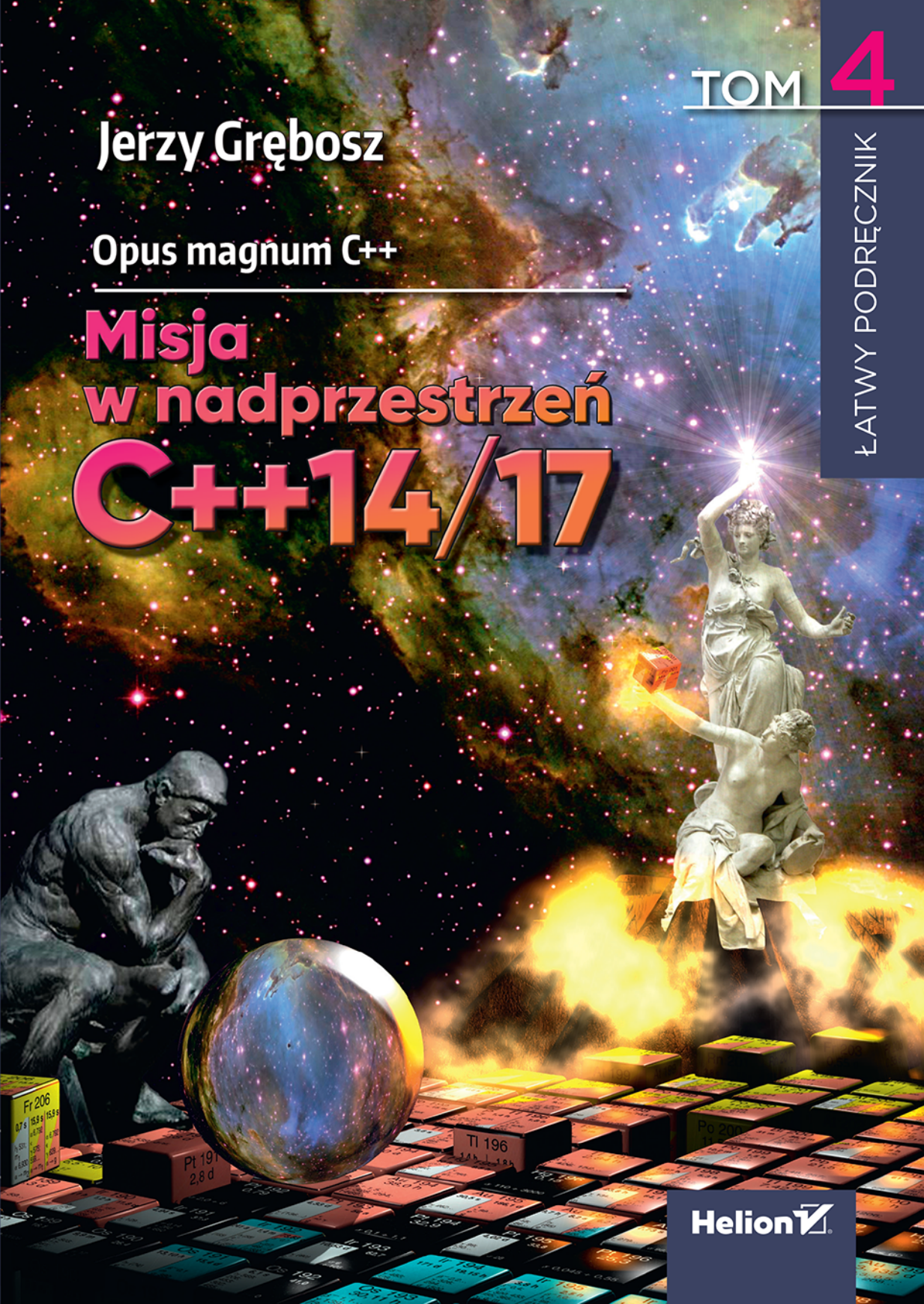

TOM 4
ŁATWY PODRĘCZNIK
Jerzy Grębosz
Opus magnum C++
Misja w nadprzestrzeń C++14/17
Fr 206
Pt 191
2,8 d
Tl 196
Po 200
Helion

Redaktor prowadzący: Małgorzata Kulik
Projekt okładki i opracowanie graficzne książki: Jerzy Grębosz
Zdjęcie Mgławicy Orzeł w grafice na okładce oraz zdjęcia łazika Curiosity
i powierzchni Marsa – wykorzystane w tytułach rozdziałów – dzięki uprzejmości NASA

