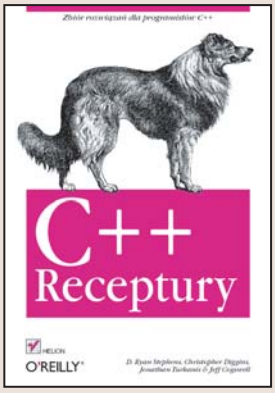
C++. Receptury



Autorzy: D. Ryan Stephens, Christopher Diggins, Jonathan Turkanis, Jeff Cogswell
Tłumaczenie: Przemysław Szeremiota
ISBN: 83-246-0374-3
Tytuł oryginału: C++ Cookbook
Format: B5, stron: 560

Zbiór rozwiązań dla programistów C++

- Operacje na klasach i obiektach
- Obsługa błędów i wyjątków
- Przetwarzanie dokumentów XML

C++ jest jednym z najpopularniejszych języków programowania. Jego implementacje dostępne są praktycznie dla wszystkich platform systemowych. Programiści posługujący się językiem C++ napisali setki tysięcy aplikacji. Codziennie jednak stają przed koniecznością rozwiązywania podobnych problemów, związanych na przykład z przetwarzaniem dat, manipulowaniem ciągami tekstowymi czy stosowaniem standardowych kontenerów. W takich sytuacjach na pewno zadają sobie pytanie — czy warto ponownie wymyślać koło? Przecież gotowe rozwiązania znacznie przyspieszyłyby pracę.

Książka „C++. Receptury" może pełnić funkcję skarbnicy porad dla programistów. Znajdziesz w niej rozwiązania problemów, z jakimi spotykasz się w codziennej pracy. Każda analiza uzupełniona jest przykładowym kodem źródłowym, który można wykorzystać we własnych projektach. Autorzy położyli szczególny nacisk na prostotę i przenośność kodu oraz wykorzystanie, tam gdzie to możliwe, biblioteki standardowej.

- Kompilowanie aplikacji
- Właściwa organizacja kodu źródłowego
- Operacje na liczbach, tekstach i datach
- Stosowanie kontenerów
- Programowanie obiektowe
- Przetwarzanie plików
- Strumienie
- Operacje matematyczne i statystyczne
- Wielowątkowość i biblioteka Boost
- Praca z dokumentami XML

Przyspiesz pracę nad aplikacją, stosując gotowe i sprawdzone rozwiązania

Wydawnictwo Helion
ul. Chopina 6
44-100 Gliwice
tel. (32)230-98-63
e-mail: helion@helion.pl

Spis treści

ROZDZIAŁ 9.

Wyjątki i bezpieczeństwo

9.0. Wprowadzenie

Dotarliśmy do receptur dotyczących obsługi wyjątków w języku C++. C++ posiada solidną obsługę wyjątków, która w połączeniu z kilkoma technikami pozwala na pisanie kodu prostego do diagnozowania i efektywnie obsługującego sytuacje wyjątkowe.

Pierwsza receptura dotyczy typowej dla C++ semantyki zrzucania i przechwytywania wyjątków, a następnie sposobu pisania klasy reprezentującej wyjątek. To na początek dla tych wszystkich, którzy na obsłudze wyjątków C++ znają się mało albo wcale. Ta sama receptura opisuje też standardowe klasy wyjątków, definiowane w nagłówkach `<stdexcept>` i `<exception>`.

Pozostałe receptury ilustrują techniki optymalnego stosowania wyjątków i definiują przy okazji kilka kluczowych terminów i pojęć. Lektura wyjaśni, że zrzucanie wyjątków w obliczu sytuacji nieoczekiwanych i przechwytywanie ich jedynie w celu wypisania komunikatu wcale nie stanowi o solidności oprogramowania. Efektywne stosowanie mechanizmów obsługi wyjątków dostępnych w języku C++ polega na zabezpieczaniu programu przed wyciekami zasobów przy zrzucaniu wyjątków i ogólnym zadbaniu o poprawne zachowanie kodu w obliczu wyjątków. Tu można odnieść się do dwóch ukutych na tę okoliczność pojęć, a mianowicie pojęcia *zwykłej* i *silnej* gwarancji odporności na wyjątki. Receptury będą więc opisywały techniki wdrażania tych gwarancji w konstruktorach i rozmaitych metodach klas.

9.1. Tworzenie klasy wyjątku

Problem

Chcemy utworzyć własną klasę wyjątku nadającego się do zrzucania i przechwytywania.

Rozwiązanie

W charakterystycznym dla wyjątków zrzucaniu i przechwytywaniu może uczestniczyć dowolny typ C++, który spełnia kilka nieskomplikowanych wymagań. Wymagania te obejmują dostępność odpowiedniego konstruktora kopiującego i destruktora. Chociaż podstawowe wymagania są

proste, same wyjątki to zagadnienie dość skomplikowane, więc przy projektowaniu klasy reprezentującej sytuację wyjątkową trzeba wziąć pod uwagę szereg aspektów. Przykład prostej klasy wyjątku prezentuje listing 9.1.

Listing 9.1. Prosta klasa wyjątku

```
#include <iostream>
#include <string>

using namespace std;

class Exception {

public:
   Exception(const string& msg) : msg_(msg) {}
  ~Exception() {}

   string getMessage() const {return(msg_);}
private:
   string msg_;
};

void f() {
   throw(Exception("Oho!"));
}

int main() {

   try {
      f();
   }
   catch(Exception& e) {
      cout << "zrzucono wyjątek: " << e.getMessage() << endl;
   }
}
```

Analiza

Obsługa wyjątków w języku C++ angażuje trzy słowa kluczowe: `try`, `catch` i `throw`. Składnia ich stosowania prezentuje się następująco:

```
try {
   // coś, co prowokuje zrzucenie wyjątku, np:
   throw(Exception("Oho!"));
} catch(Exception& e) {
   // obsługa wyjątku e
}
```

W języku C++ (podobnie jest w językach Java i C#) wyjątek to odpowiednik listu w butelce, rzuconego w morze tuż przed przymusowym opuszczeniem szalup — rozbitkowie podejmują ten desperacki krok w nadziei, że ktoś wyłowi komunikat (w programie będzie to któryś z kolejnych wywołujących). Wyjątki stanowią alternatywę dla prostszych, klasycznych sposobów sygnalizacji błędów, np. kodów bądź komunikatów o błędzie. Semantyka stosowania wyjątków, obejmująca „próbowanie" operacji (ang. *try*), „zrzucanie" (ang. *throw*) wyjątku i jego „przechwytywanie" (ang. *catch*) różni się znacznie od semantyki innych operacji w programach C++, przez co przed przystąpieniem do opisu klasy wyjątku wypadałoby powiedzieć sobie, co oznacza ich zrzucanie i przechwytywanie.

