C++17 i STL

Inteligentne wskaźniki

Dlaczego nie lubimy surowych wskaźników?

- Na podstawie deklaracji wskaźnika nie można stwierdzić, czy wskazywany jest pojedynczy obiekt czy tablica.
- Deklaracja wskaźnika nie mówi nic o tym, czy po zakończeniu używania wskazywanego obiektu należy go usunąć.
- Jeżeli nawet dowiemy się, że powinniśmy usunąć wskazywany obiekt, to nie wiadomo jak to zrobić (czy należy użyć operatora delete, czy istnieje inny mechanizm destrukcyjny).
- Jeżeli uda się nam stwierdzić, że delete jest dobrym sposobem do usunięcia obiektu, to dalej nie wiadomo, czy użyć formy dla pojedynczego obiektu delete czy dla tablicy delete[].
- Zakładając, że ustalimy, że wskaźnik posiada to, co wskazuje, i odkryjemy, jak to zniszczyć, nadal będzie trudno zapewnić, że wykonamy destrukcję dokładnie raz na każdej ścieżce kodu.
- Zwykle nie ma sposobu stwierdzenia, że wskaźnik jest wiszący, czyli że wskazuje pamięć, która już nie przechowuje wskazywanego elementu.

Motywacja do używania inteligentnych wskaźników

- W języku C++ łatwo o wycieki pamięci. Największym problemem ze zwykłymi wskaźnikami jest to, że często zapominamy zwolnić zaalokowane wcześniej w pamięci miejsce, kiedy to nie jest nam już potrzebne. Bardzo często dochodzi do takiej sytuacji przy zgłaszaniu wyjątków.
- Standard C++11 wprowadza inteligentne wskaźniki – ich inteligencja polega na automatycznym niszczeniu zawartości (wraz z dealokacją pamięci) w chwili, kiedy wskaźnik i wskazywany przez niego obiekt przestaje być użyteczny. Jedyne co do nas należy, to wybór odpowiedniego typu wskaźnika, dzięki któremu mamy kontrolę nad czasem życia przechowywanej wartości.

Inteligentne wskaźniki

- Wskaźniki inteligentne są sposobem rozwiązania tych problemów.
- Wskaźniki inteligentne są zbudowane na podstawie wskaźników surowych i działają podobnie do nich, ale pozwalają uniknąć wielu związanych z nimi pułapek.
- Zawsze powinniśmy wybierać wskaźniki inteligentne zamiast wskaźników surowych.
- Wskaźniki inteligentne mogą wykonać prawie wszystko, co wskaźniki surowe, ale zmniejszają liczbę możliwości popełnienia błędów.
- Istnieją trzy rodzaje wskaźników inteligentnych: std::unique_ptr, std::shared_ptr i std::weak_ptr.

Inteligentne wskaźniki

- Jednym z zadań wskaźników jest udostępnienie semantyki referencji, obejmującej więcej niż bieżący zasięg widoczności.
- Właściwe zarządzanie czasem życia wskaźników i obiektów przez nie wskazywanych jest trudne, zwłaszcza jeśli na ten sam obiekt wskazuje większa liczba wskaźników.
- Rola inteligentnych wskaźników:
  - mają zadbać o to, aby obiekt istniał co najmniej tak długo, jak długo istnieją wskazujące do niego wskaźniki;
  - obiekt powinien zostać zwolniony, jeśli zostanie usunięty ostatni wskazujący na niego wskaźnik.

Inteligentne wskaźniki w C++98

- Klasa `auto_ptr<>` w bibliotece standardowej C++98 została zaprojektowaną do zadań związanych z RAII (pozyskiwanie zasobów poprzez inicjalizację).
- Z uwagi na niedostatek elementów języka C++98 w rodzaju semantyki przeniesienia w konstruktorach i operatorach przypisania klasa ta była często używana niepoprawnie.
- Obecnie rolę `auto_ptr<>` realizuje klasa `unique_ptr<>` a klasa `auto_ptr<>` została uznana za przeznaczoną do wycofania z nastaniem C++11 i wycofana ze standardu C++17.