Wydanie drugie B
ISBN: 978-83-8322-582-1

Helion S.A.
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice
tel. 32 230 98 63
e-mail: *helion@helion.pl*
WWW: *https://helion.pl* (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
https://helion.pl/user/opinie/op144v
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Kody źródłowe wybranych przykładów dostępne są pod adresem:
https://ftp.helion.pl/przyklady/op144v.zip

Spis treści

0 Proszę tego nie czytać!....1
0.1 Wyruszamy na kolejną wyprawę!....1

1 Szablony o zmiennej liczbie parametrów 3
1.1 Szablon funkcji o zmiennej liczbie parametrów (i argumentów)....4
1.2 Jak dobrać się do argumentów tkwiących w pakiecie?....11
1.2.1 Ciekawe szablony zwracające rezultat 16
1.3 Szablon klas o dowolnej (zmiennej) liczbie parametrów....18
1.4 Trzy rodzaje pakietów parametrów szablonu 24
1.4.1 Pakiet szablonu będący pakietem wartości 25
1.5 Argumenty pakietu odbierane przez wartość, referencję, adres....30
1.6 Rozwinięcie według wzorca (czyli rozwinięcie „z kontekstem”)....31
1.7 Rozwinięcie pakietu typów w klamrowej liście inicjalizatorów....34
1.7.1 Łatwe narzędzie do wypisania argumentów....34
1.8 Rozwinięcie pakietu na liście parametrów aktualnych innego szablonu 36
1.9 Gdzie można umieścić wyrażenia rozwijające pakiet parametrów 39
1.10 Ćwiczenia 39

2 Cechy języka wprowadzone do standardu C++14 43
2.1 Zapis dwójkowy stałych dosłownych....43
2.2 Separatory cyfr w stałych dosłownych 44
2.2.1 Wypisywanie liczb w postaci binarnej....45
2.2.2 Wczytywanie liczb dwójkowych strumieniem wejściowym....48
2.3 Kompilator rozpoznaje typ rezultatu funkcji 50
2.4 Deklaracja typu rezultatu *decltype(auto)* 52
2.4.1 Przykład zastosowania konstrukcji *decltype(auto)* w szablonie funkcji....55
2.5 Szablon definicji zmiennej 59
2.5.1 Jak to drzewiej bywało, czyli świat bez szablonów zmiennych 64
2.5.2 Teraz zobaczysz, jak prosto się to robi z C++14....71
2.5.3 Ciekawe zastosowanie: sprawdzenie cech charakteru danego typu 72
2.5.4 Lubię, nie lubię... 77
2.5.5 Dwa usprawnienia....80
2.5.6 Realizacja tego pomysłu w programie 81
2.6 Przeładowanie globalnych operatorów *new*, *new[ ]*, *delete* i *delete[ ]*....86
2.7 Nowości C++14 w wyrażeniach lambda 94
2.7.1 Przykład uogólnionego wyrażenia lambda....94
2.7.2 Przykład definicji obiektu na liście wychwytywania i jego inicjalizacja 96
2.7.3 Przykład wychwycenia na zasadzie przeniesienia (move) 99

2.8 C++14 a funkcje *constexpr* 104
2.8.1 Zniesienie wielu ograniczeń w ciele funkcji *constexpr* 104
2.8.2 Funkcje składowe *constexpr* w C++14 nie są już automatycznie *const* 110
2.9 Atrybuty 111
2.9.1 Nowy atrybut *[[deprecated]]* wprowadzony w C++14 112
2.9.2 Oznaczenie wybranej funkcji jako przestarzałej 113
2.9.3 Argument funkcji uznany za przestarzały 114
2.9.4 Przestarzałe niestatyczne składniki klasy: funkcja składowa i dana składowa 114
2.9.5 Obiekt oznaczony jako przestarzały 115
2.9.6 *deprecated* a zbiorcza definicja kilku zmiennych (z ewentualną inicjalizacją) 116
2.9.7 Typy, które uznajemy za przestarzałe 116
2.9.8 Przestarzałe synonimy typów (w instrukcjach *typedef* i *using*) 118
2.9.9 Oznaczanie atrybutem *[[deprecated]]* specjalizacji szablonu klasy 118
2.9.10 Oznaczanie atrybutem *[[deprecated]]* specjalizacji szablonu funkcji 119
2.10 Przewrotu nie było 119
2.11 Ćwiczenia 119