W obliczu sytuacji wyjątkowej, kiedy trzeba powiadomić o niej wywołującego, wpychamy list do butelki i rzucamy ją w morze:

```
throw(Exception("Coś nie tak"));
```

Środowisko wykonawcze konstruuje wtedy obiekt `Exception`, a potem zaczyna zwijanie stosu aż do miejsca, w którym uda się znaleźć blok kodu chronionego, który został już rozpoczęty, ale jeszcze się nie zakończył. Jeśli nie uda się go znaleźć, co oznacza wycofanie sterowania do funkcji `main` (głównego zasięgu bieżącego wątku) i niemożność dalszego zwijania stosu, wywoływana jest specjalna funkcja `terminate`. Ale jeśli uda się znaleźć po drodze rozpoczęty blok `try`, następuje przeglądanie odpowiadających mu kolejnych klauzul `catch` w poszukiwaniu klauzuli dopasowanej do typu zrzucanego wyjątku. Może to być coś takiego:

```
catch(Exception& e) {  //…
```

W tym momencie przy użyciu konstruktora kopiującego klasy `Exception` tworzony jest nowy obiekt typu `Exception` na podstawie obiektu zrzucanego — bo ten zrzucany w zasięgu `throw` jest obiektem tymczasowym. Pierwotny wyjątek jest usuwany tuż poza zasięgiem, a program podejmuje wykonanie kodu klauzuli `catch` z nowym obiektem wyjątku.

Jeśli w bloku `catch` zechcemy przekazać wyjątek dalej w górę stosu wywołań, powinniśmy zastosować instrukcję `throw` bez argumentów:

```
throw;
```

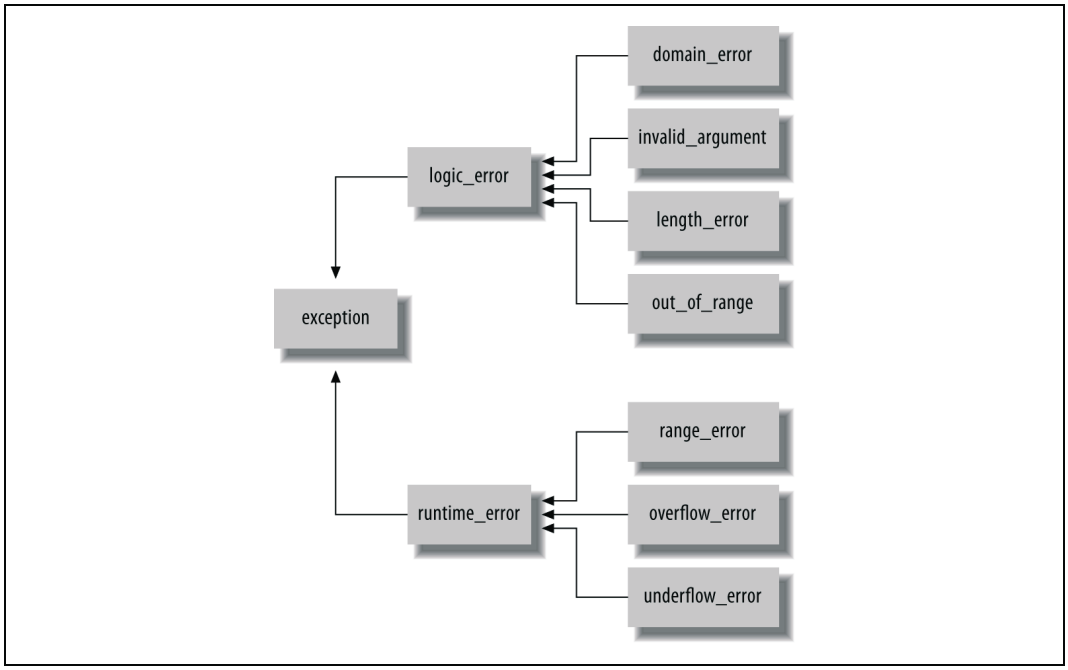
W ten sposób wymusimy dalsze zwijanie stosu aż do znalezienia następnego napoczętego bloku `try` z klauzulą `catch` dającą się dopasować do typu wyjątku. W ten sposób można obsługiwać wyjątek kaskadowo — w każdym zasięgu realizować tyle, ile można, a potem zrzucać wyjątek dalej, do następnych obsługujących.

Tak w wielkim skrócie przedstawia się droga wyjątku od zrzucenia do przechwycenia. Wyposażeni w podstawową wiedzę możemy wrócić do analizy listingu 9.1. Mamy tu tworzenie obiektu wyjątku `Exception` na podstawie ciągu znaków, przekazywanych wskaźnikiem albo obiektem `string`, a następnie zrzucenie wyjątku. Tak zdefiniowana klasa wyjątku jest wyjątkowo mało przydatna, bo stanowi w zasadzie jedynie kopertę dla najzwyklejszego komunikatu o błędzie. Niemal identyczny efekt osiągnęlibyśmy, zrzucając w roli wyjątku najzwyklejszy obiekt typu `string`:

```
try {
   throw(string("Coś nie tak!"));
} catch(string& s) {
      cout << "zrzucono wyjątek: " << s << endl;
}
```

Nie jest to najlepsza praktyka, ale ilustruje naturę wyjątków: są one obiektami niemal zupełnie dowolnych typów języka C++. Zrzucać można wartości typu `int`, `char`, `class`, `struct` itp. Lepiej jednak skorzystać z hierarchii klas wyjątków: własnej albo zapożyczonej z biblioteki standardowej.

Największą chyba zaletą stosowania specjalnej hierarchii klas wyjątków jest możliwość wyrażania charakteru sytuacji wyjątkowej za pośrednictwem typu wyjątku, a nie tylko za pośrednictwem wartości kodu błędu, wartości poziomu zagrożenia czy treści komunikatu. Takie też podejście zastosowano w implementacji standardowych klas wyjątków, definiowanych w nagłówku `<stdexcept>`. Klasą bazową całej hierarchii klas z nagłówka `<stdexcept>` jest klasa `exception`, sama definiowana w nagłówku `<exception>`. Układ hierarchii standardowych klas wyjątków prezentuje rysunek 9.1.



Rysunek 9.1. Standardowe klasy wyjątków

Każda standardowa klasa wyjątku sygnalizuje swoją nazwą kategorię sytuacji wyjątkowych, które jej obiekty mają identyfikować. Na przykład klasa `logic_error` reprezentuje okoliczności, które powinny zostać wychwycone podczas pisania, a później — przeglądu kodu, a jej podklasy doprecyzowują te okoliczności: naruszenie warunku wstępnego, przekazanie indeksu spoza zakresu, przekazanie nieodpowiedniego argumentu i tak dalej. Uzupełnieniem klasy „błędów logicznych" jest klasa błędów wykonawczych, reprezentowana przez `runtime_error` i jej pochodne. Tu zaliczymy sytuacje, których nie dało się wykluczyć w kodzie programu, jak przekroczenie zakresu czy przepełnienie bądź niedopełnienie wartości.

