do czasu wyliczenia pełnego wyrażenia w którym występują
- ★ mogą inicjalizować stałe referencyjne lub deklarowane obiekty, wtedy żyją tak długo jak to co zainicjowały

```
1 const int &x = 5;
2 const Wielomian &w = w1+w2;
3 Wielomian w = w1+w2;  // inicjalizacja a nie op=
4 Wielomian w(w1+w2);   // ciekawe: 1 obiekt więcej
```

Obiekty tymczasowe – przykład Stroustrupa

```
1 string s1, s2, s3;
2 const char* cs= (s1+s2).c_str() ;
3 cout << cs; // może się uda...
4 if (strlen(cs=(s2+s3).c_str())<8 && cs[0]==´a´) {
5     // chcesz użyć cs? powodzenia...
6 }
```

Tak czy inaczej to bardzo brzydki styl programowania.

Operatory dla wielomianów – bez rozrzutności

```
1  class Wielomian
2  {
3      ...
4    public:
5      Wielomian &Wielomian::operator=(const Wielomian &);
6  };
7  Wielomian operator+(const Wielomian &, const Wielomian &);
8
9  main()
10 {
11   Wielomian w1, w2, w3;
12   w3 = w1+w2;                // już OK
13   Wielomian w4 = w1+w2;      // OK - nawet bez const
14   w1+w2+w3;                  // OK
15 }
```

Operator ::

★ funkcje przykrywające zmienne

```
1 int x;
2 int funkcja(float x) {
3   x = 4;  // typ float i lokalna zmienna x
4   ...
5   return 0;
6 }
```

★ zmienna globalna jest dostępna przed deklaracją ją przykrywającą

```
1 int x;
2 int funkcja() {
3   x = 5;    // zmienna globalna - typ int
4   ...
5   float x;
6   x = 4;    // zmienna lokalna - typ float
7 }
```

★ Operator :: daje dostęp do przykrytej zmiennej globalnej

```
1 int x = 5;
2 int funkcja()
3 {
4   float x;
5   ...
6   x = ::x;
7   ...
8 }
```

Przestrzenie nazw – namespaces

★ Przykład:

```
1  namespace A {
2   void cokolwiek() {cout << "jesteśmy w przestrzeni A";}
3  }
4  namespace B {
5   void cokolwiek() {cout << "jesteśmy w przestrzeni B";}
6  }
7  main() {
8    cokolwiek();    // Błąd! Funkcja niezdefiniowana.
9    A::cokolwiek(); // OK
10   B::cokolwiek(); // OK
11 }
```

★ otwieranie bezpośredniego dostępu do przestrzeni nazw:

```
1 using namespace A;
```

Po otwarciu przestrzeni A:

```
1 main() {
2   cokolwiek();    // OK - funkcja przestrzeni A
3   A::cokolwiek(); // OK
4   B::cokolwiek(); // OK
5 }
```

★ otwieranie wszystkich możliwych przestrzeni jest równie uciążliwe jak nie otwieranie żadnej:

```
1 using namespace A;
2 using namespace B;
3 main() {
4   cokolwiek();     // Błąd! Dwuznaczność.
5   A::cokolwiek(); // OK
6   B::cokolwiek(); // OK
7 }
```

★ funkcje definiowane bez jawnej deklaracji przestrzeni to funkcje w podstawowej przestrzeni nazw (o pustej nazwie – dostęp przez `::id`)

★ definiując bibliotekę należy utworzyć dla niej własną przestrzeń nazw

Metody typu `inline`

```
1  template<class T> class Vector
2  {
3      T *data;
4      int size;
5    public:
6      Vector(int s) {data=new T[size=s];}
7      ~Vector() {delete[] data;}
8      inline T &operator[] (int i);
9      int Size() {return size;}
10 };
11
12 template<class T> T &operator[] (int i)
13 {
14   return data[i];
15 }
```

★ **Uwaga** na opcje kompilatora blokujące wywołania `inline`!

Wskaźniki do funkcji

```
1  #include <stdio.h>      // dla printf()
2  #include <stdlib.h>     // dla qsort()
3  #include <string.h>     // dla strcmp() i stricmp()
4
5  typedef int (*Funkcja)(char **, char **);
6
7  int Porownaj1(char **s1, char **s2) {
8    return strcmp(*s1, *s2);
9  }
10 int Porownaj2(char **s1, char **s2) {
11   return stricmp(*s1, *s2);
12 }
13 int Porownaj3(char **s1, char **s2) {
14   if (strlen(*s1) > strlen(*s2)) return 1;
15   if (strlen(*s1) < strlen(*s2)) return -1;
16   return 0;
17 }
```

```
18
19 void main()
20 {
21   int i, j;
22   char *ala[] = {"ALA MA KOTA", "Ala ma Kota", "alamakota", "Ala"};
23   Funkcja f[] = {Porownaj1, Porownaj2, Porownaj3};
24   for (i=0; i<sizeof(f)/sizeof(*f); i++)
25     printf("Wynik[%d] = %d\n", i, f[i](ala, ala+1));
26   for (i=0; i<sizeof(f)/sizeof(*f); i++)
27   {
28     qsort(ala, sizeof(ala)/sizeof(*ala), sizeof(*ala), f[i]);
29     printf("\nPo sortowaniu nr %d\n", i);
30     for (j=0; j<sizeof(ala)/sizeof(*ala); j++)
31       printf("%s\n", ala[j]);
32   }
33 }
```