3 Cechy języka wprowadzone do standardu C++17 123

3.1 Specyfikacja wyjątków staje się częścią typu funkcji 123
3.2 Technika „pomijanie kopiowania” bywa teraz obowiązkiem kompilatora 128
3.3 Przydomek *alignas* a operatory *new* i *delete* 134
3.3.1 Przeładowanie globalnych *new* i *delete* uwzględniające wyrównanie adresów 135
3.3.2 Jak przeładować wyrównujące operatory *new/delete* na użytek wybranej klasy 141
3.4 Porządek obliczania składników w złożonych wyrażeniach – nareszcie ustalony 144
3.5 Stała znakowa typu *u8* 146
3.6 Szesnastkowy zapis liczb zmiennoprzecinkowych 147
3.6.1 Wypisywanie i wczytywanie zmiennoprzecinkowych liczb szesnastkowych 149
3.7 Wyrażenia poskładane w harmonijkę – ułatwienie pracy z pakietem argumentów 152
3.7.1 Pierwszy przykład użycia wyrażenia harmonijkowego w szablonie 152
3.7.2 Harmonijka z dodatkowym wyrażeniem początkowym 155
3.7.3 Cztery formy wyrażenia harmonijkowego 157
3.7.4 Kontekst wyrażenia harmonijkowego – przykład 159
3.8 Dozwolone słowo *auto* w deklaracji *template <auto>* 161
3.9 Kompilator rozpoznaje typ parametrów klasy szablonowej 166
3.9.1 Wektory czego innego niż widać 170
3.10 Instrukcja *if constexpr* – prawie jak kompilacja warunkowa 173
3.10.1 Instrukcja *if constexpr* rozwiązuje problem „lubianych” i „nielubianych” typów 176
3.11 Wyrażenia inicjalizujące w instrukcjach *if* i *switch* 179
3.12 Dowiązania strukturalne, czyli łatwe „sięganie do składników” 182
3.12.1 Dowiązanie do tablic zbudowanych na bazie klasy *std::array* 184
3.12.2 Łatwe sięganie do składników struktur/klas 185
3.12.3 Przystosowanie naszej klasy do obsługi deklaracji dowiązań 192
3.12.4 Przystosowanie cudzej klasy do obsługi deklaracji dowiązań 198
3.13 Operator preprocesora zwany *__has_include* 201
3.14 Nowe atrybuty: *maybe_unused*, *fallthrough* i *nodiscard* 203
3.14.1 Atrybut *[[maybe_unused]]* 205
3.14.2 Atrybut *[[fallthrough]]* używany w instrukcji *switch* 208
3.14.3 Atrybut *[[nodiscard]]* – nie zlekceważ mnie... 210
3.15 Typ *std::byte* do operacji na surowych blokach pamięci 213
3.16 Modyfikacje istniejących cech języka 222
3.17 Rozluźnienie zasady inicjalizowania typów wyliczeniowych 223
3.18 Modyfikacja deklaracji *static_assert* 224
3.19 Prostszy sposób zapisu zagnieżdżonych przestrzeni nazw 225
3.20 Dozwolone słowo *typename* w parametrze określającym inny szablon 229

3.21 Dla zakresowej pętli *for* funkcje *begin* i *end* mogą zwracać odmienne typy 233
3.22 Rozwinięcie pakietu możliwe nawet w deklaracji *using* 239
3.23 Nowe zasady *auto*-rozpoznawania typu obiektów mających inicjalizację klamrową 245
3.24 W C++17 agregat może być nawet klasą pochodną 247
3.25 Zmiana typu rezultatu funkcji *std::uncaught_exception* 250
3.26 Ćwiczenia 254

4 Posłowie – czyli C++20 *ante portas*....264

Skorowidz 265

2.7 Nowości C++14 w wyrażeniach lambda

O wyrażeniach lambda rozmawialiśmy w *Opus magnum* w rozdziale 30. Teraz zapoznamy się z dwoma ciekawymi cechami wprowadzonymi przez standard C++14. Są to:

1) uogólnione wyrażenia lambda,
2) definicja (na liście wychwytywania) lokalnego obiektu, mającego swoją inicjalizację.

Zanim zobaczymy te cechy w przykładowych programach, kilka zdań wyjaśnienia.

2.7.1 Przykład uogólnionego wyrażenia lambda

Mówiąc najprościej, w C++11 argumenty formalne wyrażenia lambda musiały być ściśle określonego typu. Tymczasem...

> Standard C++14 pozwala, by typ argumentu formalnego naszego wyrażenia lambda był parametrem. Robimy to, określając typ danego parametru słowem auto. Dzięki temu nasze wyrażenie lambda staje się jakby szablonem funkcji lambda o danej nazwie.