Klasy standardowe reprezentują dość ograniczony zbiór sytuacji wyjątkowych, więc nie zawsze można dobrać taką, która w pełni odpowiada konkretnym okolicznościom. Zwykle hierarchię tę trzeba uzupełnić o sytuacje charakterystyczne dla dziedziny zastosowań, np. `database_error`, `network_error` czy `painting_error` (odpowiednio: wyjątek komunikacji z bazą danych, wyjątek transmisji sieciowej czy wyjątek operacji odrysowywania). Zanim zagłębimy się w szczegóły technik uzupełniania hierarchii klas wyjątków, przyjrzyjmy się sposobowi działania wyjątków.

Skoro biblioteka standardowa korzysta wyłącznie ze standardowych (no proszę!) klas wyjątków, można się spodziewać, że klasy biblioteki standardowej będą w obliczu sytuacji wyjątkowych zrzucać klasy z przedstawionej wcześniej hierarchii; i tak kontener `vector` (a konkretnie, jedna z jego metod) może zrzucić wyjątek `out_of_range` w reakcji na indeks elementu spoza zakresu wektora:

```
std::vector<int> v;
int i = -1;

// wypełnianie v...
```

```
try {
   i = v.at(v.size());      // o jeden element za daleko
}
catch (std::out_of_range& e) {
   std::cerr << "Oho, zrzucono wyjątek: " << e.what() << '\n';
}
```

Metoda `vector<>::at` zrzuci wyjątek `out_of_range`, kiedy otrzyma za pośrednictwem argumentu wywołania indeks wykraczający poza bieżący rozmiar kontenera, co dotyczy każdego indeksu większego od `v.size() - 1`. Wiedza ta pozwala nam na oprogramowanie najbardziej odpowiedniej obsługi tego akurat wyjątku. Jeśli jednak nie spodziewamy się konkretnego wyjątku, a przynajmniej nie mamy możliwości różnicowania ich obsługi, możemy pokusić się o przechwycenie wyjątków z całej hierarchii, posługując się klasą bazową wyjątków standardowych:

```
catch (std::exception& e) {
   std::cerr << "Nieznany bliżej wyjątek: " << e.what() << '\n';
}
```

Taka klauzula `catch` przechwyci każdy obiekt wyjątku klasy pochodnej względem klasy `exception`. Metoda `what` to wirtualna metoda klasy wyjątku, zwracająca zależny od implementacji komunikat.

Zmierzamy do zatoczenia pełnego okręgu. Cytat z listingu 9.1 uzupełniony obszernym komentarzem ma stanowić ilustrację zalet stosowania klas wyjątków. Klasy wyjątków są przydatne z dwóch względów: ze względu na możliwość różnicowania obsługi sytuacji wyjątkowych na podstawie typu obiektu wyjątku oraz ze względu na dostępność komunikatu nadającego się do zaprezentowania użytkownikowi programu. Hierarchia klas wyjątków pozwala programistom korzystającym z naszej biblioteki na pisanie kodu bezpiecznego i łatwego w diagnostyce, a dostępność komunikatu to wyraźna korzyść dla końcowych użytkowników programu, którzy zyskują więcej informacji przy zgłaszaniu problemów dostawcom oprogramowania.

Tematyka wyjątków to tematyka obszerna i złożona, a ich bezpieczne i efektywne stosowanie i obsługiwanie to chyba najtrudniejszy aspekt praktycznej inżynierii oprogramowania w ogóle, a inżynierii języka C++ w szczególności. Jak napisać konstruktor, tak aby nie dopuścić do wycieku pamięci w obliczu zrzucenia wyjątku w ciele konstruktora albo na liście inicjalizacyjnej? Co oznacza odporność na wyjątki? Odpowiedzi poznamy w kolejnych recepturach.

9.2. Uodpornianie konstruktora klasy

Problem

Konstruktor ma zabezpieczać podstawowe i silne gwarancje odporności na wyjątki. Znaczenie obu tych gwarancji zostanie wyjaśnione w analizie rozwiązania.

Rozwiązanie

Do porządkowania stanu tworzonego obiektu w obliczu wyjątku należy zastosować w konstruktorze blok kodu chronionego `try` i klauzulę `catch`. Postępowanie to, na przykładzie dwóch prostych klas (`Device` i `Broker`), ilustruje listing 9.2. Klasa `Broker` tworzy na stercie dwa obiekty

klasy `Device`, dbając o uporządkowanie sterty w przypadku zrzucenia wyjątku przy konstrukcji któregoś z obiektów.

Listing 9.2. Konstruktor odporny na wyjątki

```
#include <iostream>
#include <stdexcept>

using namespace std;

class Device {
public:
   Device(int devno) {
      if (devno == 2)
         throw runtime_error("Poważny problem");
   }
  ~Device() {}
};

class Broker {

public:
   Broker (int devno1, int devno2) :
      dev1_(NULL), dev2_(NULL) {
      try {
         dev1_ = new Device(devno1);   // ujęcie tworzenia obiektów
         dev2_ = new Device(devno2);   // sterty w bloku try...
      }
      catch (...) {
         delete dev1_;            // ...porządkowanie sterty i przerzucenie
         throw;                   // wyjątku do wywołującego.
      }
   }
  ~Broker() {
      delete dev1_;
      delete dev2_;
   }

private:
   Broker();
   Device* dev1_;
   Device* dev2_;
};

int main() {

   try {
      Broker b(1, 2);
   }
   catch(exception& e) {
      cerr << "Wyjątek: " << e.what() << endl;
   }
}
```

Analiza

Kiedy mówimy, że konstruktor, metoda, destruktor albo cokolwiek innego jest „odporny na wyjątki", mamy na myśli to, że oferuje gwarancje blokowania wycieku zasobów i nie pozostawia obiektu w stanie niespójnym. W języku C++ gwarancje te określane są mianem gwarancji *zwykłej* (brak wycieku zasobów) i gwarancji *silnej* (spójność stanu obiektu).

Zwykła gwarancja odporności na wyjątki oznacza, że zrzucenie wyjątku nie doprowadzi do wycieku zasobów przy okazji realizowanej operacji i że obiekty uczestniczące w operacji pozostaną w stanie zdatności do użycia (co oznacza, że będzie można wywoływać na ich rzecz metody, a przynajmniej destruktor — czyli że obiekty nie zostaną uszkodzone). Gwarancja zwykła oznacza też, że program po zrzuceniu wyjątku pozostanie w stanie spójnym, choć niekoniecznie z góry znanym. Zasada jest więc prosta: jeśli gdziekolwiek w ciele metody dochodzi do zrzucenia wyjątku, metoda nie może osierocić obiektów sterty, a obiekty uczestniczące w operacji będą mogły być przez wywołującego albo przywrócone do pierwotnego stanu, albo przynajmniej będzie je można usunąć. Druga z gwarancji, czyli gwarancja *silna*, to pewność, że niepowodzenie operacji nie zmieni stanu uczestniczącego w niej obiektu (tak jakby się w ogóle nie odbyła). Dotyczy to pokonstrukcyjnych operacji na obiektach, ponieważ z definicji obiekt, który zrzuci wyjątek z konstruktora, nie może zostać uznany za w pełni skonstruowany, a zatem nie istnieje wcale i nigdy nie był w stanie spójnym. Do odporności metod klas wrócimy w recepturze 9.4. Tymczasem skupmy się na konstruktorach.

