(Średnio) zaawansowane programowanie w C++ (ZPR)

Wykład 3 - sprytne wskaźniki

Robert Nowak

24L

Deklaracja i definicja

Deklaracja - sygnalizacja że pewna nazwa odnosi się do „czegoś”

```
extern int x; //deklaracja obiektu
long silnia(long n); //deklaracja funkcji
class Logger; //deklaracja klasy
template<typename T> class Node; //deklaracja szablonu
```

Definicja - podanie szczegółów;

```
int x = 4; //definicja i inicjacja zmiennej x
long silnia(long n) { //definicja funkcji
  if(n < 2) return 1;
  return n * silnia(n-1);
};
```

Inicjacja - nadanie początkowej wartości

Definicja obiektu: wtedy gdy można zainicjować

Obiekt. Czas życia obiektu.

Obiekt: ma typ oraz unikalny identyfikator.

`l-wartość`: odnosi się do „czegoś” co istnieje w pamięci.

- automatyczne
  - tworzone w chwili napotkania definicji
  - są niszczone w momencie wyjścia z zasięgu (np. z bloku)
- statyczne (globalne i zadeklarowane jako `static`)
  - tworzone tylko raz
  - są niszczone po zakończeniu programu
- dynamiczne (tworzone na stercie)
  - operatory `new` i `delete` (uwaga! oddzielna wersja dla tablic),
  - programista steruje czasem życia obiektów (tworzy je i usuwa),
  - Nie używamy funkcji z `<stdlib.h>`, czyli `malloc`, `free` itp.
- tymczasowe

Obiekty. Konwersja typów

- **Nie używa się rzutowania w stylu 'C'!**
- nie używa się `void*`
- konstruktory `explicit`

Operatory rzutowania (unikać):

- `static_cast` - konwersję pomiędzy „spokrewnionymi" typami
- `dynamic_cast` - rzutowanie w dół hierarchii klas
- `const_cast` - znosi kwalifikator `const`
- `reinterpret_cast` - dowolna konwersja (tak jak w C)

```
double d = 3.2;
int i = static_cast<int>(d); //przykład rzutowania
```

Mechanizmy obsługi błędów (problem komunikacji)

- autor biblioteki może wykryć błąd, nie wie, co z nim zrobić
- użytkownik wie co zrobić z błędem, nie potrafi go wykryć

Mechanizmy:

- Nieprawidłowe:
  - ignorowanie błędów
  - kończenie działania programu
  - komunikaty dla użytkownika.
- Kłopotliwe:
  - kod powrotu
  - zmienna globalna
  - specjalny błędny stan obiektu
  - ANSI: longjmp
- Mechanizm wyjątków.

kod powrotu

```
class Wektor {
  /* ...  */
  bool add(int i);//Zwraca false gdy niepowodzenie
};
//Przykład użycia
Foo foo;
if(!foo.add(4)) //Sprawdzanie, czy nie wystąpił błąd
  //Tutaj kod obsługi błędu
```

- rezerwacja zwracanej wartości na kod błędu
- wartość zwracana musi być badana (użytkownik może zignorować fakt wystąpienia błędu)
- kod obsługi błędów wymieszany z innym kodem

zmienna globalna

Sygnalizacja wystąpienia błędu przez ustawianie wartości zmiennej globalnej. (np. #include <errno.h>)

```
extern int errno;//Zmienna globalna, przechowuje kody błędów
class Plik {
  /* ...  */
  void zapisz(const char* buf);//Ustawia errno gdy wystąpi błąd
};
Plik p;//Przykład użycia
p.zapisz(buforA);
if(errno == ENOFILE)//Sprawdzanie, czy wystąpił określony błąd
  //Obsługa błędu
```

- obiekt globalny - potencjalne źródło kłopotów
- należy co jakiś czas sprawdzać wartość (użytkownik może zignorować fakt wystąpienia błędu)
- kod obsługi błędów wymieszany z innym kodem

skoki (#include <csetjmp>)

```
jmp_buf buf;//struktura, która zapamiętuje stan procesora
int main(){
  if( ! setjmp(buf) ){ //rej.  stan procesora.  Zwraca 0
    /* tutaj obliczenia, które mogą być błędne */
  }
  else {/* wygenerowano błąd */}
}
int f(){
  longjmp(buf, 23); //skok do stanu, który przechowuje buf
  //skutkuje powrotem z funkcji setjmp z daną wartością
}
```

- identyfikacja błędów przez numer (globalnie)
- nie przekazuje dodatkowych informacji o błędach (można wspomóc się zmiennymi globalnymi)
- nie usuwa automatycznych obiektów przy wychodzeniu z bloku (nie woła destruktorów)

Mechanizm wyjątków

```
class Wektor {
  int* tab;
  int rozm;
public:
  class Zakres{ }; //Klasa wyjątku
  int& operator[](int idx) {
    if(idx >= 0 && idx < rozm) return tab[i];
    else throw Zakres(); //Funkcja biblioteczna rzuca wyjątek
  }
};
void f(Wektor& w) {
  try { //Funkcja użytkownika będzie przechwytywać wyjątki
    g(w);
  }
  catch(Wektor::Zakres) { //Procedura obsługi wyjątku
    //kod obsługi błędu
  }
}
```

Wyjątki - właściwości

- nie rezerwuje wartości zwracanej (konstruktory mogą zwracać błędy)
- brak obiektów globalnych
- użytkownik nie może zignorować zgłoszonego błędu
- kod obsługi błędów oddzielony od innego kodu