W poniższym programie zobaczysz, jakie to proste.

```
#include <iostream>
using namespace std;
//*****************************************************************************************************************
int main()
{
    // wytworzenie zwykłego wyrażenia lambda C++11
    auto  czy_mniejsze_int = [ ] (int m, int k) { return m < k; };                                          ❶

    cout << boolalpha;                                                                                      ❷
    cout << "Czy (5 < 2) ? "  << czy_mniejsze_int(5, 2) << endl;                                           ❸
    cout << "Czy (5.1 < 5.9) ? "  << czy_mniejsze_int(5.1, 5.9) << endl; // niestety!                      ❹

    // C++14
    // wytworzenie uogólnionego wyrażenia lambda
    auto  czy_mniejsze_uniwersalne = [ ] (auto m, auto k) { return m < k; };                                ❺

    cout << "Czy (5 < 2) ? "  << czy_mniejsze_int(5, 2) << endl;                                           ❻
    cout << "Czy (5.1 < 5.9) ? "  << czy_mniejsze_int(5.1, 5.9) << endl;                                  ❼
    // to działa nawet na znakach
    cout << "Czy ('a' < 'b') ? "  << czy_mniejsze_uniwersalne('a', 'b') << endl;                          ❽
    cout << "Czy ('b' < 'a') ? "  << czy_mniejsze_uniwersalne('b', 'a') << endl;

    cout << "Wolno nawet nawet porownac wartosci roznych typow\n";
    cout << "Czy (3 < 3.14 ) ? "  << czy_mniejsze_uniwersalne(3, 3.14) << endl;                           ❾

    cout << "Znak 'p' ma kod liczbowy: " << int('p') << endl;

    cout << "Czy ('p' < 111) ? "  << czy_mniejsze_uniwersalne('p', 111) << endl;                          ❿
    cout << "Czy ('p' < 113.5) ? "  << czy_mniejsze_uniwersalne('p', 113.5) << endl;                      ⓫
}
```

Na ekranie pojawi się taki tekst:

```
Czy (5 < 2) ? false                                          3
Czy (5.1 < 5.9) ? false                                      4
Czy (5 < 2) ? false                                          6
Czy (5.1 < 5.9) ? false                                      7
Czy ('a' < 'b') ? true
Czy ('b' < 'a') ? false
Wolno nawet nawet porownac wartosci roznych typow
Czy (3 < 3.14 ) ? true                                       9
Znak 'p' ma kod liczbowy: 112
Czy ('p' < 111) ? false                                      10
Czy ('p' < 113.5) ? true                                     11
```

Najpierw przypomnienie

Jak pamiętamy z C++11, wyrażenie lambda najczęściej wpisujemy wprost w potrzebną nam instrukcję. Zostaje ono użyte przez tę instrukcję, a potem staje się niepotrzebne. Gdybyśmy jednak chcieli skorzystać z danego wyrażenia lambda kilkakrotnie (w kilku innych instrukcjach), możemy to zrobić, nadając mu nazwę. W praktyce nadanie nazwy polega na tym, że definiujemy „obiekt lambda" o określonej nazwie i inicjalizujemy go wymyślonym przez siebie wyrażeniem lambda.

```
auto nazwa_obiektu_lambda = wyrażenie_lambda;
```

Abyśmy się nie musieli głowić, jakiego typu jest nasze wyrażenie lambda, stosujemy zastępcze słowo kluczowe auto. Nie będę rozwijał tego zagadnienia, bo o tej sprawie rozmawialiśmy w *Opusie* (§30.5.1). Koniec przypomnienia, teraz o nowościach.

❶ W naszym programie widzimy tak właśnie zdefiniowane wyrażenie lambda. Obiekt lambda, w którym będziemy je przechowywać, nazywamy długą, ale obrazową nazwą czy_mniejsze_int. Patrząc na ciało tego wyrażenia lambda, łatwo zauważysz, że otrzymuje ono dwa argumenty (dwie wartości typu int) i sprawdza, czy pierwsza wartość jest mniejsza od drugiej. Jeśli „tak", to zwraca ono wartość true, jeśli „nie", wówczas zwraca wartość false.

❸ Oto wywołanie tego wyrażenia lambda dla dwóch wartości typu int: 5 oraz 2. Na ekranie pojawia się odpowiedź false.

OdpowiedŸjest „s³owna" dziêki manipulatorowi boolalpha, którym powiedzieliœmy strumieniowi cout, ¿e wolimy „s³ownie" ❷.

A co będzie, jeśli to samo wyrażenie lambda zastosujemy wobec dwóch wartości typu double?

❹ Oto taka sytuacja. Niestety nie zadziała to poprawnie. Skoro wartości 5.1 oraz 5.9 (czyli typu double) zostały wysłane wyrażeniu lambda obsługującemu wartości typu int, to nastąpiło ich obcięcie do typu int. Zatem wyrażenie lambda porównało, czy (5 < 5). Wartością tego wyrażenia jest false, bo przecież 5 nie jest mniejsze od 5.