Wskaźniki do pól i metod, operatory .* i ->*

```
1  class A
2  {
3    public:
4     int z;
5     int fun(int x) {return x = 0;}
6  };
7
8  typedef int A::*Aint;
9  typedef int (A::*FUN)(int);
10
11 int F(A x, int A::*ai) {
12   return x.*ai;
13 }
14 int Fp(A *x, Aint ai) {
15   return x->*ai;
```

```
16 }
17 int G(A x, FUN f) {
18   return (x.*f)(12);
19 }
20 int Gp(A *x, FUN f) {
21   return (x->*f)(12);
22 }
23
24 int main()
25 {
26    A a;
27    int A::*c = &A::z;
28    F(a, c);
29    Fp(&a, &A::z);
30    G(a, A::fun);
31    Gp(&a, A::fun);
32    return 0;
33 }
```

Stałe a klasy – const

```
1  const int x=5;
2  const int y;    // Błąd! Stała niezainicjowana
3  const Macierz Id5(5);
4  const int v[] = {1, 2, 3, 4}; // każde v[i] jest stałe
5
6  main()
7  {
8    Id5.Rzad();       // OK
9    Id5.Triangularyzacja();  // Błąd! Metoda zmienia obiekt
10 }
```

Dodanie **const** to stworzenie nowego typu

```
1  const char* pc;  // wskaźnik na stały znak
2  char *const cp;  // stały wskaźnik na znak
3  char const* pc2; // wskaźnik na stały znak
```

const w deklaracjach argumentów funkcji

```
1 char* strcpy(char* p, const char* q); // nie można zmienić *q
```

Deklaracje metod wywoływalnych również dla stałych:

```
1 class Macierz
2 {
3   int ileKolumn;
4 public:
5   int Rzad() const;
6   int IleKolumn() const {return ileKolumn;}
7   ...
8 };
```

Pola zmienne (`mutable`)

★ Czasami istnieje potrzeba modyfikacji pewnych pól „organizacyjnych” w obiektach deklarowanych jako stałe

- ▶ właściwa reprezentacja obiektu nie zmienia się, ale mogą zmieniać się pewne dane związane z obsługą
- ▶ np. Obiekt daty i obsługa cache'u z datą jako napisem:

```
1 class Date {
2   mutable bool cache_valid;
3   mutable char cache[20];
4   void compute_cache_value() const; // fill cache
5 public:
6   char *string_rep() const; // string representation
7   // ...
8 };
```

```
1 char *Date::string_rep() const
2 {
3   if (cache_valid == false) {
4     compute_cache_value();
5     cache_valid = true;
6   }
7   return cache;
8 }
```

★ **Uwaga!** Funkcje deklarowane dla obiektów stałych mogą zmieniać pola statyczne.

★ Można też brutalnie:

```
1  class Date {
2    bool cache_valid;
3    char cache[20];
4    void compute_cache_value(); // fill cache
5  public:
6    char *string_rep() const; // string representation
7    ...
8  };
9  char *Date::string_rep() const
10 {
11   if (cache_valid == false) {
12     Date *th = (Date *)this;
13     th->compute_cache_value();
14     th->cache_valid = true;
15   }
16   return cache;
17 }
```

Obiekty ulotne (`volatile`)

- ★ Deklaracja zmiennej jako **`volatile`** informuje kompilator, że wartość zmiennej może się zmieniać w tle (w innym wątku)
- ★ Zakaz pewnych uproszczeń (optymalizacji) dla takich zmiennych
- ★ Kompilator nie może przechowywać zmiennej tylko w rejestrze.
- ★ Przykład:

```
1 volatile int ticks;
2 void timer( ) { ticks++; }
3 void wait (int interval) {
4    ticks = 0;
5    while (ticks < interval);  // Nie rób nic
6 }
```

  Optymalizator mógłby zignorować polecenie wielokrotnego sprawdzania warunku, bo nic się nie zmienia.

- ★ **Uwaga:** W C++ ulotne mogą być również metody klas – w ulotnym obiekcie można używać tylko ulotnych metod.

Zakresy życia obiektów

- ★ obiekty globalne – zaczynają przed `main()`, kończą po `main()`
- ★ pola statyczne klas – jak obiekty globalne
- ★ pola niestatyczne – jak obiekt, w którym występują tj. od konstruktora do destruktora
- ★ zmienne lokalne dla funkcji – od momentu deklaracji, do końca zakresu (klamry kończącej blok)
- ★ parametry funkcji – zaczynają bezpośrednio przed wywołaniem funkcji, kończą po zakończeniu działania funkcji
- ★ zmienne deklarowane w **`for`** – zakres pętli
- ★ zmienne tymczasowe (powstające podczas wyliczania wartości wyrażeń) – od momentu konieczności przechowania wyniku cząstkowego do końca wyznaczania wartości wyrażenia

Różne drobne uwagi

- ★ **elipsy (...) a klasy**

  Uwaga: Argument przekazany funkcji o zmiennej liczbie argumentów nie może być obiektem klasy, która definiuje konstruktor albo operator = (ale oczywiście może być wskaźnikiem do takiej klasy)
- ★ Członkowie unii nie mogą implementować konstruktorów ani destruktorów
- ★ Konstruktory obiektów globalnych wołane są przed wywołaniem funkcji `main()`
- ★ Jeśli klasa ma wirtualne funkcje, to zwykle powinna mieć też wirtualny destruktor
- ★ Kolejność wyliczania podwyrażeń w wyrażeniu jest niezdefiniowana!