Wymaga wsparcia przez język

- mechanizm „rzucania” wyjątku
  - inny mechanizm powrotu
  - korzysta ze zwijania stosu
- specyfikacja interfejsu
- niewyłapane wyjątki

Klasy, które reprezentują błędy - specjalny typ klas

- Powinny dziedziczyć po **std::exception**
- Konstruktor wyjątku nie może zgłaszać wyjątków!
- Często implementują wzorzec wizytatora
- Tworzone podczas zgłaszania wyjątku w specjalnym miejscu

```
//Przykładowa klasa błędu przy konwersji napisu na liczbę
class InputException : public std::exception {
  char bad_char;
public:
  InputException(char c) : bad_char(c) {}
  InputException(const InputException& e) throw()
    : bad_char(e.bad_char){}
  char getBadChar() const { return bad_char;}
};
```

Mechanizm wyjątków : koszty

- rejestracja bloków try - catch
- koszt rzucenia wyjątku wysoki, w porównaniu z kosztem zwracania obiektu, wolniej $\approx 100\times$!
  - obiekt zawsze jest kopiowany (niezależnie od tego, czy jest łapany przez referencję, wskaźnik czy wartość)
  - jeżeli obiekt jest łapany przez wartość to podwójna kopia
  - nie ma możliwości optymalizacji
  - rozpoznawanie typu (w catch) wykorzystuje mechanizmy RTTI, koszt taki jak dynamic_cast

Wyjątki : zasady stosowania

- Hierarchie klas: możliwość grupowania błędów
- Nie należy rzucać wyjątków w destruktorach
- Wyjątek rzucać przez wartość

```
throw Exception //zgłasza wyjątek przez wartość
throw new Exception;//zajmuje pamięć na stercie!
```

- Wyjątek przechwytywać przez referencję

```
catch(Exception& e) //przechwytuje przez referencję
catch(Exception e) //tworzy lokalną kopię
```

- Należy reagować na wszystkie wyjątki

Kod bezpieczny przy uwzględnieniu wyjątków

Przykład:

```
class Bitmap { /* ...  */ };
class Okno {
public:
  /* ...  */
private:
  Bitmap* b;
  /* ...  */
};
```

```
Okno& operator=(const Okno& o) {
  delete b;
  b = new Bitmap(*o.b);
  return *this;
}
Okno& operator=(const Okno& o) {
  if(this == &o) return *this;
  delete b;
  b = new Bitmap(*o.b);
  return *this;
}
Okno& operator=(const Okno& o) {
  Bitmap* old = b;
  b = new Bitmap(*o.b);
  delete old;
  return *this;
}
```

testowanie funkcji uwzględniając wyjątki

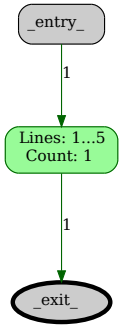
```
1 template<typename T> void std::swap(T& a, T& b) {
2   T tmp = a;
3   a = b;
4   b = tmp;
5 }
```

Testy:

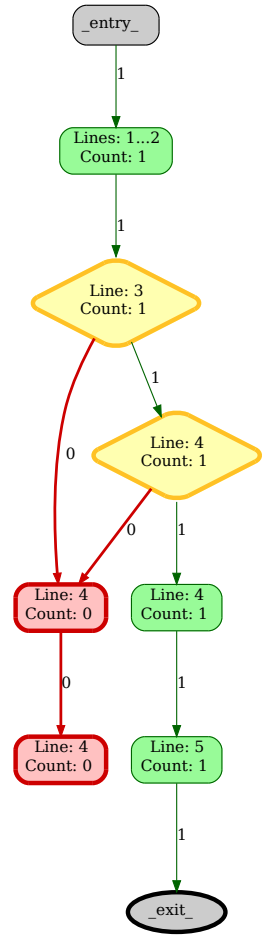
```
//test dla typu
//wbudowanego
int a = 2, b = 3;
swap(a,b);

//test dla typu
//użytkownika
Foo f1(2), f2(3);
swap(f1 ,f2);
```

```
try { //wyjątek w operatorze przypisania
    swap(f1, f2); //test 2
} catch(std::exception&) {}

try { //j.w., wyjątek za drugim razem
    swap(f1, f2); //test 3
} catch(std::exception&) {}

try { //wyjątek w konstruktorze kopiującym
    swap(f1, f2); //test 4
} catch(std::exception&) {}
```