Kod z listingu 9.2 definiuje dwie klasy: `Device` (urządzenie) i `Broker` (pośrednik), które służą jedynie jako atrapy ilustrujące model, w którym występuje klasa zarządzająca urządzeniami i same urządzenia (np. klasa inicjująca połączenie pomiędzy dwoma urządzeniami i pośredniczącą w komunikacji pomiędzy nimi). Jeśli dostępne jest tylko jedno z dwóch urządzeń, pośrednik jest bezużyteczny, więc utworzenie pośrednika wraz parą obiektów urządzeń należy traktować łącznie, jako transakcję — albo wykonaną w całości, albo niebyłą. Jeśli nie uda się pozyskać któregokolwiek z pary obiektów, drugi musi zostać zwolniony. W ten sposób zapewniamy brak wycieku pamięci i innych zasobów.

Zadanie realizujemy przy użyciu słów kluczowych `try` i `catch`. W konstruktorze obiektu klasy Broker operacje przydziału pary obiektów `Device` są umieszczane w bloku kodu chronionego (bloku `try`), z przechwytywaniem wszelkich wyjątków operacji w stosownej klauzuli `catch`:

```
try {
   dev1_ = new Device(devno1);
   dev2_ = new Device(devno2);
}
catch (...) {
   delete dev1_;
   throw;
}
```

Wielokropek w klauzuli `catch` oznacza dopasowanie obiektu wyjątku dowolnego typu. Dokładnie tego nam trzeba, bo nie wiemy, jaki wyjątek może zostać zrzucony z konstruktorów obiektów, ale niezależnie od tego konsekwentnie zamierzamy uporządkować stan programu. Przechwycony wyjątek powinniśmy przy tym przerzucić w górę stosu wywołań tak, aby ten, kto konkretyzował klasę `Broker`, również mógł obsłużyć wyjątek, choćby przez wypisanie komunikatu o błędzie.

W ramach obsługi wyjątku usuwamy jedynie obiekt `dev1_`, ponieważ ostatnią szansę na zrzucenie wyjątku jest wywołanie operatora `new` dla składowej `dev2_`. Jeśli operator zrzuci wyjątek, nie dojdzie do przypisania wartości do składowej `dev2_`, więc nie będzie też czego zwalniać wywołaniem `delete`. Gdyby jednak konstruktor robił coś jeszcze po przydzieleniu obiektu `dev2_`, należałoby zwolnić oba obiekty, jak tu:

```
try {
   dev1_ = new Device(devno1);
   dev2_ = new Device(devno2);
   foo_ = new MyClass();     // ostatnia szansa na wyjątek
```

```
}
catch (...) {
   delete dev1_;
   delete dev2_;
   throw;
}
```

W tym przypadku nie musimy zajmować się problemem zwalniania wskaźników, którym nigdy nie przypisano poprawnej wartości (o ile tylko będą właściwie inicjalizowane wskazaniami `NULL`), bo wywołanie `delete` ze wskaźnikiem o wartości `NULL` nie ma żadnego efektu. Innymi słowy, jeśli wyjątek zostanie zgłoszony już przez konstruktor `dev1_`, to wykonanie instrukcji `delete dev2_` nie stanowi żadnego zagrożenia dla stabilności programu, bo składowa `dev2_` ma wciąż wartość `NULL`, przypisaną z poziomu listy inicjalizacyjnej konstruktora.

Zgodnie z komentarzem z receptury 9.1 projektowanie solidnej i elastycznej strategii stosowania i obsługi wyjątków nie jest sprawą prostą; to samo dotyczy zapewniania odporności na wyjątki. Czytelników zainteresowanych szerszym omówieniem tego tematu zachęcam do lektury książki *Exceptional C++* Herba Suttera (Addison_Wesley).

Zobacz również

Recepturę 9.3.

9.3. Uodpornianie listy inicjalizacyjnej konstruktora

Problem

Mamy zamiar zainicjalizować składowe obiektu klasy z poziomu listy inicjalizacyjnej konstruktora, a więc nie możemy skorzystać z rozwiązania prezentowanego w recepturze 9.2.

Rozwiązanie

Rozwiązanie polega na zastosowaniu specjalnej składni `try-catch`, przechwytującej wyjątki zrzucane z listy inicjalizacyjnej konstruktora. Przykład na listingu 9.3.

Listing 9.3. Obsługa wyjątków listy inicjalizacyjnej

```
#include <iostream>
#include <stdexcept>

using namespace std;

// klasa jakiegoś urządzenia
class Device {
public:
   Device(int devno) {
      if (devno == 2)
         throw runtime_error("Poważny problem");
   }
  ~Device() {}
private:
   Device();
```

```
};

class Broker {

public:
   Broker (int devno1, int devno2)
      try : dev1_(Device(devno1)),    // przydział w ramach listy
            dev2_(Device(devno2)) {} // inicjalizacyjnej
      catch (...) {
         throw; // tu zarejestrowanie komunikatu albo przekształcenie
                // błędu (zobacz komentarz w punkcie "Analiza")
      }
  ~Broker() {}

private:
   Broker();
   Device dev1_;
   Device dev2_;
};

int main() {

   try {
      Broker b(1, 2);
   }
   catch(exception& e) {
      cerr << "Wyjątek: " << e.what() << endl;
   }
}
```

Analiza

Składnia obsługi wyjątków listy inicjalizacyjnej różni się nieco od klasycznej składni języka C++, bo w roli ciała konstruktora występuje blok `try` osadzony na liście inicjalizacyjnej. Najważniejszym z naszego punktu widzenia elementem listingu 9.3 jest konstruktor klasy `Broker`:

```
Broker (int devno1, int devno2)     // nagłówek konstruktora, jak zwykle
   try : dev1_(Device(devno1)),     // idea podobna, jak w try {...}
         dev2_(Device(devno2)) {
   // ciało konstruktora
   }
   catch (...) {                    // klauzula catch "poza"
      throw;                        // ciałem konstruktora
   }
```

Zachowanie `try` i `catch` jest zgodne z oczekiwaniem; jedyną różnicą względem klasycznej składni bloku kodu chronionego `try` jest to, że w tym przypadku kod ten stanowi również lista inicjalizacyjna konstruktora: słowo kluczowe `try` poprzedza dwukropek rozpoczynający tę listę, a za nią zaczyna się właściwy blok `try`, rozciągający się na całe ciało konstruktora. Cokolwiek zostanie zrzucone w tym bloku — czy to z listy inicjalizacyjnej, czy z ciała konstruktora — zostanie przechwycone w klauzuli `catch` znajdującej się jakby już poza ciałem konstruktora. Rzecz jasna w ciele konstruktora można do woli osadzać klasyczne bloki `try-catch`, ale zagnieżdżanie bloków kodu chronionego wygląda odpychająco.