RTTI

RunTime Type Identification pozwala:

- ★ (w trakcie działania programu) poznać typ danych, kiedy dysponujemy tylko wskaźnikiem
- ★ na kontrolowaną konwersję wskaźnika klasy bazowej na wskaźnik klasy potomnej – operator **`dynamic_cast`**
- ★ sprawdzić, czy wskazywany obiekt jest pewnego znanego nam typu – operator **`typeid`**

Operator `typeid`

```
1 typeid( expression )
2 typeid( type-name )
```

- ★ zwraca referencję na obiekt typu **`const type_info`**
- ★ klasa **`type_info`** implementuje
  - ▶ **`operator==`**
  - ▶ **`operator!=`**
  - ▶ metodę **`const char *name() const;`**
  - ▶ metodę **`bool before(const type_info &) const;`**
- ★ jeśli argument jest wskaźnikiem, to wynikiem jest identyfikacja dynamicznego typu obiektu (odpowiedniego obiektu potomnego)
- ★ działa ze standardowymi typami i klasami użytkownika
- ★ Jeśli argument jest wskaźnikiem zerowym, to zgłaszany jest wyjątek `Bad_typeid`

```
1  class A { };
2  class B : A { };
3  void main() {
4    char C;  float X;
5
6    if (typeid(C) == typeid(X)) cout << "Ten sam typ." << endl;
7    else cout << "Nie ten sam typ." << endl;
8
9    cout << typeid(int).name()
10   cout << " before " << typeid(double).name() << ": " <<
11     typeid(int).before(typeid(double)) << endl;
12
13   cout << "double before int: " <<
14     typeid(double).before(typeid(int)) << endl;
15
16   cout << typeid(A).name();
17   cout << " before " << typeid(B).name() << ": " <<
18     typeid(A).before(typeid(B)) << endl;
19 }
```

Wyjście programu:

```
Nie ten sam typ.

int before double: 0
double before int: 1

A before B: 1
```

Nowe metody konwersji typów

- ★ `const_cast<Typ>(arg)`
- ★ `dynamic_cast<Typ>(arg)`
- ★ `reinterpret_cast<Typ>(arg)`
- ★ `static_cast<Typ>(arg)`

Oczywiście, stare sposoby konwersji (te z C) również działają.

`const_cast<Typ>(arg)`

- ★ dodaje lub zdejmuje modyfikator **`const`** lub **`volatile`**
- ★ **`const_cast`**`<Typ>(arg)`, typy `Typ` oraz `arg` muszą być takie same z dokładnością do modyfikatorów
- ★ konwersja w czasie kompilacji
- ★ dowolna liczba modyfikatorów może być zniesiona bądź dodana jedną konwersją
- ★ nie wymaga RTTI

Przykład:

```
1 void ZmienStala(const int &x)
2 {
3   int &z = const_cast<int &>(x);
4   z = 123;
5 }
```

Możliwe, ale bardzo nieładne...

`dynamic_cast<Typ>(arg)`

- ★ `Typ` – typ wskaźnikowy (w tym `void *`) bądź referencyjny
- ★ `arg` – wyrażenie dające w wyniku wskaźnik lub referencję (odpowiednio do `Typ`)
- ★ jeśli `Typ` to `void *`, to wynikiem jest wskaźnik na obiekt najbardziej potomnej klasy
- ★ konwersje z klasy potomnej do bazowej są wykonywane w czasie kompilacji, w drugą stronę lub „na przełaj” hierarchii – w trakcie działania programu
- ★ konwersja do klasy potomnej możliwa tylko dla klas polimorficznych
- ★ w przypadku powodzenia `dynamic_cast<Typ>(arg)` zwraca odpowiedni wskaźnik,
- ★ w przypadku porażki:
  - ▶ zwraca 0 dla wskaźników
  - ▶ zgłasza wyjątek `Bad_cast` dla referencji
- ★ **wymaga RTTI**

```
1  class Base1 {
2     virtual void f(void) { /* klasa polimorficzna */ }
3  };
4  class Base2 { };
5  class Derived : public Base1, public Base2 { };
6
7  int main(void) {
8     try {
9        Derived d, *pd;
10       Base1 *b1 = &d;
11
12       // W dół hierarchii - z Base1 do derived
13       if ((pd = dynamic_cast<Derived *>(b1)) != 0)
14       {
15            cout << "Wynikowy wskaźnik jest typu "
16                 << typeid(pd).name() << std::endl;
17       }
18       else
19         throw Bad_cast();
```

```
20
21          // "Na przełaj" - z jednej bazowej do drugiej
22          Base2 *b2;
23          if ((b2 = dynamic_cast<Base2 *>(b1)) != 0) {
24              cout << "Wynikowy wskaźnik jest typu "
25                   << typeid(b2).name() << endl;
26          }
27          else throw Bad_cast();
28      }
29      catch (Bad_cast) {
30          cout << "dynamic_cast nie powiodło się" << endl;
31          return 1;
32      }
33      catch (...) {
34          cout << "Nieznany wyjątek!" << endl;
35          return 1;
36      }
37      return 0;
38  }
```

`reinterpret_cast<Typ>(arg)`

- ★ zmienia interpretację bitowej reprezentacji obiektu
- ★ `Typ` – wskaźnik, referencja, typ arytmetyczny, wskaźnik do funkcji lub wskaźnik do składowej
- ★ wskaźnik może być jawnie przekonwertowany do typu całkowitego
- ★ liczba całkowita może być konwertowana do wskaźnika
- ★ można konwertować na wskaźnik bądź referencję na nie zdefiniowany jeszcze typ
- ★ poleca się używać w zamian za jawną konwersję np. `(int *)x`

```
1  void func(void *v) {
2      // Ze wskaźnika do liczby całkowitej
3      int i = reinterpret_cast<int>(v);
4      ...
5  }
6
7  void main() {
8     // Z liczby całkowitej do wskaźnika
9     func(reinterpret_cast<void *>(5));
10
11    // ze wskaźnika do funkcji na wskaźnik
12    // do funkcji innego typu
13    typedef void (* PFV)();
14
15    PFV pfunc = reinterpret_cast<PFV>(func);
16
17    pfunc();
18 }
```