Inteligentne wskaźniki w C++11

- Wszystkie klasy inteligentnych wskaźników w C++ są zdefiniowane w pliku nagłówkowym `<memory>` .
- Klasa `shared_ptr<>` dla wskaźników implementuje pojęcie współdzielonej własności obiektu. Klasa ta pozwala na współistnienie wielu wskaźników do tego samego obiektu wskazywanego i implementuje zwalnianie obiektu wskazywanego w momencie zwalniania ostatniego wskaźnika.
  - Do realizacji tego zadania w mniej typowych przypadkach powołano klasę pomocniczą `weak_ptr<>`.
- Klasa `unique_ptr<>` dla wskaźników implementuje pojęcie wyłącznej własności obiektu. Klasa ta gwarantuje istnienie dokładnie jednego wskaźnika do obiektu wskazywanego w danym momencie. Pozwala jednak na przenoszenie własności.
  - Klasa ta zabezpiecza przed wyciekiem zasobów w kontekście występowania wyjątków.

Klasa shared_ptr

- Każdy nietrywialny program operuje obiektami widocznymi z wielu miejsc i w różnych momentach wykonania – potrzebne są więc „odwołania” do obiektów, używane w rozmaitych miejscach programu.
- Sam język udostępnia wskaźniki i referencje, ale nie są one wystarczająco bezpieczne – niejednokrotnie zachodzi potrzeba zagwarantowania usunięcia obiektu wskazywanego wraz z usunięciem ostatniego „odwołania”, co ma zapewniać wykonanie operacji porządkujących stan programu (zwolnienie pamięci, zwolnienie zasobów skojarzonych z obiektem).
- Semantykę „sprzątania po obiekcie, kiedy ten nie jest już nigdzie używany” realizuje klasa `shared_ptr<>`.
  - Klasa `shared_ptr<>` daje możliwość używania wielu wskaźników odnoszących się do tego samego obiektu.
  - Ostatni istniejący wskaźnik współdzielony, będący właścicielem obiektu wskazywanego, jest odpowiedzialny za zwolnienie obiektu i jego zasobów.

Klasa shared_ptr – zwalnianie zasobów

- Zadaniem wskaźników typu `shared_ptr<>` jest automatyzacja usuwania zasobów skojarzonych z obiektem wskazywanym w momencie, kiedy obiekt ten nie będzie już więcej używany.
- Domyślnie zwolnienie obiektu polega na wywołaniu na jego rzecz operatora `delete` (przy założeniu, że obiekt został utworzony wywołaniem `new`).
- Możliwe jest jednak (a czasem konieczne) definiowanie własnych operacji porządkowania stanu obiektu w postaci własnych wytycznych zwalniania obiektu wskazywanego:
  - jeśli na przykład obiekt wskazywany jest tablicą przydzielaną przez `new[]`, zwolnienie obiektu powinno odbywać się przez wywołanie `delete[];`
  - inne wytyczne zwalniania będą dotyczyły obiektów przechowujących dodatkowe zasoby, takie jak pliki, uchwyty systemowe, blokady itp.

Klasa shared_ptr – stosowanie wskaźników współdzielonych

- Klasę `shared_ptr<>` stosuje się bardzo podobnie jak zwyczajny wskaźnik: wskaźniki współdzielone można przypisywać, kopiować i porównywać, a także stosować z operatorami wyłuskania * i ->, udostępniającymi obiekt wskazywany i jego składowe.
- Przykład. Deklarujemy i inicjalizujemy dwa wskaźniki współdzielone typu `shared_ptr<>`, ujmujące wskaźniki do dwóch łańcuchów znakowych:

```
shared_ptr<string> pNico(new string("nico"));
shared_ptr<string> pJutta(new string("jutta"));
```

- Ponieważ konstruktor `shared_ptr<>` z pojedynczym argumentem jest deklarowany jako `explicit`, nie można tu zastosować składni inicjalizacji przez przypisanie.
- Można za to użyć składni jednolitej inicjalizacji:

```
shared_ptr<string> pNico { new string("nico") };
```

- Można też skorzystać z funkcji pomocniczej `make_shared()`:

```
shared_ptr<string> pJutta =
    make_shared<string>("jutta");
```