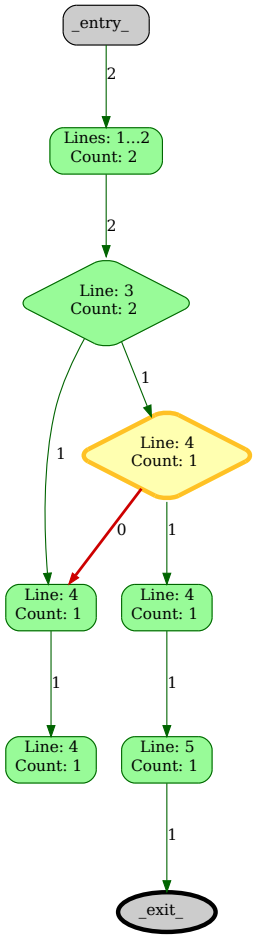
testy swap<int>
Pokrycie: 100%



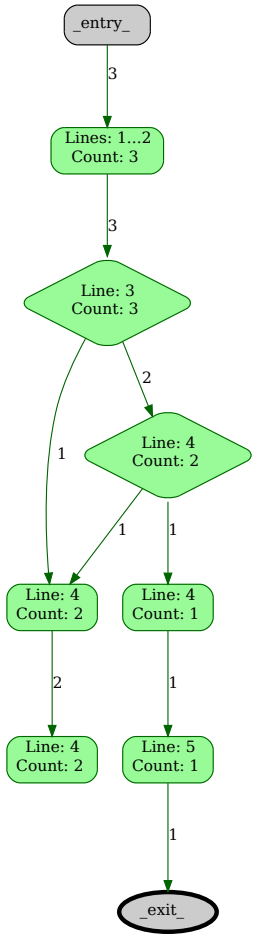
testy swap<Foo>
test 1
Pokrycie: 50%



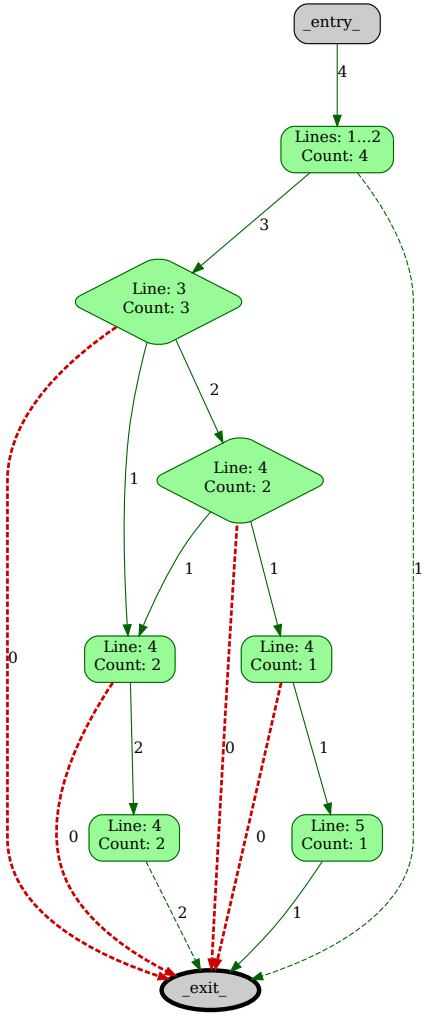
testy swap<Foo>
test1 oraz test2
Pokrycie: 75%



testy swap<Foo>
test 1, test 2, test 3
Pokrycie: 100%



testy swap<Foo>
wszystkie testy
Pokrycie: 100%



mechanizm wyjątków a zasoby

```
void f1() {
  int* tmp = new int;
  //Kod, który używa tmp i może rzucić wyjątkiem
  delete tmp;
}
//Nieudolna poprawa
void f2() {
  int* tmp = new int;
  try {
    //Kod, który używa tmp i może rzucić wyjątkiem
  }
  catch(...) { //Przechwytuje wszystkie wyjątki
    delete tmp; throw;
  }
  delete tmp;
}
```

boost::scoped_ptr

- wzorzec RAII, „zdobywanie zasobów jest inicjowaniem”
- destruktor usuwa wskaźnik
- zabronione kopiowanie

```
template<typename T> class scoped_ptr : noncopyable {
public:
  explicit scoped_ptr(T* p = 0) : p_(p) {}
  ~scoped_ptr(){ delete p_; } //Usuwa obiekt wskazywany
  T& operator*() { return *p_; }
  T* operator->() { return p_; }
private:
  T* p_; //Wskaźnik, którym zarządza
};
void f() {
  scoped_ptr<MojaKlasa> klasa(new MojaKlasa);
  klasa->get(); //używamy klasy tak jak wskaźnika
  //kod, który może wyrzucać wyjątki
} //Destruktor klasy scoped_ptr wywoła operator delete
```

std::auto_ptr - kopiowanie jest przekazywaniem własności

- Wykorzystuje RAII
- Destruktor usuwa wskaźnik
- Dozwolone kopiowanie (!) - **przenosi ono uprawnienia**

```
template<typename T> class auto_ptr {
public:
  explicit auto_ptr(T* p = 0) : p_(p) {}
  //nie jest const auto_ptr& !
  auto_ptr(auto_ptr& a) p_(a.p_) { a.p_ = nullptr; }
  auto_ptr& operator=(auto_ptr& a); //nie jest const auto_ptr&
  ~auto_ptr() { delete p_; } //usuwa obiekt wskazywany
  T& operator*() { return *p_; }
  T* operator->() const { return p_; }
private:
  T* p_;
};
```

std::auto_ptr - wycofywany, zastąpił go std::unique_ptr

C++11, r-value reference, typename &&

```
struct Foo { //do demonstracji r-value
  Foo(int i) : i_(i) {}
  int i_;
};
void f(Foo& x) { cout << "l-value" << endl; }
void f(Foo&& x){ cout << "r-value" << endl; }

int main() {
  X x(2);
  f(x); //l-value
  f(3); //r-value
}
//Możliwość definiowania konstruktorów, które przenoszą zawartość
Foo(const Foo& f); //obiekt f nie będzie zmieniany
Foo(Foo&& f); //obiekt f może być zmieniony
```