`static_cast<Typ>(arg)`

- ★ `Typ` – wskaźnik, referencja, typ arytmetyczny lub wyliczeniowy (**`enum`**)
- ★ zarówno `Typ` jak i `arg` muszą być w pełni znane w czasie kompilacji
- ★ jeśli konwersja może być wykonana środkami języka, to konwersja przez **`static_cast`** robi to samo
- ★ liczby całkowite mogą być konwertowane do typu wyliczeniowego, dla wartości spoza zakresu zachowanie niezdefiniowane
- ★ wskaźnik na jeden typ może być konwertowany na wskaźnik na inny typ
- ★ wskaźnik do klasy `Y` może być konwertowany do wskaźnika do klasy `X`, jeśli `Y` dziedziczy po `X` – konwersja możliwa jeśli:
  - ▶ istnieje jednoznaczny sposób konwersji z `Y` do `X`
  - ▶ `X` nie jest dziedziczona wirtualnie przez `Y`

`static_cast<Typ>(arg)` – c.d.

- ★ obiekt może być przekonwertowany do `X&`, o ile wskaźnik do niego może być przekonwertowany do `X*`. Wynik jest l-wartością. Nie są wołane żadne konstruktory ani operatory konwersji.
- ★ obiekt lub wartość można przekonwertować na obiekt pewnej klasy, jeśli istnieje odpowiedni konstruktor bądź operator konwersji
- ★ wskaźnik do składowej może być przekonwertowany na inny wskaźnik do składowej, jeśli oba wskazują składowe tej samej klasy, bądź różnych klas, ale z jednoznacznym dziedziczeniem pomiędzy nimi

Rozszerzenia Borland C++ Buildera

Typy

Typ	Przykład	Rozmiar
`__int8`	`__int8 c = 127i8;`	8 bitów
`__int16`	`__int16 s = 32767i16;`	16 bitów
`__int32`	`__int32 i = 123456789i32;`	32 bity
`__int64`	`__int64 big = 1234565432li64;`	64 bity
`unsigned __int64`	`unsigned __int64 hugeInt = 1234567887654321ui64;`	64 bity

Słowa kluczowe

- `__closure`
- `__property`
- `__published`
- `__thread`
- i wiele innych, których opis można znaleźć w systemie pomocy Borland C++ Buildera (C++ Builder Language Guide)

`__closure`

- ★ Pozwala zadeklarować specjalny rodzaj wskaźnika do metody
- ★ Standard C++ pozwala jedynie na pełną specyfikację jak na stronie 82 i w poniższym przykładzie:

```
1  class base
2  {
3    public:
4      void func(int x) { };
5  };
6  typedef void (base::* pBaseMember)(int);
7  int main(int argc, char* argv[])
8  {
9    base baseObject;
10   pBaseMember m = &base::func;
11   (baseObject.*m)(17);
12   return 0;
13 }
```

★ Standard C++ nie pozwala na to, by takiemu wskaźnikowi przypisać adres do metody klasy potomnej:

```
1  class derived: public base
2  {
3    public:
4      void new_func(int i) { };
5  };
6  int main(int argc, char* argv[])
7  {
8    derived derivedObject;
9    pBaseMember m = &derived::new_func; // Błąd!
10   return 0;
11 }
```

- ★ **`__closure`** definiuje wskaźnik do metody związanej z konkretnym obiektem
- ★ Zależności hierarchii klas nie mają znaczenia – tylko liczba i typy argumentów oraz typ zwracanej wartości.
- ★ Przykład nazwiązujący do poprzednich:

```
1 int main(int argc, char* argv[])
2 {
3   derived derivedObject;
4   void (__closure *derivedClosure)(int);
5   derivedClosure = derived::new_func;        // Błąd!
6   derivedClosure = derivedObject.new_func;  // OK
7   derivedClosure(3);   // derivedObject.new_func(3);
8   return 0;
9 }
```

★ **__closure** działa również dla wskaźników:

```
1  void func1(base *pObj)
2  {
3    void (__closure *myClosure)(int);
4    myClosure = pObj->func;
5    myClosure(1);
6    return;
7  }
8
9  int main(int argc, char* argv[])
10 {
11   derived derivedObject;
12   void (__closure *derivedClosure)(int);
13   derivedClosure = derivedObject.new_func;
14   derivedClosure(3);
15   func1(&derivedObject);
16   return 0;
17 }
```

- ★ `__closure` to podstawa Borlandowego środowiska RAD (Rapid Application Development) – zarówno w Delphi jak i C++ Builderze – pozwala przypisywać funkcje obsługi zdarzeń poszczególnym obiektom.
- ★ Przykłady:
  - ▶ zdarzenie `OnClick` dla obiektu klasy `TButton`
  - ▶ zdarzenie `OnChange` dla obiektu klasy `TEdit`
  - ▶ zdarzenie `OnMouseMove` dla obiektu dowolnej klasy dziedziczącej po `TControl`

`__property`

Zapotrzebowanie:

★ Często chronimy pola, ale tworzymy publiczne metody do ich obsługi. Na przykład:

```
1 class XYZ {
2     int rozmiar;
3     char *bufor;
4   public:
5     ...
6     int Rozmiar() {return rozmiar;}
7     void UstawRozmiar(int r) {rozmiar = r;
8             delete[] bufor; bufor = new char[rozmiar];}
9 };
```

★ Żmudne i trzeba pamiętać nazwy albo stosować zawsze ten sam schemat (np. `GetXX()` i `SetXX()`).