Przykład z listingu 9.3 różni się od kodu z listingu 9.2 nie tylko przesunięciem operacji inicjalizacji składowych na listę inicjalizacyjną konstruktora — także tym , że nie dochodzi tu do tworzenia obiektów na stercie przy użyciu operatora `new`. Ma to ilustrować szereg aspektów związanych z bezpieczeństwem inicjalizacji składowych klas.

Przede wszystkim przydział obiektów na stosie zamiast na stercie pozwala kompilatorowi na stosowanie wbudowanych mechanizmów zabezpieczających. Otóż, jeśli którykolwiek z obiektów przydzielanych na liście inicjalizacyjnej sprowokuje wyjątek, jego pamięć zostanie automatycznie zwolniona w ramach zwijania stosu przez mechanizm propagacji wyjątku. Po drugie zaś, w wyniku działania tego samego mechanizmu usunięte zostaną wszystkie obiekty już skonstruowane, a wszystko odbędzie się automatycznie, bez potrzeby stosowania jawnego wywołania `delete`.

Niekiedy trzeba jednak przydzielać obiekty właśnie na stercie. Rozważmy więc podejście zastosowane w pierwotnej wersji klasy `Broker`, na listingu 9.2. Przecież wskaźniki też można inicjalizować z poziomu listy inicjalizacyjnej, prawda?

```
class BrokerBad {

public:
   BrokerBad (int devno1, int devno2)
      try : dev1_(new Device(devno1)),    // przydział obiektów na stercie
            dev2_(new Device(devno2)) {} // w liście inicjalizacyjnej
      catch (...) {
         if (dev1_) {
            delete dev1_;            // nie powinno się skompilować,
            delete dev2_;            // a jeśli się da, należy tego unikać
         }
         throw; // przerzucenie wyjątku do wywołującego
      }
  ~BrokerBad() {
      delete dev1_;
      delete dev2_;
   }

private:
   BrokerBad();
   Device* dev1_;
   Device* dev2_;
};
```

Otóż nie. Pojawiają się bowiem dwa problemy. Przede wszystkim zaś kompilator nie powinien zezwolić na stosowanie takich konstrukcji, bo kod bloku `catch` konstruktora nie powinien odwoływać się do składowych obiektu — przecież w tym momencie one jeszcze w ogóle nie istnieją. Po drugie, jeśli nawet kompilator „przepuści" taki kod, należałoby go unikać. Załóżmy, że dojdzie do zrzucenia wyjątku przy konstrukcji obiektu dla składowej `dev1_`. W ramach obsługi wyjątku dojdzie do próby wykonania poniższego kodu:

```
catch (...) {
   if (dev1_) {
      delete dev1_;      // jaką wartość ma dev1_?
      delete dev2_;      // usuwanie wskaźnika o nieokreślonej wartości
   }
   throw; // przerzucenie wyjątku do wywołującego
}
```

Jeśli przy konstrukcji obiektu dla składowej `dev1_` zostanie zrzucony wyjątek, operator `new` nie będzie miał okazji zwrócić adresu nowo przydzielonego obszaru pamięci i tym samym nie zmieni wartości `dev1_`. Cóż to więc będzie za wartość? Otóż, nie można tego określić, bo składowa nie została wcześniej zainicjalizowana. W efekcie dojdzie do wywołania `delete dev1_`, przy nieokreślonej wartości `dev1_`, co skończy się najpewniej usunięciem zupełnie przypadkowego wskaźnika, czyli w najlepszym razie — natychmiastowym załamaniem programu (zwolnieniem z pracy , koniecznością życia w hańbie itd.).

Aby uniknąć potencjalnego załamania programu (albo i kariery), należy na liście inicjalizacyjnej ograniczać się do inicjalizowania składowych wskaźnikowych wartościami NULL, a przydział pamięci sterty odłożyć do ciała konstruktora. Tam można będzie spokojnie przechwycić i obsłużyć ewentualne niepowodzenia przydziału i uporządkować stan obiektu, bo wywołanie delete na rzecz wartości NULL nie daje żadnych negatywnych skutków (nie daje żadnych skutków w ogóle):

```
BrokerBetter (int devno1, int devno2) :
dev1_(NULL), dev2_(NULL) {
   try {
      dev1_ = new Device(devno1);
      dev2_ = new Device(devno2);
   }
   catch(...) {
      delete dev1_;        // zawsze w porządku
      throw;
   }
}
```

Podsumowując: jeśli trzeba korzystać w klasie ze składowych wskaźnikowych, należy je inicjalizować wartościami NULL z poziomu listy inicjalizacyjnej, a faktyczny przydział pamięci odłożyć do ciała konstruktora, gdzie można go ująć w bloku kodu chronionego. Tam też można bezpiecznie zwolnić wskazania w ramach obsługi ewentualnego wyjątku przydziału. Jednak wszędzie tam, gdzie wskaźniki da się zastąpić zmiennymi automatycznymi, lepiej zastosować właśnie takie zmienne i inicjalizować je na liście inicjalizacyjnej konstruktora z użyciem specjalnej składni try-catch — znakomicie ułatwi to obsługę ewentualnych wyjątków inicjalizacji.

Zobacz również

Recepturę 9.2.

9.4. Uodpornianie metod klasy

Problem

Piszemy metodę, która ma dawać zwykłą i silną gwarancję odporności na wyjątki, a więc nie dopuszczać do wycieków zasobów i nie pozostawiać obiektu w niepoprawnym stanie.

Rozwiązanie

Trzeba wytypować operacje potencjalnie zrzucające wyjątki i wykonać je w pierwszej kolejności, oczywiście w bloku kodu chronionego (try-catch). Aktualizację stanu obiektu wolno podjąć dopiero po zakończeniu wykonania kodu potencjalnie ryzykownego. Przykład uodpornienia metody na wyjątki prezentuje listing 9.4.

Listing 9.4. Metoda odporna na wyjątki

```
class Message {

public:
   Message(int bufSize = DEFAULT_BUF_SIZE) :
```

```
      bufSize_(bufSize),
      initBufSize_(bufSize),
      msgSize_(0),
      buf_(NULL) {
      buf_ = new char[bufSize];
   }

  ~Message() {
      delete[] buf_;
   }

   // dołączanie znaków
   void appendData(int len, const char* data) {
      if (msgSize_+len > MAX_SIZE) {
         throw out_of_range("Rozmiar danych przekracza limit.");
      }
      if (msgSize_+len > bufSize_) {

         int newBufSize = bufSize_;
         while ((newBufSize *= 2) < msgSize_+len);

         char* p = new char[newBufSize];     // przydział pamięci
                                             // dla nowego bufora

         copy(buf_, buf_+msgSize_, p);       // kopiowanie poprzedniej zawartości
         copy(data, data+len, p+msgSize_);   // kopiowanie nowych danych

         msgSize_ += len;
         bufSize_ = newBufSize;

         delete[] buf_;   // pozbycie się poprzedniego bufora
         buf_ = p;        // i przestawienie wskaźnika bufora na nowy
      }
      else {
         copy(data, data+len, buf_+msgSize_);
         msgSize_ += len;
      }
   }

   // kopiowanie danych do bufora wskazanego przez wywołującego
   int getData(int maxLen, char* data) {
      if (maxLen < msgSize_) {
         throw out_of_range("Bufor docelowy nie pomieści danych.");
      }
      copy(buf_, buf_+msgSize_, data);
      return(msgSize_);
   }

private:
   Message(const Message& orig) {}           // por. recepturę 9.5.
   Message& operator=(const Message& rhs) {} //
   int bufSize_;
   int initBufSize_;
   int msgSize_;
   char* buf_;
};
```