r-value reference wykorzystane w std::unique_ptr

std::unique_ptr

- obiekty unique_ptr mają wielkość zwykłego wskaźnika
- RAII, automatycznie usuwają wskazywany obiekt w destruktorze

```
//zwraca wskaźnik na obiekt
std::unique_ptr<Foo> createFoo(int n) {
  return std::unique_ptr<Foo>(new Foo(n) );
}
createFoo(2); //nie wykorzystana wartość zwracana zostanie usunięta
std::make_unique<Foo>(2); //to samo
{
  std::unique_ptr<Foo> v = createFoo(3);
  //używa v
}//destruktor zwalnia zasob
```

std::unique_ptr (2)

std::unique_ptr – zawsze jest dokładnie jeden właściciel danych
przekazanie własności - konstruktor przenoszący lub funkcja move

```
std::unique_ptr<Foo> p = std::make_unique<Foo>(42);
std::unique_ptr<Foo> q = std::move(p);
//teraz p nie wskazuje na nic
q.reset(); //zwolnienie obiektu, jeżeli wskaźnik był właścicielem
q.reset(new Foo(43) ); //zwolnienie obiektu i zarządzanie nowym
Foo* raw = q.get(); //dostęp do gołego wskaźnika, utrzymując własność
```

unique_ptr mogą być przechowywane w kontenerach standardowych

```
std::unique_ptr<Foo> p = std::make_unique<Foo>(42); //to samo
std::vector< std::unique_ptr<Foo> > v;
v.push_back(p); //błąd kompilacji - nie ma konstruktora kopiującego
v.push_back( std::move(p) ); //v staje się wł. wskazywanego obiektu
//teraz p wskazuje na null
```

Rule of three, rule of five (C++11)

Dla klasy z niebanalnymi składowymi należy dostarczyć: destruktor, konstruktor kopiujący, operator przypisania

```
class Foo {
  /* ...  */
  Foo(const Foo& f) : ptr_(new Goo(*f.ptr_)) {}
  Foo& operator=(const Foo& f) { /* ...  */ }
  ~Foo() { delete ptr_; }
private:
  Goo* ptr_;
};
```

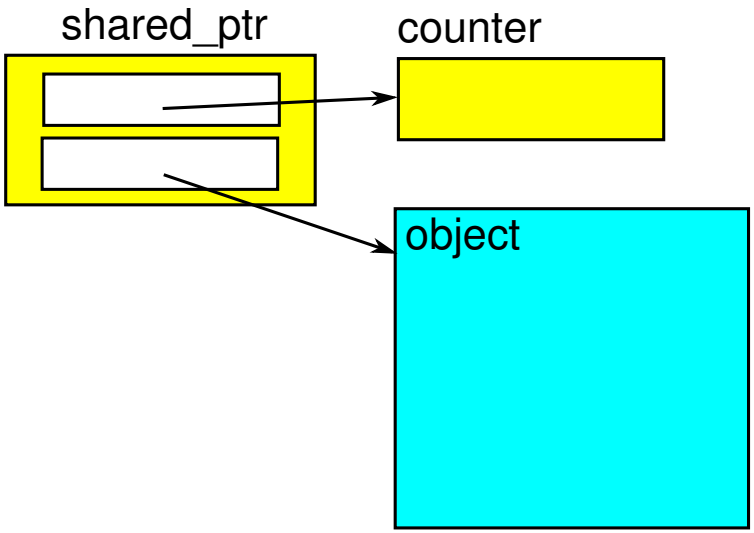
C++11: konstruktor przenoszący i przen. operator przypisania

```
  /* jak wyżej */
  Foo(Foo&& f) : ptr_(f.ptr_)) { f.ptr_ = nullptr; }
  Foo& operator=(Foo&& f) { /* ...  */ }
```

std::unique_ptr - zasoby i wyjątki

```
using S = const string&;
class Book {
  string n_; Image* i_; Audio* a_;
  public:
  //wersja 1
  Book(S n, S in, S an): n_(n),i_(new Image(in)),a_(new Audio(an)){}
  //wersja 2
  Book(S n, S in, S an) : n_(n) {
    i_ = new Image(in);
    try { a_ = new Audio(an);} catch(...){ delete i_; throw;}
  }
}
 //wersja 3
class Book {
  string n_; unique_ptr<Image> i_; unique_ptr<Audio> a_;
public:
  Book(S n, S in, S an): n_(n),i_(new Image(in)),a_(new Audio(an)){}
  ~Book() {}
};
```

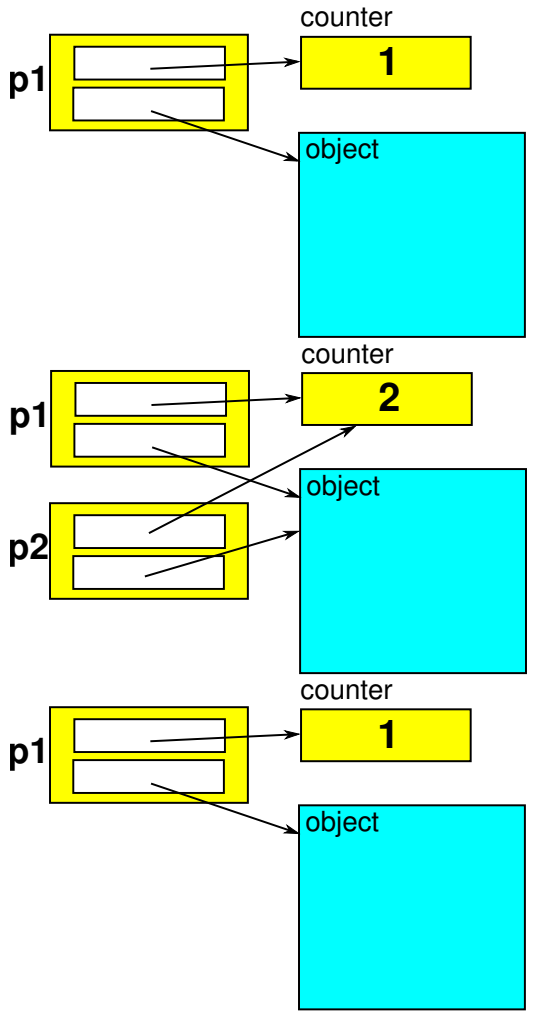
std::shared_ptr, boost::shared_ptr - sprytny wskaźnik