Ładniejsze rozwiązanie z użyciem `__property`

```
1  class XYZ {
2      int _rozmiar;
3      char *bufor;
4      int Rozmiar() {return _rozmiar;}
5      void UstawRozmiar(int r) {_rozmiar = r;
6              delete[] bufor; bufor = new char[_rozmiar];}
7    public:
8      ...
9      __property int rozmiar = {read = Rozmiar,
10                               write = UstawRozmiar};
11     /* albo */
12     __property int rozmiar = {read = _rozmiar,
13                               write = UstawRozmiar};
14 };
```

Wówczas instrukcja `x.rozmiar = 5;` jest równoważna wywołaniu `x.UstawRozmiar(5);`.

Syntaktyka `__property`:

```
__property type propertyName[index1Type index1]
                  [indexNType indexN] = { attributes };
```

gdzie

- `type` jest pewnym znanym typem (standardowym lub wcześniej zdefiniowanym),
- `propertyName` jest identyfikatorem,
- `indexNType` jest pewnym znanym typem (standardowym lub wcześniej zdefiniowanym),
- `indexN` jest nazwą parametru (indeksu) przekazywanego funkcjom **`read`** i **`write`**,
- `attributes` jest listą oddzielonych przecinkami deklaracji **`read`**, **`write`**, **`stored`**, **`default`** (lub **`nodefault`**) lub **`index`**.

Parametry `indexN` są opcjonalne – definiują własności tablicowe.

Przykłady deklaracji __property:

```
1  class PropertyExample {
2      private:
3          int Fx,Fy;
4          float Fcells[100][100];
5      protected:
6          int  readX()           {return(Fx);}
7          void writeX(int newFx) {Fx = newFx;}
8          double computeZ() {/* ... */ return(0.0);}
9          float cellValue(int row, int col)
10             {return(Fcells[row][col]);}
11     public:
12         __property int    X = {read=readX, write=writeX};
13         __property int    Y = {read=Fy};
14         __property double Z = {read=computeZ};
15         __property float Cells[int row][int col] =
16             {read=cellValue};
17 };
```

Przykład wykorzystania

```
1 PropertyExample pe;
2
3 pe.X = 42;                  // pe.writeX(42);
4 int    myVal1 = pe.Y; // myVal1 = pe.Fy;
5 double myVal2 = pe.Z; // myVal2 = pe.ComputeZ();
6 float  cellV = pe.Cells[3][7]; // cellV = pe.cellValue(3,7);
```

Własności mogą także:

- ★ przypisywać te same metody czytania i pisania do różnych własności (z użyciem atrybutu **index**)
- ★ mieć wartości domyślne
- ★ być zapamiętywane w plikach opisu okien bądź nie
- ★ być rozszerzane w klasach potomnych
- ★ ...

`__published`

- ★ Wykorzystywane przez środowisko RAD Borlanda
- ★ Własności pojawiające się w tej sekcji są wyświetlane przez inspektora obiektów (Object Inspector)
- ★ Tylko klasy dziedziczące po TObject mogą deklarować sekcję **`__published`**.
- ★ Dostępność składowych jest taka sama jak tych z sekcji **`public`**. Różnice są jedynie w sposobie generowania informacji dla RTTI.
- ★ W sekcji **`__published`** nie można deklarować
  - ► konstruktorów, destruktorów,
  - ► pól tablicowych,
  - ► obiektów typów innych niż porządkowe, rzeczywiste, łańcuchowe, zbiorowe, klasowe i wskazujące na składowe.

`__thread`

- ★ Programowanie wielowątkowe – równolegle wykonywane wątki programu.
- ★ Zmienne globalne w programowaniu wielowątkowym
  - ► Zagrożenie problemami wielodostępu.
  - ► Prosty i atrakcyjny mechanizm komunikacji między wątkami
- ★ Czasami bardzo przydatne mogą być zmienne globalne w ramach wątku, ale nie współdzielone przez różne wątki. Modyfikator **`__thread`**:

  ```
  int __thread x;
  ```

  deklaruje zmienną jako lokalną dla wątku, a zarazem globalną w ramach wątku.
- ★ Modyfikator **`__thread`** może być użyty tylko dla zmiennych globalnych i statycznych.
- ★ Wskaźniki i zmienne typu funkcyjnego nie mogą być lokalnymi dla wątków.
- ★ Typy, które używają techniki „copy-on-write” (jak AnsiString) mogą być niebezpieczne jako typy zmiennych lokalnych dla wątku.

★ Zmienna wymagająca inicjalizacji bądź finalizacji w trakcie działania programu nie może być deklarowana jako **`__thread`**.