Wniosek? Nasze wyrażenie lambda nie nadaje się do porównywania wartości typu double. Nie jest uniwersalne.

Ten kłopot rozwiązuje możliwość wytworzenia uogólnionego wyrażenia lambda, na które pozwala nam standard C++14.

❺ Oto jego definicja. Zacytujmy:

```
auto  czy_mniejsze_uniwersalne = [] (auto m, auto k) { return m < k; };
```

Jak widać, zamiast określać typ argumentów m i k, postawiliśmy tam słowa auto. Dzięki temu stworzyliśmy jakby szablon wyrażeń lambda o danej nazwie. Takie uogólnione wyrażenie lambda można zastosować do wartości różnych innych typów. (Oczywiście takich, wobec których operator < ma sens). Oto kilka takich sytuacji.

❻ Użycie wyrażenia lambda czy_mniejsze_uniwersalne wobec argumentów typu (int, int). Działa, podobnie jak to poprzednie (❸).

❼ Użycie wobec argumentów typu (double, double). Działa poprawnie, czego poprzednia lambda (❹) nie potrafiła.

❽ Użycie wobec argumentów typu (char, char). Także działa poprawnie.

❾ Dwa argumenty naszego uogólnionego wyrażenia lambda wcale nie muszą być tego samego typu. Przecież każdy z nich ma swoje własne określenie auto. Oto użycie tego wyrażenia wobec pary argumentów (int, double). Jak widać, także i ono działa poprawnie.

❿ A oto bardziej karkołomne zastosowanie. Porównanie argumentów (char, int), a potem ⓫ argumentów (char, double). (Patrząc na ekran i sprawdzając, czy i jak to działa, pamiętaj że kod ASCII znaku 'p' to 112).

Pora na podsumowanie: uogólnione wyrażenie lambda to narzędzie bardzo wygodne i bardzo proste w użyciu. Sprawia, że wyrażenie lambda, które właśnie tworzymy, może być bardziej uniwersalne, bo można je zastosować do wielu różnych typów argumentów.

> Dociekliwym wyjaśniam, że cały mechanizm uogólnionego wyrażenia lambda polega na tym, że kompilator zamienia je nie na obiekt funkcyjny mający funkcję składową operator(), ale na obiekt funkcyjny mający *szablon funkcji składowej operator()*. W zależności od tego, jakie podajemy argumenty aktualne naszemu wyrażeniu lambda, kompilator produkuje taką lub inną przeładowaną wersję tego operatora().

Jak widać, cały spryt uogólnionego wyrażenia lambda wynika z tego, że używa ono szablonu. Szablony zaś, jak to już kiedyś ustaliliśmy, to nie:

- *run-time* polimorfizm,

  innymi s³owy, ***wielopostaciowoœæ zrealizowana ju¿ w trakcie pracy programu*** *(za pomoc¹ funkcji wirtualnej),*

- lecz *compile-time* polimorfizm

  inaczej: ***wielopostaciowoœæ zrealizowana w trakcie kompilacji*** *(za pomoc¹ szablonu).*

Przyznam się, że nie lubię tych uogólnionych wyrażeń lambda nazywać polimorficznymi. Niepotrzebnie kojarzy się to z funkcjami wirtualnymi, a co tu dużo mówić, ten mechanizm nie dorasta funkcjom wirtualnym do pięt.

2.7.2 Przykład definicji obiektu na liście wychwytywania i jego inicjalizacja

Jak wiadomo, wyrażenie lambda może wychwycić jakieś lokalne obiekty automatyczne dostępne w zakresie, w którym ono nastąpiło. Dzięki temu może z nich korzystać w swoim ciele.

C++14 daje nam dodatkową możliwość:

> Na liście wychwytywania możemy zdefiniować jakiś dodatkowy obiekt, który nam się przyda w ciele wyrażenia lambda. Od razu inicjalizujemy go jakimś wyrażeniem.

Mówiąc ściślej – jeśli na liście wychwytywania umieścimy nazwę z inicjalizacją:

nazwa = *wyrażenie_inicjalizacyjne*;

to tak, jakbyśmy zdefiniowali zmienną i zainicjalizowali ją. Jej zakres to zakres ciała wyrażenia lambda. Jej typ jest taki, jakby przed jej nazwą stało słowo auto (czyli wynika on z typu wyrażenia inicjalizacyjnego).

Co ciekawe i bardzo wygodne – w wyrażeniu, które inicjalizuje zmienną, wolno nam nawet wykorzystać nazwy lokalnych (automatycznych) obiektów dostępnych w zakresie, w którym nasze wyrażenie lambda tworzymy.