- konstruktor : tworzy licznik i inicjuje go na 1
- konstruktor kopiujący: zwiększa licznik odniesień
- destruktor: zmniejsza licznik odniesień, jeżeli ma on wartość 0 to kasuje obiekt

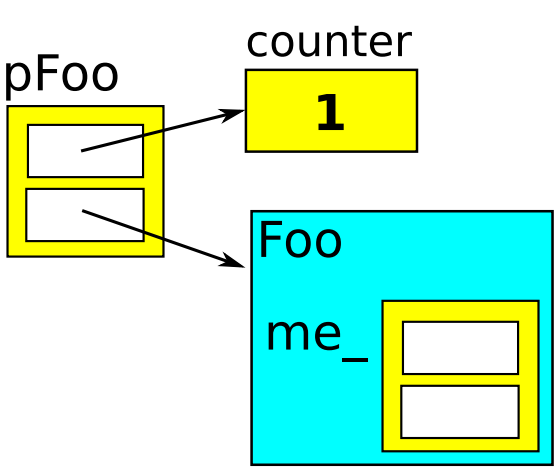
sprytny wskaźnik - przykład

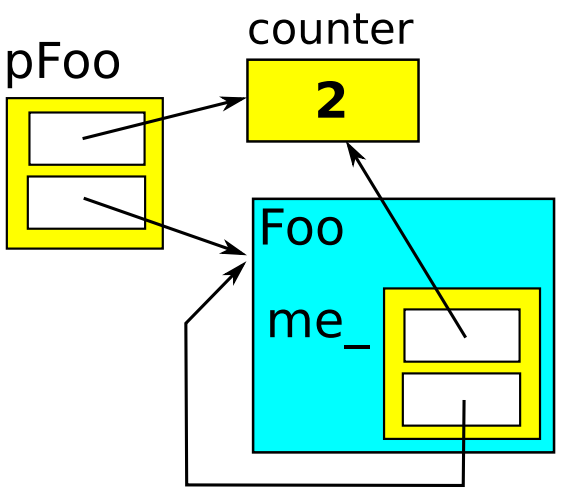
```
#include <memory>
class Foo { /* ...  */ };

{
  std::shared_ptr<Foo> p1(new Foo(1) );
  {
    std::shared_ptr<Foo> p2(p1);
    //licznik odniesien == 2
    /* ...  */
  } //destruktor p2, licznik = 1
} //destruktor p1 usuwa obiekt
```

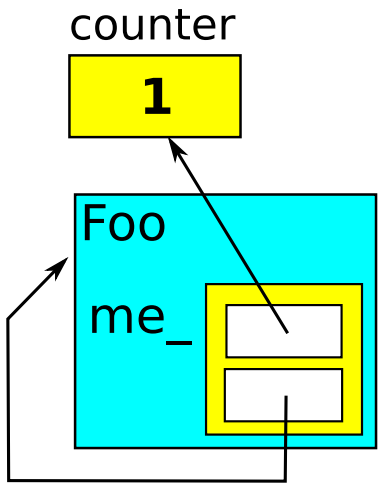


std::shared_ptr - problemy w zależnościach cyklicznych

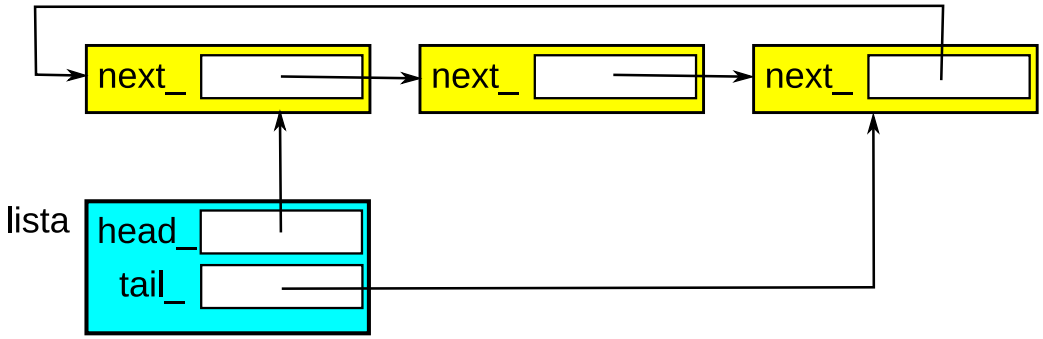
```
struct Foo {
  std::shared_ptr<Foo> me_;
  /* ...  */
};
std::shared_ptr<Foo> pFoo = new Foo;
pFoo->me_ = pFoo;
```