- zmienna inicjalizowana poprzez wywołanie funkcji:

```
1 int f();
2 int __thread x = f();    // Błąd!
```

- obiekty typów klasowych definiujących konstruktor bądź destruktor

```
1 class X {
2    X();
3    ~X();
4 };
5 X __thread myclass;       // Błąd!
```

Projektowanie obiektowe

- ★ Zrozumienie zadania
- ★ Algorytmy i struktury danych
- ★ Implementacja

Przykład: Zadanie Alice & Bob – konkurs programowania zespołowego ACM – Europa Centralna 2001

Technika *top-down* - zaczynamy od funkcji `main()`

```
1  void main()
2  {
3      int ileZadan;
4      ZadanieAB ab;
5      fstream input("ab.in");
6      fstream output("ab.out", ios::out);
7
8      input >> ileZadan;
9      for (int i=0; i<ileZadan; i++)
10     {
11       input >> ab;
12       ab.Rozwiaz();
13       output << ab;
14     }
15 }
```

Schemat klasy rozwiązującej zadanie:

```
1  class ZadanieAB
2  {
3    // Podstawowe dane
4    int n, m;         // liczby wierzchołków i przekątnych
5    Odcinki o;        // tablica odcinków
6    // Rezultaty
7    bool sukces;
8    int *numer;       // numery kolejnych wierzchołków
9
10 public:
11   bool Rozwiaz();
12
13   friend istream& operator>>(istream& is, ZadanieAB &ab);
14   friend ostream& operator<<(ostream& os, const ZadanieAB &ab);
15 };
```

Szablony a przyjaciele

- ★ Norma języka nie przewiduje problemów.
- ★ Niestety, konkretne implementacje w problemy obfitują.

```
1 template<class T>
2 class task {
3     // ...
4     friend void next_time();
5     friend task<T>* preempt(task<T>*);
6     friend task* prmt(task*);              // task is task<T>
7     friend class task<int>;
8     // ...
9 };
```

Zaprzyjaźniony operator – outline

```
1  template<class T>
2  class TempOp
3  {
4      T x;
5    public :
6      friend
7      ostream &operator <<(ostream &os, const TempOp<T> &to);
8  };
9  template<class T>
10 ostream &operator <<(ostream &os, const TempOp<T> &to)
11 {
12     os << to.x << endl;
13     return os;
14 }
```

★ Zgodne ze standardem, ale g++ akceptuje, u Borlanda problemy linkera!

Zaprzyjaźniony operator – inline

```
1  template<class T>
2  class TempOp
3  {
4      T x;
5    public :
6      friend
7      ostream &operator <<(ostream &os, const TempOp<T> &to)
8      {
9        os << to.x << endl;
10       return os;
11     }
12 };
```

★ Zgodne ze standardem i akceptowane przez Borland C++ i g++.

inline z ponowną deklaracją szablonu

```
1  template<class T>
2  class TempOp
3  {
4     T x;
5    public :
6     template <class P>
7     friend
8     ostream &operator <<(ostream &os, const TempOp<P> &to)
9     {
10      os << to.x << endl;
11      return os;
12    }
13 };
```

★ Może działać, ale nie jest to właściwa definicja.

★ Działa, gdy mamy jedną specjalizację klasy:

```
1   TempOp<int> i;
2   cout << i;
```

★ Przestaje, gdy mamy więcej specjalizacji:

```
1   TempOp<double> to;
2   TempOp<int> i;
3   cout << to;
4   cout << i;
```

Kompilator zgłasza niejednoznaczność.

STL – Standard Template Library

- ★ Teraz już jest częścią standardu języka.
- ★ Implementacja SGI `http://www.sgi.com/tech/stl/` – wykorzystywana m.in. w Borland C++.
- ★ Implementuje szablony wielu bardzo przydatnych struktur danych i algorytmów:
  - ▶ Kontenery:
    `vector, deque, list, set, multiset, map, multimap`,
    oraz dodatkowo w implementacji SGI:
    `hash_set, hash_multiset, hash_map, hash_multimap`.
  - ▶ Iteratory
  - ▶ Algorytmy: `reverse, find, for_each, sort` ...

`vector<T,Alloc>`

★ Przykład:

```
1 vector<int> v;
2 v.reserve(100);
3 for (unsigned i=0; i<100; i++)
4   v[i] = i*i;
5 v.push_back(117);
6 for (unsigned i=0; i<v.size(); i++)
7   cout << v[i] << endl;
```

★ Parametry:

`T` – typ elementów wektora

`Alloc` – alokator pamięci

★ Wybrane składowe:

`reference`	typ: referencja na `T`
`pointer`	typ: wskaźnik na `T`
`iterator`	typ do iterowania elementów
`vector()`	tworzy pusty wektor
`vector(size_type n)`	tworzy wektor `n`-wymiarowy
`vector(size_type n, const T& t)`	tworzy wektor z `n` kopii obiektu `t`
`iterator begin()`	zwraca iterator wskazujący na początek
`iterator end()`	zwraca iterator wskazujący na koniec
`reference front()`	zwraca pierwszy element
`reference back()`	zwraca ostatni element
`size_type size() const`	zwraca rozmiar wektora
`size_type capacity() const`	ile zarezerwowanej pamięci (elementów)
`reference operator[](size_type n)`	zwraca n'ty element
`void reserve(size_t n)`	zapewnia `n` elementów wektora
`void resize(n, t = T())`	dodaje bądź usuwa by było `n` elementów
`void push_back(const T&)`	wstawia element na koniec
`void pop_back()`	usuwa ostatni element
`iterator erase(iterator pos)`	usuwa wskazany element

Iteratory

- ★ Uogólnienie wskaźników.
- ★ Główny cel – sprawne poruszanie się po strukturach danych.
- ★ Przykład: wskaźniki istotnie szybciej pozwalają przebiec przez wszystkie elementy tablicy niż iterowanie zmiennej całkowitej i dostęp do danych przez **`operator[]`**:

```
1  const int n = 100000;
2  int tab[n];
3  // nieoptymalnie
4  for (int i=0; i<n; i++)
5    tab[i] = i;     // to samo co *(tab+i) = i;
6  // optymalnie
7  for (int i = n, *p=tab+n; p--; )
8    *p = --i;
```