> Jeśli potrafisz sobie wyobrazić wyrażenie lambda jako obiekt funkcyjny, to przedstawiony tu mechanizm możesz rozumieć jako możliwość dodania do wyrażenia lambda nowych danych składowych.

Te i dalsze interesujące szczegóły zobaczymy w programie poniżej.

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;
//*****************************************************************************************************************
int main()
{
    int h = 1;                                                                                          ❶
    int k = 12;
    double e = 2.71;

    // definicja wyrażenia lambda
    auto  impakt = [obj = 5,  h = h + 400,  zmienna = k * (k + 1),     &ref = e] ()                     ❷
    {
        // k = 1;        błąd, bo k nie było wychwycone (służy jednie do inicjalizacji)                  ❸

        // e = 1.0;      błąd (jak wyżej)                                                              ❹
        ref = ref + 10;                                                                                 ❺
        // zmienna++;                modyfikacja dozwolona tylko wtedy, jeśli lambda...
        //                                                          ...ma przydomek mutable            ❻

        cout << "obj " << obj
             << ", h = " << h                                                                           ❼
             << ", zmienna = " << zmienna
             << ", ref = " << ref
             << endl;
        return;
    };

    impakt();                          // wykonanie wyrażenia lambda                                   ❽
    cout << "Po wykonaniu lambdy impakt  h = " << h << endl;                                            ❾
}
```

Tak wyglądał będzie ekran po wykonaniu tego programu:

```
obj 5, h = 401, zmienna = 156, ref = 12.71
Po wykonaniu lambdy impakt  h = 1
```

Omówienie

❷ W naszym programie definiujemy wyrażenie lambda. Definiujemy je (dla uproszczenia) nie w wywołaniu jakiejś funkcji algorytmu, ale – że tak powiem – w postaci „wolno stojącej". Zostaje ono zapisane w obiekcie lambda o nazwie impakt. Fakt, że tak właśnie postąpiliśmy, nie ma nic wspólnego z przedmiotem obecnego paragrafu. Po prostu dzięki temu uniknąłem konieczności definiowania funkcji-algorytmu.

Jak widzisz, lista wychwytywania (czyli to, co jest zamknięte w kwadratowym nawiasie) jest dość rozbudowana; jest w niej kilka członów oddzielonych przecinkami:

```
[obj = 5,  h = h + 400,  zmienna = k * (k + 1),  &ref = e]
```

Jest ich aż tyle, bo chcę pokazać różne warianty nowego typu zapisu wychwytywania z inicjalizacją. Nie przerażaj się jednak, zwykle zastosujesz tylko jeden, no, może dwa takie człony. Omówimy je po kolei.

człon: *obj = 5*

Taki zapis na liście wychwytywania odpowiada jakby zapisowi:

```
auto obj = 5;              // pseudokod
```

co oznacza następujące polecenie dla kompilatora: zdefiniuj w ramach tego wyrażenia lambda lokalną zmienną o nazwie obj i inicjalizuj ją wartością wyrażenia (5). Wyrażenie to jest (jak wiadomo) typu int, więc niech zmienna obj będzie właśnie takiego typu.

człon: *h = h +400*

Taki zapis mówi kompilatorowi, że chcielibyśmy, aby zdefiniował nam on lokalny obiekt o nazwie h i inicjalizował go wyrażeniem (h + 400). Ale uwaga: to h stojące na prawo od znaku = (czyli w wyrażeniu inicjalizacyjnym) to zupełnie inne h niż to po lewej. Dotyczy ono jakiegoś h, które istnieje i jest dostępne w zakresie, w którym akurat naszą lambdę definiujemy. W tym przypadku będzie to obiekt ❶ o nazwie h, zdefiniowany w zakresie funkcji main.

Zapamiętaj to. Jeśli w wyrażeniu wychwytującym mamy nawet tę samą nazwę po jednej i drugiej stronie znaku = , np.:

```
h = h
```

owo h z lewej oznacza lokalny obiekt, który definiujemy na użytek ciała wyrażenia lambda, zaś to h z prawej jest nazwą jakiegoś obiektu, który powinien być dostępny w zakresie, w którym naszą lambdę definiujemy.

Aby uniknąć pomyłek i nieporozumień, zwykle daję tym lokalnym obiektom inne nazwy, niż mają obiekty stojące po prawej. Przykład tego widzisz na następnej pozycji listy wychwytywania, czyli...

człon: *zmienna = k * (k + 1)*

Tutaj sprawa jest jasna i czytelna, więc nie trzeba tego objaśniać. Dodam więc tylko, że obiekt o nazwie k został tu tylko użyty w wyrażeniu inicjalizującym, ale to wcale nie znaczy, że został wychwycony. Zresztą zobacz, próba użycia go w ciele wyrażenia

lambda (❸) wywoła błąd kompilatora. (Dlatego tę instrukcję musiałem opatrzyć znakami komentarza).

człon: *&ref = e*

A to jest definicja referencji (przezwiska) o nazwie ref, która od razu dowiaduje się (dzięki inicjalizacji), że jest przezwiskiem obiektu e. Sam obiekt e nie jest wychwycony, więc użycie go w ciele (❹) byłoby błędem. Ponieważ jednak wytworzyliśmy właśnie referencję do tego obiektu, to można z niego korzystać za jej pomocą (❺).

❻ Przypominam, że wprawdzie wyrażenia lambda pozwalają nam wychwycić jakieś obiekty przez wartość (czyli przez kopię), ale kompilator nie pozwoli nam tych kopii modyfikować. Aby to było możliwe, powinniśmy naszą lambdę opatrzyć przydomkiem mutable (zob. *Opus*, §30.3.5). Ponieważ akurat tutaj tego nie zrobiliśmy, musiałem instrukcję ❻ ująć w komentarz.

❼ Oto jest instrukcja, w której wypisujemy na ekranie wartości różnych obiektów dostępnych nam w ramach ciała naszego wyrażenia lambda. Na ekranie możesz zobaczyć na przykład wartość lokalnego obiektu h (401).

❾ Potem, po zakończeniu definicji wyrażenia lambda i po wykonaniu go (❽), wypisujemy wartość tego h, które było zdefiniowane w funkcji main. Jak widać, ta wartość nie została zmieniona i nadal wynosi 1.

Podsumujmy. C++14 wzbogacił możliwości listy wychwytywania wyrażeń lambda. Możemy tam wytwarzać (i inicjalizować) nowe pomocnicze obiekty, z których chcemy skorzystać w ciele wyrażenia lambda.
Inicjalizacja tych pomocniczych obiektów może być dowolnym wyrażeniem – nawet korzystającym z obiektów dostępnych w zakresie, w którym naszą lambdę definiujemy. O pewnym szczególnym zastosowaniu takiej inicjalizacji porozmawiamy w następnym paragrafie.

2.7.3 Przykład wychwycenia na zasadzie przeniesienia (move)

Jak wiemy, lista wychwytywania pozwala wyrażeniu lambda uzyskać dostęp do obiektów przez wartość, czyli przez kopię (albo przez sporządzenie referencji do danego obiektu). A co będzie, jeśli interesującego nas obiektu nie da się kopiować, wolno go tylko przenosić?

> *To znaczy, co bêdzie, gdy informacjê zawart¹ w tym obiekcie mo¿na jedynie wyj¹ æz jednego obiektu i w³o¿yæ do drugiego? Nie mo¿e ona byæ obecna w obu obiektach równocze nie.*

Wyrażenie lambda nie może takiego obiektu wychwycić przez wartość (kopię).

Przykładem takich niekopiowalnych obiektów są „sprytne wskaźniki" realizowane przez biblioteczną klasę std::unique_ptr. (*Opus* , §27.7.1). Jeśli w programie posługujemy się nimi, to jak sprawić, żeby nasze wyrażenie lambda było zdolne wychwycić taki wskaźnik? W C++11 takiego obiektu wychwycić się nie dało. C++14 już nam to umożliwia. O tym teraz porozmawiamy.

Sprawę rozwiązuje bardzo prosto poznana w poprzednim paragrafie *inicjalizacja na liście wychwytywania*. Zobaczmy to na przykładzie. Będą w nim dwa wyrażenia

lambda. Jedno wychwyci sprytny wskaźnik do pojedynczego obiektu, a drugie – do tablicy obiektów.

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
struct Tklasa                                                                                                              ❶
{
   int skladnik = 0;
   ~Tklasa() {
      cout << "Destruktor ~Tklasa" << endl;                                                                                 ❷
   }
};
//**********************************************************************************************************************************
int main()
{
    cout << "Definicja sprytnego wskaznika do pojedynczego obiektu\n";
    unique_ptr<Tklasa>    spryt { new Tklasa };                                                                            ❸

    {  // lokalny zakres w celach szkoleniowych ----------                                                                 ❹

        auto lambda1 = [sw = std::move(spryt) ] ()                                                                         ❺
        {
            sw->skladnik = 4;
            cout << "Wykonuje sie lambda1" << endl;
        };                                                                                                                 ❻

        if(!spryt)                                                                                                         ❼
            cout << "A teraz obiekt spryt  NIE ma juz prawa wlasnosci " << endl;

        cout << "Przed wykonaniem lambdy" << endl;
        lambda1();                      // 1. wykonanie lambdy                                                             ❽
        lambda1();                      // 2. wykonanie lambdy

        cout << "--- Teraz nastapi koniec zakresu istnienia lambdy1\n";
    }  // koniec lokalnego zakresu ------------------------                                                              ❾
    cout << "--- Skonczyl sie zakres istnienia lambdy1\n";

    cout << "PROBY Z TABLICA" << endl;

    // sprytny wskaźnik do tablicy 5-elementowej (z rezerwacją tej tablicy)
    constexpr int rozmiar = 5;
    unique_ptr<Tklasa[]>    wsktab { new Tklasa[rozmiar] };                                                                ❿

    {  // drugi lokalny  zakres (w celach szkoleniowych) ==============                                                  ⓫

        auto lamTab = [stab = std::move(wsktab),   rozmiar] ()                                                             ⓬
        {
            for(int i = 0 ; i < rozmiar ; ++i){
                    stab[i].skladnik = i;
            }
            cout << "Pracuje lamTab\n";
```

```
        };                                                              ⓭

        cout << "Przed wywolaniem lamTab\n";
        lamTab();                                                       ⓮
        lamTab();
        cout << "=== Zakonczyl sie obszar istnienia lamTab" << endl;
    } // koniec lokalnego zakresu ============================          ⓯
    cout << "=== Koniec funkcji main" << endl;
}
```