Jawne przerywanie zależności cyklicznej




```
class List { //lista cykliczna, patrz rysunek
  using PNode = std::shared_ptr<Node>;
  struct Node { //węzeł dla listy
    Node(PNode next) : next_(next) { }
    PNode next_; //wskaźnik na element następny
  };
public:
  ~List() { if( tail_ ) tail_->next_.reset(); } //jawnie przerywa zależność
cykliczną
   //destruktory obiektów head_ oraz tail_ skasują elementy listy
private:
  PNode head_, tail_;
};
```

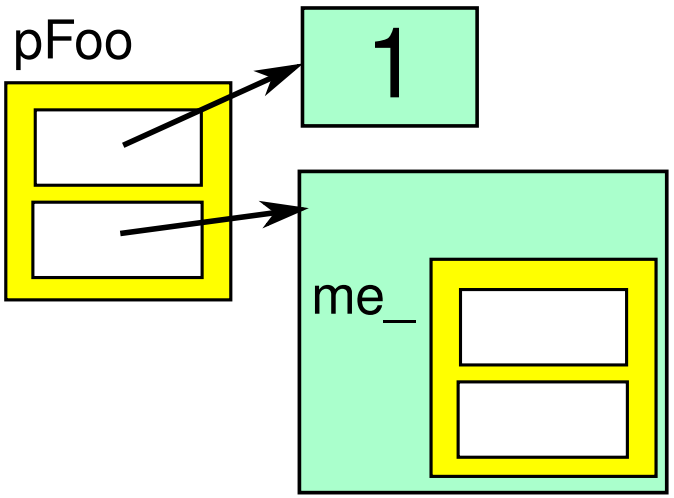
std::weak_ptr, boost::weak_ptr

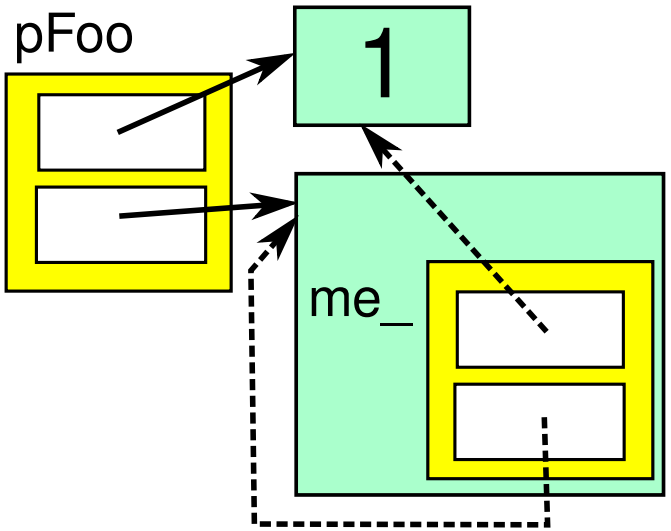
Pozwala prawidłowo implementować cykliczne zależności, nie zmienia licznika odniesień

```
template<class T> class weak_ptr {
public:
  weak_ptr();
  template<class Y> weak_ptr(std::shared_ptr<Y> const & r);
  weak_ptr(weak_ptr const & r);
  template<class Y> weak_ptr(weak_ptr<Y> const & r);
  ~weak_ptr();
  weak_ptr & operator=(weak_ptr const & r);
  template<class Y> weak_ptr & operator=(weak_ptr<Y> const & r);
  template<class Y> weak_ptr & operator=(std::shared_ptr<Y> const & r);
  long use_count() const;
  bool expired() const;
  std::shared_ptr<T> lock() const;
};
```

Wykorzystanie weak_ptr

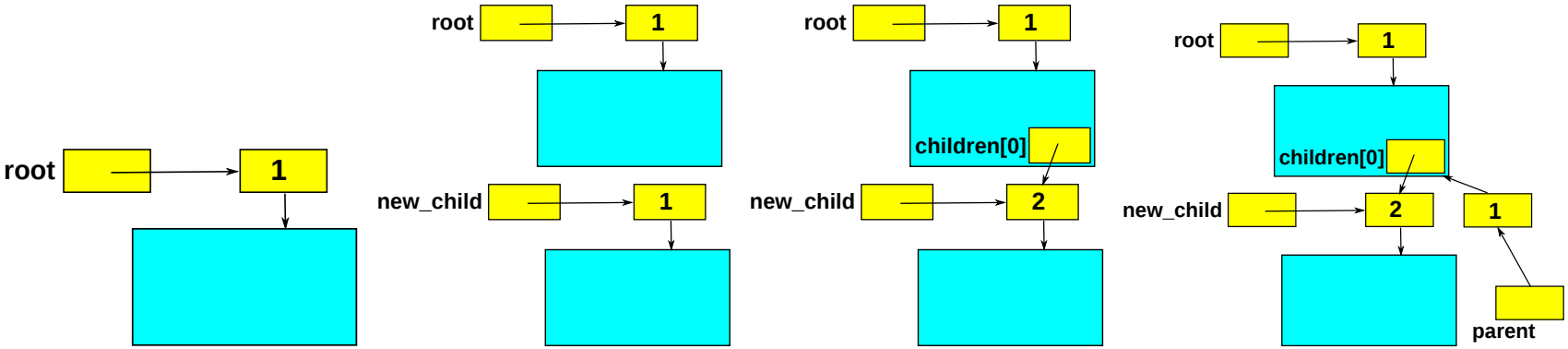
```
struct Foo {
  std::weak_ptr<Foo> me_;
};
std::shared_ptr<Foo> pFoo = new Foo; //licznik równy 1
pFoo->me_ = pFoo; //licznik równy 1, bo słaby wskaźnik
//gdy pFoo zostanie zniszczone, to obiekt jest usuwany
```