★ Podejście naiwne:

```
1  template<class T>
2  class Vector
3  {
4    protected:
5      T *data;
6      int size;
7    public:
8      Vector(int s) {data=new T[size=s]; }
9      ~Vector() {delete[] data;}
10     T &operator[] (int i) {return data[i];}
11     int Size() {return size;}
12 };
13 ...
14   Vector<int> w;
15   ...
16   for (int i=0; i<w.Size(); i++)
17     w[i] = i;
```

★ Podejście z niepoprawnym iteratorem (wolniej niż naiwnie):

```
1  template<class T>
2  class Vector {
3      // ...
4      class Iterator {
5          T *ptr;
6        public:
7          Iterator(T *p) {ptr = p;}
8          T &operator *() {return *ptr;}
9          void operator ++() {ptr++;}
10         int operator <(const Iterator &i) {return ptr<i.ptr;}
11     };
12     Iterator begin() {return data;}
13     Iterator end() {return data+size;}
14 };
15 ...
16   Vector<int>::Iterator it=w.begin(), e=w.end();
17   for (int i=0; it<e; it++)
18     *it = i++;
```

★ Podejście z poprawnym iteratorem:

```
1  template<class T>
2  class Vector
3  {
4    protected:
5      T *data;
6      int size;
7    public:
8      Vector(int s) {data=new T[size=s]; }
9      ~Vector() {delete[] data;}
10
11     typedef T* Iterator;
12     Iterator begin() {return data;}
13     Iterator end() {return data+size;}
14 };
15 ...
16   Vector<int>::Iterator it=w.begin(), e=w.end();
17   for (int i=0; it<e; it++)
18     *it = i++;
```

`deque<T,Alloc>`

★ Przykład:

```
1 deque<int> Q;
2 Q.push_back(3);
3 Q.push_front(1);
4 Q.insert(Q.begin() + 1, 2);
5 Q[2] = 0;
6 copy(Q.begin(), Q.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
7 // Na wyjściu dostaniemy: 1 2 0
```

★ Parametry:

`T` – typ elementów

`Alloc` – alokator pamięci

- ★ Niemal to samo co `vector`, ale dodaje i usuwa pierwszy element w stałym czasie.
- ★ Nie posiada metod `capacity()` i `reserve()`.
- ★ Dodatkowe składowe:

`void push_front(const T&)`	wstawia element na początek
`void pop_front()`	usuwa pierwszy element

`list<T,Alloc>`

- ★ Lista dwukierunkowa
- ★ Przykład:

```
1 list<int> L;
2 L.push_back(0);
3 L.push_front(1);
4 L.insert(++L.begin(), 2);
5 copy(L.begin(), L.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
6 // Na wyjściu dostajemy: 1 2 0
```

- ★ Parametry:
  - `T` – typ elementów listy
  - `Alloc` – alokator pamięci

★ Wybrane składowe:

`reference`	typ: referencja na `T`
`pointer`	typ: wskaźnik na `T`
`iterator`	typ do iterowania elementów
`list()`	tworzy pustą listę
`list(size_type n)`	tworzy listę `n` elementów `T()`
`list(size_type n, const T& t)`	tworzy wektor z `n` kopii obiektu `t`
`iterator begin()`	zwraca iterator wskazujący na początek
`iterator end()`	zwraca iterator wskazujący na koniec
`reference front()`	zwraca pierwszy element
`reference back()`	zwraca ostatni element
`size_type size() const`	zwraca rozmiar wektora
`reference operator[](size_type n)`	zwraca n'ty element
`void reverse()`	odwraca kolejność elementów
`void push_back(const T&)`	wstawia element na koniec
`void remove(const T& value)`	usuwa elementy równe `value`
`void merge(list& L)`	łączy uporządkowane listy
`void sort()`	sortuje (stabilnie, złożoność $n \log n$)

slist<T,Alloc>

- ★ Lista jednokierunkowa
- ★ Przykład:

```
1   slist<int> L;
2   L.push_front(0);
3   L.push_front(1);
4   L.insert_after(L.begin(), 2);
5   copy(L.begin(), L.end(),          // Na wyjściu 1 2 0
6        ostream_iterator<int>(cout, " "));
7   cout << endl;
8
9   slist<int>::iterator back = L.previous(L.end());
10  back = L.insert_after(back, 3);
11  back = L.insert_after(back, 4);
12  back = L.insert_after(back, 5);
13  copy(L.begin(), L.end(),          // Na wyjściu: 1 2 0 3 4 5
14       ostream_iterator<int>(cout, " "));
15  cout << endl;
```

- ★ Mniej zajętej pamięci niż w `list`
- ★ Większa złożoność pewnych operacji np `insert()` i `erase()`
- ★ Lista metod niemal identyczna z `list`