Klasa shared_ptr – stosowanie wskaźników współdzielonych

- Wskaźnik współdzielony typu `shared_ptr<>` można zadeklarować osobno i później przypisać do niego nowy wskaźnik – można to zrobić tylko za pośrednictwem funkcji składowej `reset()`:

```
shared_ptr<string> pNico4;
…
pNico4.reset(new string("nico"));
```

- Używanie wskaźników typu `shared_ptr<>` nie różni się od stosowania zwyczajnych wskaźników:

```
(*pNico)[0] = 'N';
pJutta->replace(0,1,"J");
```

Klasa shared_ptr – stosowanie wskaźników współdzielonych

- Oba wskaźniki współdzielone z poprzedniego przykładu wielokrotnie umieścimy w kontenerze typu `vector<>`:

```
vector<shared_ptr<string>> whoMadeCoffee;
whoMadeCoffee.push_back(pJutta);
whoMadeCoffee.push_back(pJutta);
whoMadeCoffee.push_back(pNico);
whoMadeCoffee.push_back(pJutta);
whoMadeCoffee.push_back(pNico);
…
for (auto ptr : whoMadeCoffee)
    cout << *ptr << " ";
cout << endl;
```

- Kontener zwyczajowo przechowuje kopie przekazywanych elementów, co oznacza, że gdybyśmy umieszczali tam wprost łańcuchy znakowe, kontener wykonałby ich kopie. Ponieważ jednak umieszczamy w nim współdzielone wskaźniki, kontener przechowuje kopie wielu wskaźników odnoszących się do tego samego obiektu.
- Funkcja składowa `use_count()` zwraca liczbę istniejących w danym momencie wskaźników współdzielących dostęp do tego samego obiektu wskazywanego.

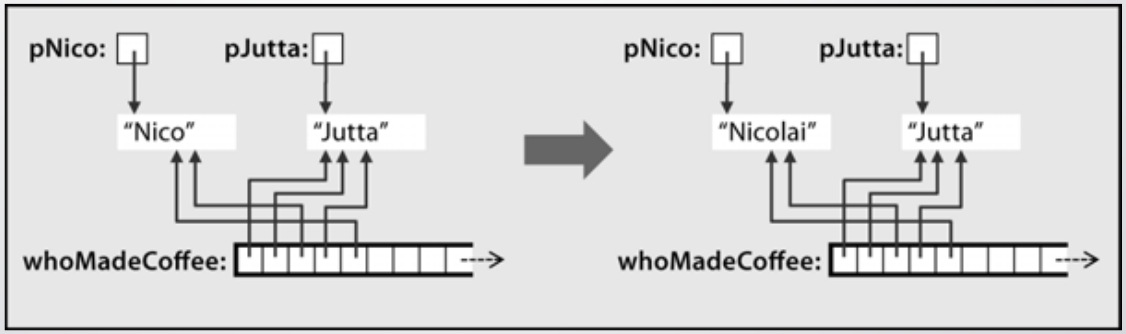
Klasa shared_ptr – stosowanie wskaźników współdzielonych

- Do wcześniejszego kodu dopiszemy jeszcze:

```
*pNico = "Nicolai";
for (auto ptr : whoMadeCoffee)
    cout << *ptr << " ";
cout << endl;
cout << "use_count: " <<
whoMadeCoffee[0].use_count() << endl;
```

- Otrzymamy ostatecznie następujące wyniki:

```
Jutta Jutta Nico Jutta Nico
Jutta Jutta Nicolai Jutta Nicolai
use_count: 4
```



Klasa shared_ptr – własna funkcja usuwająca obiekt wskazywany

- Wskaźnik typu `shared_ptr<>` pozwala na określenie własnej funkcji usuwającej.
- Drugim argumentem konstruktora typu `shared_ptr<>` może być funkcja, funktor albo lambda – wówczas inteligentny wskaźnik uruchomi podaną funkcję tuż przed zwolnieniem wskazywanego obiektu.
- Przykład definicji inteligentnego wskaźnika.

```
shared_ptr<string> pNico(
    new string("nico"),
    [] (string *p) {
        cerr << "delete " << *p << endl;
        delete p;
    }
);
```