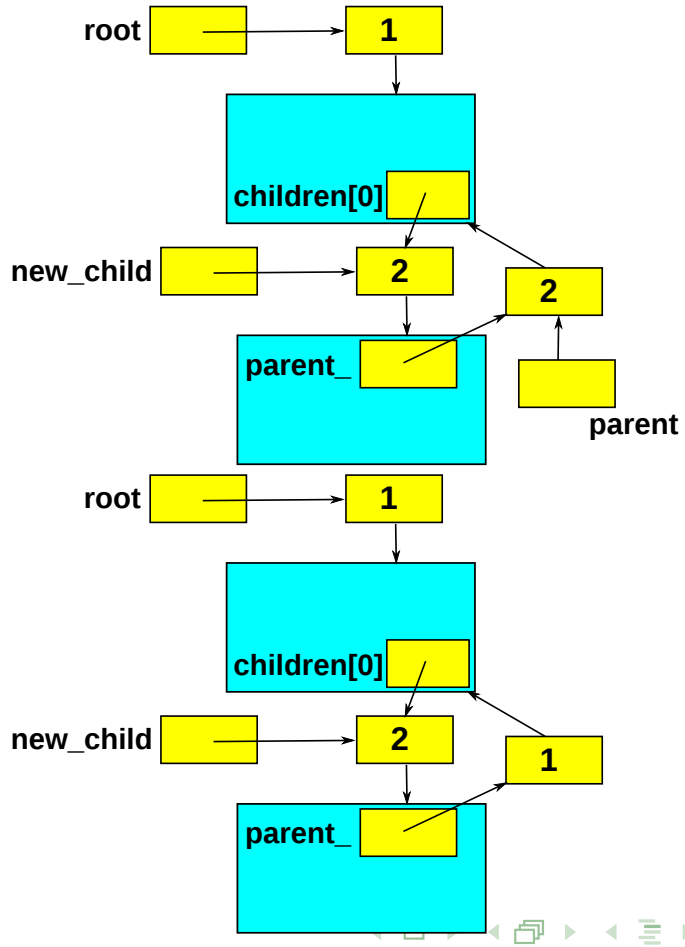


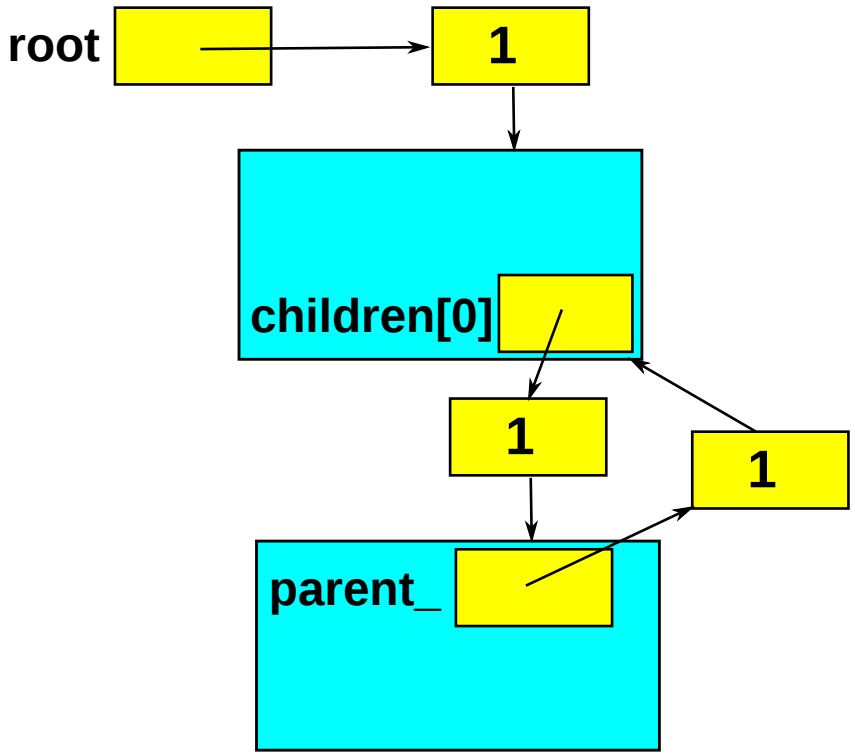
sprytne wskaźniki - błędne użycie

```
using PElement = std::shared_ptr<Element>;
class Element {
public:
  void setParent(PElement parent) {
    parent_ = parent;
  }
  void addChild(PElement new_child) {
    children_.push_back(new_child);
    new_child->setParent(PElement(this));
  }
  void removeChild() { children_.pop_back(); }
private:
  PElement parent_;
  std::vector<PElement> children_;
};
PElement root(new Element);
root->addChild(PElement(new Element));
root->removeChild();//błąd!  niszczy obiekt wskaz.  przez root!
```




```
using PElement = std::shared_ptr<Element>;
class Element {
public:
  void setParent(PElement parent) {
    parent_ = parent;
  }
  void addChild(PElement new_child) {
    children_.push_back(new_child);
    new_child->setParent(PElement(this));
  }
  void removeChild() { children_.pop_back(); }
private:
  PElement parent_;
  std::vector<PElement> children_;
};
PElement root(new Element);
root->addChild(PElement(new Element));
root->removeChild();//błąd!  niszczy obiekt
wskaz.  przez root!
```






```
void addChild(PElement new_child) {
  children_.push_back(new_child);
  new_child->setParent(me_.lock() );
}
//dodatkowa składowa
std::weak_ptr<Element> me_;
```