`set<Key, Compare, Alloc>`

- ★ Implementacja zbioru reprezentowanego w sposób uporządkowany dla sprawniejszej obsługi, wstawianie jednego (uporządkowanego) zbioru do drugiego jest bardzo szybkie itp.
- ★ Prosty kontener asocjacyjny – klucze i wartości (tutaj tożsame)
- ★ Parametry:
  - `Key` – typ elementów zbioru (kluczy i wartości)
  - `Compare` – funkcja porównująca zdefiniowana jako klasa
  - `Alloc` – alokator pamięci
- ★ Przykład:

```
1 struct ltstr
2 {
3   bool operator()(const char* s1, const char* s2) const
4   {
5     return strcmp(s1, s2) < 0;
6   }
7 };
8
```

```
 9 int main()
10 {
11   const int N = 6;
12   const char* a[N] = {"isomer", "ephemeral", "prosaic",
13                       "nugatory", "artichoke", "serif"};
14   const char* b[N] = {"flat", "this", "artichoke",
15                       "frigate", "prosaic", "isomer"};
16
17   set<const char*, ltstr> A(a, a + N);
18   set<const char*, ltstr> B(b, b + N);
19   set<const char*, ltstr> C;
20
21   cout << "Set A: ";
22   copy(A.begin(), A.end(), ostream_iterator<const char*>(cout, " "));
23   cout << endl;
24   cout << "Set B: ";
25   copy(B.begin(), B.end(), ostream_iterator<const char*>(cout, " "));
26   cout << endl;
27
```

```
28    cout << "Union: ";
29     set_union(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
30               ostream_iterator<const char*>(cout, " "),
31               ltstr());
32    cout << endl;
33
34    cout << "Intersection: ";
35    set_intersection(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
36                     ostream_iterator<const char*>(cout, " "),
37                     ltstr());
38    cout << endl;
39
40    set_difference(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
41                   inserter(C, C.begin()),
42                   ltstr());
43    cout << "Set C (difference of A and B): ";
44    copy(C.begin(), C.end(), ostream_iterator<const char*>(cout, " "));
45    cout << endl;
46  }
```

multiset<Key, Compare, Alloc>

- ★ Podobnie jak w `set`, ale z możliwymi powtórzeniami elementów
- ★ Przykład:

```
1  int main()
2  {
3    const int N = 10;
4    int a[N] = {4, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 5, 1, 0};
5    int b[N] = {4, 4, 2, 4, 2, 4, 0, 1, 5, 5};
6
7    multiset<int> A(a, a + N);
8    multiset<int> B(b, b + N);
9    multiset<int> C;
10
11   cout << "Set A: ";
12   copy(A.begin(), A.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
13   cout << endl;
14   cout << "Set B: ";
15   copy(B.begin(), B.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
```

```
16    cout << endl;
17
18    cout << "Union: ";
19    set_union(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
20              ostream_iterator<int>(cout, " "));
21    cout << endl;
22
23    cout << "Intersection: ";
24    set_intersection(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
25                     ostream_iterator<int>(cout, " "));
26    cout << endl;
27
28    set_difference(A.begin(), A.end(), B.begin(), B.end(),
29                   inserter(C, C.begin()));
30    cout << "Set C (difference of A and B): ";
31    copy(C.begin(), C.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
32    cout << endl;
33 }
```

`map<Key, Data, Compare, Alloc>`

- ★ Posortowany kontener asocjacyjny przypisujący obiektom typu `Key` (kluczom) obiekty typu `Data` (wartości).
- ★ Kontener par `pair<const Key, Data>`.
- ★ Klucze muszą być unikalne.
- ★ Parametry:
  - `Key` – typ kluczy
  - `Data` – typ wartości
  - `Compare` – funkcja porównująca klucze
  - `Alloc` – alokator pamięci
- ★ Przykład:

```
1 struct ltstr
2 {
3   bool operator()(const char* s1, const char* s2) const
4   {
5     return strcmp(s1, s2) < 0;
6   }
7 };
```

```
 8
 9 int main()
10 {
11   map<const char*, int, ltstr> months;
12
13   months["january"] = 31;
14   months["february"] = 28;
15   months["march"] = 31;
16   months["april"] = 30;
17   months["may"] = 31;
18   months["june"] = 30;
19   months["july"] = 31;
20   months["august"] = 31;
21   months["september"] = 30;
22   months["october"] = 31;
23   months["november"] = 30;
24   months["december"] = 31;
25
26   cout << "june -> " << months["june"] << endl;
```

```
27    map<const char*, int, ltstr>::iterator cur  = months.find("june");
28     map<const char*, int, ltstr>::iterator prev = cur;
29    map<const char*, int, ltstr>::iterator next = cur;
30    ++next;
31    --prev;
32    cout << "Previous (in alphabetical order) is "
33         << (*prev).first << endl;
34    cout << "Next (in alphabetical order) is "
35         << (*next).first << endl;
36  }
```

multimap<Key, Compare, Alloc>

- ★ Podobnie jak w `map`, ale z możliwymi powtórzeniami kluczy
- ★ Przykład:

```
1  struct ltstr
2  {
3    bool operator()(const char* s1, const char* s2) const
4    {
5      return strcmp(s1, s2) < 0;
6    }
7  };
8
9  int main()
10 {
11   multimap<const char*, int, ltstr> m;
12
13   m.insert(pair<const char* const, int>("a", 1));
14   m.insert(pair<const char* const, int>("c", 2));
15   m.insert(pair<const char* const, int>("b", 3));
```

```
16    m.insert(pair<const char* const, int>("b", 4));
17     m.insert(pair<const char* const, int>("a", 5));
18    m.insert(pair<const char* const, int>("b", 6));
19
20    cout << "Number of elements with key a: " << m.count("a") << endl;
21    cout << "Number of elements with key b: " << m.count("b") << endl;
22    cout << "Number of elements with key c: " << m.count("c") << endl;
23
24    cout << "Elements in m: " << endl;
25    for (multimap<const char*, int, ltstr>::iterator it = m.begin();
26         it != m.end();
27         ++it)
28     cout << "  [" << (*it).first << ", " << (*it).second << "]" << endl;
29  }
```