- Przykład zadziałania funkcji usuwającej:

```
pNico = nullptr;
whoMadeCoffee.resize(2);
```

Klasa shared_ptr – obsługa tablic

- Domyślna operacja zwalniania implementowana we wskaźnikach typu `shared_ptr<>` sprowadza się do wywołania `delete`, nigdy `delete[]` – oznacza to, że domyślna funkcja usuwająca jest właściwa wyłącznie dla wskaźników do obiektów tworzonych za pośrednictwem operatora `new`.
- Przykład inteligentnego wskaźnika obsługującego tablicę:

```
shared_ptr<int> p(
    new int[10],
    [] (int *p) { delete[] p; }
);
```

- Można też skorzystać z udogodnienia przewidzianego pierwotnie do użycia z klasą typu `unique_ptr<>`, definiującego funkcję usuwającą jako `delete[]`:

```
shared_ptr<int> p(
    new int[10],
    default_delete<int[]>()
);
```

Klasa shared_ptr – funkcja usuwająca

- Jeśli usuwanie obiektu wskazywanego wraz z ostatnim współdzielonym wskaźnikiem nie sprowadza się do zwolnienia pamięci, należy dostarczyć własną funkcję usuwającą – w ten sposób określa się własną regułę destrukcji obiektu wskazywanego.

Klasa shared_ptr – funkcja usuwająca plik

- Przykład funktora usuwającego plik.

```
class FileDeleter
{
private:
    string filename;
public:
    FileDeleter (const string& fn)
    : filename(fn) {}
    void operator () (ofstream* fp) {
        fp->close();
        remove(filename.c_str());
    }
};
```

- Przykład wykorzystania funktora usuwającego plik.

```
shared_ptr<ofstream> fp(
    new std::ofstream("tmpfile.txt"),
    FileDeleter("tmpfile.txt")
);
```

Klasa weak_ptr

- Klasa `shared_ptr<>` pozwala na automatyczne zwalnianie zasobów skojarzonych z nieużywanymi już obiektami. Jednak w pewnych okolicznościach zachowanie to nie jest wcale korzystne ani oczekiwane:
  - w przypadku odwołań cyklicznych, kiedy dwa obiekty odwołują się do siebie nawzajem za pośrednictwem wskaźników typu `shared_ptr<>`, nigdy nie dojdzie do zwolnienia zasobów skojarzonych z tymi obiektami, bo nigdy nie dojdzie do wyzerowania liczby odwołań;
  - w przypadku, gdy czas życia wskaźnika do obiektu jest dłuższy niż czas życia obiektu wskazywanego – w takiej sytuacji użycie wskaźników `shared_ptr<>` uniemożliwi zwolnienie zasobów, natomiast użycie zwyczajnych wskaźników narażałoby na niepoprawne próby odwołań do już nieistniejących obiektów wskazywanych.
- Dla takich właśnie przypadków przewidziano klasę wskaźnika „słabego” `weak_ptr<>`, pozwalającą na współdzielenie dostępu do obiektu wskazywanego bez przejmowania współwłasności tego obiektu, a tym samym odpowiedzialności za jego zwolnienie.

Klasa weak_ptr

- Kiedy ostatni współdzielony wskaźnik `shared_ptr<>` wymusi zwolnienie obiektu wskazywanego, wszystkie „słabe” wskaźniki automatycznie zostaną wyzerowane – dlatego klasa `weak_ptr<>` poza konstruktorem domyślnym i kopiującym definiuje jedynie konstruktor przyjmujący argument typu `shared_ptr<>`.
- Obiekt wskazywany przez wskaźnik `weak_ptr<>` nie jest wprost dostępny przez operatory `*` i `->`.
- Klasa `weak_ptr<>` udostępnia naprawdę skromny interfejs, wystarczający jedynie do utworzenia, skopiowania i przypisania słabego wskaźnika oraz do wykonania konwersji na wskaźnik współdzielony tudzież do sprawdzenia, czy wskazuje on jeszcze poprawny obiekt.