funkcja fabryczna `make_shared` i `allocate_shared`

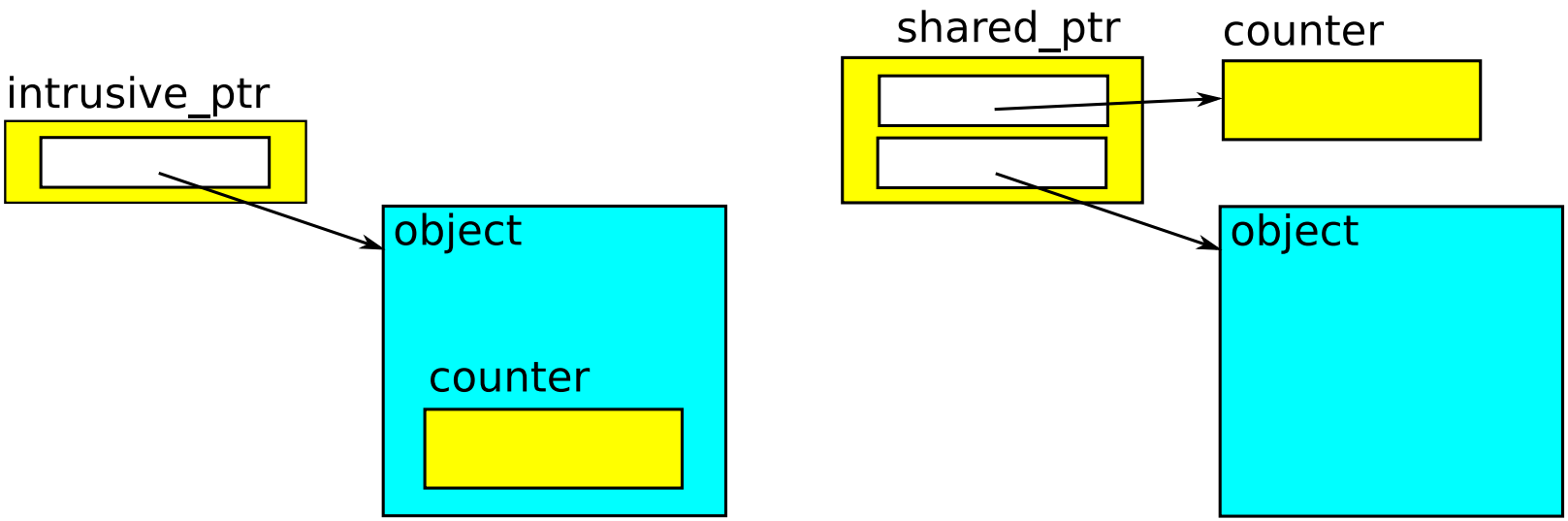
- eliminuje konieczność użycia operatora `new`
- jednocześnie alokuje obiekt i licznik (lepsze wykorzystanie pamięci)

- `make_shared` - woła globalny `::new`
- `allocate_shared` - używa dostarczonego alokatora

```
#include <boost/make_shared.hpp>

std::shared_ptr<Foo> pf = make_shared<Foo>(); //konstruktor domyślny
std::shared_ptr<Foo> pf2 = make_shared<Foo>(arg1,...,argN);
```

boost::intrusive_ptr

Wykorzystuje licznik, który jest przechowywany w obiekcie.



funkcje pomocnicze:

- `intrusive_ptr_add_ref(T*);` wołana przez konstruktory
- `intrusive_ptr_release(T*)` wołana przez destruktor

Tworzenie sprytnego wskaźnika na podstawie `this`

Wykorzystuje dziedziczenie po szablonie, dla którego typ jest parametrem (curiously recurring template pattern - omawiany szczegółowo na wykładzie o szablonach)

```
#include <boost/enable_shared_from_this.hpp>

class Node;
using PNode = boost::shared_ptr<Node>;

class Node: public boost::enable_shared_from_this<Node>{
  /* ...  */
  void method(/* ...  */) {
    PNode me = shared_from_this();
    /* ...  */
  }
};
```

Sprytne wskaźniki - podsumowanie

- brak przekazywania własności

```
//referencja
void f(const Foo& f);
```

- ustalony właściciel - wskaźnik std::unique_ptr

```
std::unique_ptr<Foo> p = make_unique<Foo>(42);
```

- współwłaściciel - wskaźnik std::shared_ptr

```
std::shared_ptr<Foo> p = make_shared<Foo>(43);
std::shared_ptr<Foo> q = p;
```

Uwaga: shared_ptr znacznie ($\approx 100\times$!) wolniejszy od unique_ptr

Sprytne wskaźniki - podsumowanie (2)

- std::unique_ptr
- std::shared_ptr,
- std::weak_ptr,
- boost::scoped_ptr, boost::scoped_array
- boost::intrusive_ptr

Rule of zero: zarządzanie zasobami przez sprytne wskaźniki

```
class Foo {
  /* poprawny generowany konstruktor kopiujący (rule of five) */
private:
  shared_ptr<Goo> ptr_;
};
```

Dziękuję