Analiza

Klasa `Message` z listingu 9.4 to klasa reprezentująca komunikat tekstowy składający się ze znaków; obiekty takiej klasy mogłyby służyć np. do kopertowania komunikatów tekstowych bądź danych binarnych przekazywanych pomiędzy systemami. Najbardziej interesuje nas metoda

appendData klasy, która dołącza dane przekazane za pośrednictwem argumentu wywołania do bieżącej zawartości bufora. Jeśli to konieczne, bufor jest powiększany (tzn. odbywa się przydział nowego bufora). Metoda daje silną gwarancję odporności na wyjątki, choć ta jej zaleta nie rzuca się w oczy.

Spójrzmy choćby na tę część metody appendDate:

```
if (msgSize_+len > bufSize_) {

   int newBufSize = bufSize_;
   while ((newBufSize *= 2) < msgSize_+len);

   char* p = new char[newBufSize];
```

Zadaniem tego fragmentu metody jest powiększenie bufora. Rozmiar nowego bufora jest obliczany przez podwajanie bieżącego rozmiaru bufora, do skutku. Ten fragment jest zupełnie bezpieczny, bo wyjątek mógłby zostać zrzucony jedynie przez operator new, a i to nie sprowadziłoby żadnego ryzyka: obiekt nie został jeszcze poddany żadnym modyfikacjom, nie doszło też do przydzielenia żadnych nowych zasobów. Jeśli system operacyjny nie będzie w stanie zrealizować przydziału pamięci dla nowego bufora, operator new zrzuci wyjątek bad_alloc.

Jeśli uda się skutecznie przydzielić pamięć, można przystąpić do aktualizacji stanu obiektu, co polega na skopiowaniu danych do nowego bufora i zaktualizowaniu składowej wskazującej bufor:

```
   copy(buf_, buf_+msgSize_, p);
   copy(data, data+len, p+msgSize_);

   msgSize_ += len;
   bufSize_ = newBufSize;

   delete[] buf_;
   buf_ = p;
```

Żadna z powyższych operacji nie może zrzucać wyjątków, więc całość jest zupełnie bezpieczna (a to dlatego, że bufor zawiera sekwencję znaków typu char; wyjaśnienia skutków takiej decyzji projektowej należy szukać w recepturze 9.5).

Jak widać, rozwiązanie jest proste; do tego odzwierciedla dobrze ogólną strategię implementowania metod z silną gwarancją odporności na wyjątki, wedle której wszystko, co może sprowokować wyjątek należy wykonać najpierw, a kiedy już wszystkie ryzykowne operacje zostaną pomyślnie wykonane, można przystąpić do modyfikowania stanu obiektu, na rzecz którego nastąpiło wywołanie. W metodzie appendData do obliczania rozmiaru nowego bufora służy zmienna tymczasowa; w ten sposób eliminujemy przedwczesną modyfikację stanu obiektu, ale czy naprawdę wystarczy to do zapewnienia zwykłej gwarancji, czyli braku wycieku zasobów? Owszem, choć ledwo.

Otóż, algorytm copy dla każdego elementu kopiowanej sekwencji wywołuje operator przypisania operator=. W klasie z listingu 9.4 elementy te są typu char, a wiadomo, że przypisanie znaku do innego znaku nie może sprowokować wyjątku. Więc „owszem, ledwo", bo odporność na wyjątki nie wynika z charakteru algorytmu copy, a jedynie ze specjalnych cech typu, na którym ów algorytm operuje. Nie wolno więc zakonotować sobie, że copy nie zrzuca wyjątków.

Załóżmy na chwilę, że zamiast zwykłego bufora znaków chcemy w klasie Message przechowywać tablicę elementów dowolnego typu. Klasę taką moglibyśmy zdefiniować przy użyciu szablonu klasy, jak na listingu 9.5.

Listing 9.5. Uogólniona klasa komunikatu

```
template<typename T>
class MessageGeneric {

public:
   MessageGeneric(int bufSize = DEFAULT_BUF_SIZE) :
      bufSize_(bufSize),
      initBufSize_(bufSize),
      msgSize_(0),
      buf_(new T[bufSize]) {}

  ~MessageGeneric() {
      delete[] buf_;
   }

   void appendData(int len, const T* data) {
      if (msgSize_+len > MAX_SIZE) {
         throw out_of_range("Rozmiar danych przekracza limit.");
      }
      if (msgSize_+len > bufSize_) {

         int newBufSize = bufSize_;
         while ((newBufSize *= 2) < msgSize_+len);

         T* p = new T[newBufSize];

         copy(buf_, buf_+msgSize_, p);      // czy copy może zrzucić wyjątek?
         copy(data, data+len, p+msgSize_);

         msgSize_ += len;
         bufSize_ = newBufSize;

         delete[] buf_;   // pozbycie się poprzedniego bufora
         buf_ = p;        // i przestawienie wskaźnika bufora na nowy
      }
      else {
         copy(data, data+len, buf_+msgSize_);
         msgSize_ += len;
      }
   }

   // kopiowanie danych do bufora wskazanego przez wywołującego
   int getData(int maxLen, T* data) {
      if (maxLen < msgSize_) {
         throw out_of_range("Bufor docelowy nie pomieści danych.");
      }
      copy(buf_, buf_+msgSize_, data);
      return(msgSize_);
   }

private:
   MessageGeneric(const MessageGeneric& orig) {}
   MessageGeneric& operator=(const MessageGeneric& rhs) {}
   int bufSize_;
   int initBufSize_;
   int msgSize_;
   T* buf_;
};
```

Tu musimy być ostrożniejsi, bo nie możemy już zakładać niczego co do typu elementów bufora. Nie możemy więc mieć pewności, czy `T::operator=` nie zrzuca wyjątków. Trzeba się przygotować na najgorsze.

Mianowicie, wywołanie algorytmu `copy` należy ująć w bloku kodu chronionego:

```
try {
   copy(buf_, buf_+msgSize_, p);
   copy(data, data+len, p+msgSize_);
}
catch(...) {      // nie obchodzi nas, co zostało zrzucone;
   delete[] p;    // tak czy inaczej, trzeba posprzątać
   throw;         // i przerzucić wyjątek do wywołującego
}
```

Operator wielokropka wymusza przechwycenie każdego zrzuconego wyjątku, można więc mieć pewność, że jeśli `T::operator=` zrzuca wyjątki, to nie przegapimy żadnego, niezależnie od ich typu. W każdym przypadku zdołamy posprzątać po sobie, zwalniając bufor przydzielony w pamięci sterty.