Klasa weak_ptr – zastosowanie

- Przykład.

```
class Person {
public:
    string name;
    shared_ptr<Person> mother;
    shared_ptr<Person> father;
    vector<weak_ptr<Person>> kids;
    Person(
        const string& n,
        shared_ptr<Person> m = nullptr,
        shared_ptr<Person> f = nullptr)
    : name(n), mother(m), father(f) {}
    ~Person() {
        cout << "usuwam " << name << endl;
    }
};
```

Klasa weak_ptr – zastosowanie

- Przykład:

```
shared_ptr<Person> initFamily (const string &name) {
    shared_ptr<Person> mom(new Person("mama " + name));
    shared_ptr<Person> dad(new Person("tata " + name));
    shared_ptr<Person> kid(new Person(name, mom, dad));
    mom->kids.push_back(kid);
    dad->kids.push_back(kid);
    return kid;
}
```

Klasa unique_ptr

- Klasa `unique_ptr<>` implementuje koncepcję wyłącznego posiadania obiektu wskazywanego, co oznacza, że obiekt wskazywany jest w danym momencie w posiadaniu dokładnie jednego wskaźnika wyłącznego.
- Kiedy wskaźnik wyłączny jest usuwany albo staje się wskaźnikiem pustym bądź zaczyna wskazywać do innego obiektu, dotychczasowy obiekt wskazywany również jest usuwany (co może oznaczać nie tylko zwolnienie pamięci obiektu i wywołanie destruktora, ale również wykonanie innych operacji porządkujących).
- Klasa `unique_ptr<>` zastąpiła klasę `auto_ptr<>` wprowadzoną w C++98 - klasa ta definiuje prostszy i czytelniejszy interfejs, przez co jest znacznie mniej podatna na nieprawidłowe użycia niż klasa `auto_ptr<>`.

Klasa unique_ptr

- Wskaźnik `unique_ptr<>` uosabia semantykę wyłącznego posiadania.
- Wskaźnik `unique_ptr<>` o wartości innej niż `nullptr` zawsze posiada to, co wskazuje.
- Przenoszenie wskaźnika `unique_ptr<>` powoduje zmianę stanu posiadania z wskaźnika źródłowego na docelowy – wskaźnik źródłowy przyjmuje wartość `nullptr`.
- Kopiowanie wskaźnika `unique_ptr<>` nie jest dozwolone.
- Wskaźnik `unique_ptr<>` jest typem dopuszczającym tylko przenoszenie.
- W ramach destrukcji wskaźnik `unique_ptr<>` o wartości innej niż `nullptr` niszczy swój zasób przez zastosowanie instrukcji `delete`.

Klasa unique_ptr

- Wskaźnik `unique_ptr<>` często jest stosowany jako typ, który zwraca funkcja fabrykująca dla obiektów w hierarchii.
- Kod wywołujący przejmuje odpowiedzialność za zasób zwracany przez funkcję fabrykującą (czyli wyłączne posiadanie zasobu), a wskaźnik `unique_ptr<>`, gdy jest niszczony, automatycznie usuwa to, na co wskazuje.
- Wskaźnika `unique_ptr<>` możemy też użyć w scenariuszach z migracją posiadania, gdzie wskaźnik `unique_ptr<>` zwracany przez funkcję fabrykującą jest przenoszony do kontenera, element kontenera jest następnie przenoszony do danych składowych obiektu, a następnie obiekt jest niszczony.

Klasa unique_ptr – obsługa tablic

- W przypadku wskaźników typu `unique_ptr<>` zdefiniowanie własnej funkcji usuwającej wymaga jawnego dookreślenia drugiego parametru szablonu:

```
unique_ptr<int, void(*)(int*)> p(
    new int[10],
    [] (int* p) { delete[] p; }
);
```

- Wskaźnik typu `shared_ptr<>` nie definiuje operatora indeksowania tablic `[]`. Tymczasem dla typu `unique_ptr<>` istnieje częściowa specjalizacja dla typów tablicowych, z operatorem indeksowania `[]` zamiast operatorów `*` i `->`.

```
unique_ptr<int[]> tab(new int[10]);
```