Jeśli chodzi o ścisłość, to algorytm `copy` faktycznie sam z siebie nie zrzuca nigdy żadnych wyjątków. Czyni to najwyżej wykorzystywany w `copy` operator przypisania `operator=`. Algorytm `copy`, tak jak i pozostałe algorytmy biblioteki standardowej, jest neutralny względem wyjątków: wszystko, co zostanie zrzucone w czasie jego wykonania, zostanie przerzucone do wywołującego; żaden z algorytmów nie „zjada" wyjątków; wszystkie natomiast rezerwują sobie prawo do przechwycenia wyjątku, realizacji pewnych operacji porządkujących i przerzucenia niezmienionego wyjątku do wywołującego.

Uodpornianie metod własnych klas na wyjątki to dość żmudna praca. Wymaga uwzględnienia wielu subtelności i zidentyfikowania wszystkich miejsc, w których może dojść do zrzucenia wyjątków. Gdzie może to nastąpić? W każdym wywołaniu funkcji. Operatory typów macierzystych nie zrzucają wyjątków, a destruktory z zasady nie powinny ich zrzucać; poza tym wszystkie wywołania funkcji, czy to samodzielnych, czy to metod klas, operatorów, konstruktorów itd., to potencjalne źródła wyjątków. Przykłady z listingów 9.4 i 9.5 ilustrują stosunkowo wąski zakres wyjątków; klasy zawierają niewiele składowych, a zachowanie metod jest dobrze rozpoznane. Jednak w miarę mnożenia się składowych i metod, a także przy dziedziczeniu i funkcjach wirtualnych zachowanie silnej gwarancji odporności na wyjątki staje się wyzwaniem.

Trzeba więc zachować zdrowy rozsądek i uodpornić aplikację na wyjątki tylko w takim zakresie, w jakim jest to niezbędne. Jeśli na przykład piszemy program opartego na oknach dialogowych kreatora stron WWW, powinniśmy w terminarzu projektu zarezerwować czas na analizę i testowanie niezbędne do zachowania silnej odporności na wyjątki. Być może okaże się, że użytkownicy akceptują w niektórych sytuacjach (byle nie za często!) lakoniczne komunikaty o błędach w rodzaju „Nieznany błąd, wyłączam". Z drugiej strony, w oprogramowaniu sterującym kątem nachylenia rotora śmigłowca klient będzie zapewne nalegał na wdrożenie wszelkich możliwych zabezpieczeń i zadbanie o to, aby pilot nie ujrzał nigdy komunikatu „Nieznany błąd, wyłączam".

9.5. Bezpieczne kopiowanie obiektu

Problem

Zaimplementować podstawowe operacje kopiowania obiektów klasy (operator przypisania i konstruktor kopiujący), tak aby kopiowanie było odporne na wyjątki.

Rozwiązanie

W ramach rozwiązania należałoby wdrożyć taktykę z receptury 9.4, polegającą na przesuwaniu ryzykownych operacji na początek ścieżki wykonania, przed operacje aktualizujące stan obiektów. W przykładzie powrócimy do klasy `Message`, uzupełniając ją tym razem o operator przypisania i konstruktor kopiujący — zobacz listing 9.6.

Listing 9.6. Odporne na wyjątki implementacje operacji kopiujących

```
#include <iostream>
#include <string>

const static int DEFAULT_BUF_SIZE = 3;
const static int MAX_SIZE         = 4096;

class Message {

public:
   Message(int bufSize = DEFAULT_BUF_SIZE) :
      bufSize_(bufSize),
      initBufSize_(bufSize),
      msgSize_(0),
      key_("") {
      buf_ = new char[bufSize]; // uwaga: w ciele konstruktora
   }

  ~Message( ) {
      delete[] buf_;
   }

   // odporny na wyjątki konstruktor kopiujący
   Message(const Message& orig) :
      bufSize_(orig.bufSize_),
      initBufSize_(orig.initBufSize_),
      msgSize_(orig.msgSize_),
      key_(orig.key_) { // tu może dojść do zrzucenia wyjątku...

      buf_ = new char[orig.bufSize_];  // ...tu też
      copy(orig.buf_, orig.buf_+msgSize_, buf_); // tu już nie
   }

   // odporne na wyjątki przypisanie, z odwołaniem do konstruktora kopiującego
   Message& operator=(const Message& rhs) {

      Message tmp(rhs);    // konstrukcja (kopiująca) obiektu tymczasowego
      swapInternals(tmp); // podmiana składowych
      return(*this);       // po opuszczeniu zasięgu dojdzie do usunięcia tmp
                           // wraz z oryginalnymi danymi
   }

   const char* data( ) {
      return(buf_);
   }

private:
   void swapInternals(Message& msg) {
      // key_ nie jest typem wbudowanym i może zrzucać wyjątki,
      // więc zostanie podmieniony jako pierwszy
      swap(key_, msg.key_);

      // jeśli nie pojawił się wyjątek, można podmienić wartości proste
      swap(bufSize_,     msg.bufSize_);
```

```
        swap(initBufSize_, msg.initBufSize_);
        swap(msgSize_,     msg.msgSize_);
        swap(buf_,         msg.buf_);
    }
    int bufSize_;
    int initBufSize_;
    int msgSize_;
    char* buf_;
    string key_;
};
```

Analiza

Cała czarna robota jest tu składana na barki konstruktora kopiującego i metody `swapInternals`. Konstruktor kopiujący inicjalizuje składowe typów prostych i jedną składową typu klasy z poziomu listy inicjalizacyjnej. W ciele konstruktora następuje przydział pamięci dla bufora i skopiowanie danych do tegoż bufora. Proste, prawda? Ale dlaczego w tej kolejności? Można by przecież posłużyć się argumentem, że całość inicjalizacji powinna się odbyć w ramach listy inicjalizacyjnej konstruktora, ale to otwarłoby furtkę całej grupie subtelnych błędów.

Załóżmy przykładowo, że przydział bufora zrealizujemy w ramach listy inicjalizacyjnej, jak tu:

```
Message(const Message& orig) :
    bufSize_(orig.bufSize_),
    initBufSize_(orig.initBufSize_),
    msgSize_(orig.msgSize_),
    key_(orig.key_),
    buf_(new char[orig.bufSize_]) {
    copy(orig.buf_, orig.buf_+msgSize_, buf_);
}
```

Można by pomyśleć, że to całkiem dobre rozwiązanie, bo jeśli wywołanie `new` przydzielające bufor zawiedzie, dojdzie do automatycznego usunięcia wszystkich pozostałych, w pełni już skonstruowanych obiektów. Ale taki wygodny automatyzm wcale nie jest pewny, bo składowe *nie są* inicjalizowane w kolejności, którą określa lista inicjalizacyjna, ale zgodnie z kolejnością występowania w deklaracji klasy. Oto kolejność deklaracji składowych:

```
int bufSize_;
int initBufSize_;
int msgSize_;
char* buf_;
string key_;
```

Jak widać, składowa `buf_` będzie inicjalizowana przed `key_`. Jeśli inicjalizacja `key_` sprowokuje wyjątek, nie dojdzie do zwolnienia `buf_`, a w pamięci zalegać będzie niewskazywany niczym obszar pamięci. Można się przed tym zabezpieczyć blokiem `try-catch` w ciele konstruktora (zobacz recepturę 9.2), ale prościej będzie przenieść inicjalizację `buf_` do ciała konstruktora i w ten sposób na pewno wymusić realizację po zakończeniu przetwarzania listy inicjalizacyjnej.

Wywołanie algorytmu `copy` na pewno nie zrzuci wyjątków, bo algorytm operuje na typie prostym. Znów mamy do czynienia z subtelnością odporności na wyjątki: wywołanie algorytmu `copy` mogłoby sprowokować wyjątek, gdyby kopiowanie dotyczyło obiektów, a nie zmiennych wbudowanych (np. gdyby rzecz dotyczyła kontenera elementów typu `T`); w takim przypadku należałoby ująć wywołanie w bloku `try` i zwalniać pamięć w ramach obsługi wyjątku.

Alternatywną metodą kopiowania obiektu jest wywoływanie operatora przypisania (`operator=`). Ponieważ operator przypisania ma potrzeby zbliżone do konstruktora kopiującego (bo

oba mają przepisać wartości składowych obiektu źródłowego do składowych obiektu docelowego), często w implementacji operatora przypisania odwołujemy się do gotowego już konstruktora kopiującego. Równie częstym ulepszeniem jest zastosowanie prywatnej metody do podmiany składowych obiektów. Chciałbym być autorem tej techniki, ale muszę oddać zasługi Herbowi Sutterowi i Stephenowi Dewhurstowi, bo to od nich ją ściągnąłem.

Technika ta, zastosowana na listingu 9.6, nie powinna wymagać szerszego komentarza, jednak na wszelki wypadek pozwolę ją sobie opisać. Weźmy na warsztat pierwszy wiersz operatora przypisania, konstruującego obiekt tymczasowy przy użyciu konstruktora kopiującego klasy:

```
Message tmp(rhs);
```

Otrzymaliśmy w ten sposób kopię obiektu źródłowego przypisania. Zasadniczo `tmp` jest teraz równoważne `rhs`. Wystarczy już tylko podmienić składowe `*this` ze składowymi `tmp`:

```
swapInternals(tmp);
```

Do metody `swapInternals` wrócimy za moment, tymczasem zaś składowe `*this` odzwierciedlają składowe `tmp`. A skoro `tmp` było wierną kopią `rhs`, to `*this` jest teraz równoważne `rhs`. Został jeszcze ten obiekt tymczasowy; na szczęście nie stanowi żadnego problemu, bo w momencie zwracania `*this` jego zasięg się skończy i zostanie usunięty, znikając wraz z poprzednimi wartościami składowych:

```
return(*this);
```

I już. Czy to odporne na wyjątki? Na pewno odporna jest operacja konstrukcji `tmp`, bo zadbaliśmy o odporność naszego konstruktora kopiującego. Realizacja przypisania opiera się w znacznej mierze na wywołaniu metody `swapInternals`, więc to jej odporność na wyjątki będzie tu decydująca.

Metoda `swapInternals` wymienia wszystkie składowe bieżącego obiektu ze składowymi obiektu przekazanego w wywołaniu. Wymiana odbywa się za pośrednictwem standardowego algorytmu `swap`, przyjmującego parę argumentów *a* i *b*, tworzącego kopię *a*, przypisującego *b* do *a* i wreszcie przypisującego do *b* kopię *a*. Algorytm `swap` jest neutralny wobec wyjątków i na nie odporny, bo jedynymi wyjątkami zrzucanymi z algorytmu mogą być te przerzucane z obiektów, na których operuje. Algorytm nie korzysta z pamięci sterty, gwarantuje więc brak wycieku zasobów.

Ponieważ składowa `key_` nie jest składową typu prostego, co oznacza, że operacje na niej mogą prowokować wyjątki, jest wymieniana w pierwszej kolejności. Jeśli w trakcie wymiany dojdzie do zrzucenia wyjątku, unikniemy naruszenia pierwotnego stanu pozostałych składowych. Nie zyskamy jednak pewności nienaruszenia składowej `key_`. W tym aspekcie jesteśmy całkowicie zdani na łaskę i niełaskę twórcy implementacji klasy obiektu i jej gwarancji odporności na wyjątki. Jeśli ta podmiana nie sprowokuje wyjątku, jesteśmy w domu, bo wiadomo, że operacje na typach wbudowanych już ich nie sprowokują. Widać więc, że `swapInternals` jest metodą dającą i zwykłą, i silną gwarancję odporności na wyjątki.

A co, gdyby wymiana miała objąć większą liczbę wartości typów złożonych? Gdybyśmy mieli w klasie dwie składowe typu `string`, początek metody `swapInternals` mógłby wyglądać tak:

```
void swapInternals(Message& msg) {
   swap(key_, msg.key_);
   swap(myObj_, msg.myObj_);
   //...
```

Mamy problem: jeśli druga podmiana zrzuci wyjątek, w jaki sposób bezpiecznie wycofamy pierwszą podmianę? Składowa `key_` będzie miała nową wartość, ale w obliczu niepowodzenia podmiany `myObj` trzeba tę wartość uznać za niepoprawną. Jeśli wywołujący przechwyci wyjątek i zechce kontynuować wykonanie jakby nigdy nic, będzie miał do czynienia z obiektem w niespójnym stanie, a na pewno z innym niż ten, z którym zaczynał operację. Można skopiować `key_` do ciągu tymczasowego, ale któż zagwarantuje, że kopiowanie nie zrzuci wyjątku?

Problem można wyeliminować z użyciem obiektów sterty:

```
void swapInternals(Message& msg) {
   // key_ jest typu string* a myObj jest typu MyClass*
   swap(key_, msg.key_);
   swap(myObj_, msg.myObj_);
```

Oznacza to, co prawda, konieczność zarządzania przydziałami pamięci, ale proces uodparniania na wyjątki często wymaga reorganizacji projektów, warto więc zaplanować go już w pierwszych fazach projektowania.

Wytyczne wynikające z niniejszej receptury stanowią powtórzenie strategii postulowanej w poprzednich: prace ryzykowne trzeba wykonywać najpierw (w blokach `try-catch`), uzależniając od ich powodzenia wykonanie operacji modyfikujących stan obiektu. Jeśli operacje ryzykowne sprowokują wyjątek, można będzie podjąć operacje porządkowe, przywracając pierwotny stan obiektu.

Zobacz również

Receptury 9.2 i 9.3.