Na ekranie pojawi się tekst:

```
Definicja sprytnego wskaznika do pojedynczego obiektu
A teraz obiekt spryt  NIE ma juz prawa wlasnosci                        7
Przed wykonaniem lambdy
Wykonuje sie lambda1
Wykonuje sie lambda1
--- Teraz nastapi koniec zakresu istnienia lambdy1
Destruktor ~Tklasa                                                      9
--- Skonczyl sie zakres istnienia lambdy1
PROBY Z TABLICA
Przed wywolaniem lamTab
Pracuje lamTab
Pracuje lamTab
=== Zakonczyl sie obszar istnienia lamTab
Destruktor ~Tklasa                                                      15
Destruktor ~Tklasa
Destruktor ~Tklasa
Destruktor ~Tklasa
Destruktor ~Tklasa
=== Koniec funkcji main
```

Omówienie sposobów wychwytywania na zasadzie przenoszenia

O bibliotecznej klasie „sprytnych wskaźników” unique_ptr rozmawialiśmy w *Opusie* (§27.7.1). Służy ona do tworzenia obiektów zachowujących się podobnie jak wskaźniki. W sprytnym wskaźniku możesz przechować adres jakiegoś obiektu, który wytworzyłeś w zapasie pamięci operatorem new. Sprytny wskaźnik ma tę dodatkową zdolność, że gdy kończy się czas jego życia, to – że tak powiem – „pociąga on za sobą do grobu” obiekt, którego adres przechowywał. Jak sprytny wskaźnik to robi? Po prostu w jego destruktorze użyta jest instrukcja delete kasująca obiekt, którym się do tej pory opiekował.

Jak wiemy, może istnieć wiele wskaźników wskazujących na ten sam obiekt. W przypadku sprytnych wskaźników mogłoby to być groźne. Wyobraź sobie, że na jeden obiekt stworzony w zapasie pamięci operatorem new wskazuje kilka sprytnych wskaźników. Gdy jednemu z tych sprytnych wskaźników skończy się czas życia, jego destruktor zlikwiduje cenny obiekt w zapasie pamięci. Jeśli pozostałe wskaźniki nadal będą chciały z tym „cennym” obiektem pracować – wywoła to katastrofę.

Aby tej katastrofy uniknąć, sprytne wskaźniki unique_ptr stosują zasadę, że tylko jeden z nich może w danej chwili znać adres naszego obiektu z zapasu pamięci. Jeśli zrobimy przypisanie takiego wskaźnika do jakiegoś innego:

```
spryciarz_nowy = spryciarz_stary;
```

odbędzie się to nie na zasadzie *skopiowania* cennego adresu, ale na zasadzie *przeniesienia* go. Innymi słowy, spryciarz_stary przekaże cenny adres spryciarzowi_nowemu, a sam o tym adresie zapomni.

Niby to genialne, ale w przypadku, gdybyśmy chcieli pracować z takim obiektem w ramach wyrażenia lambda, to jak zorganizować jego wychwycenie? Przecież nie można tego zrobić na zasadzie wychwycenia przez wartość (czyli przez kopię). Zatem jak taki sprytny wskaźnik może zostać wychwycony przez wyrażenie lambda?

Jak wychwycić: *„sprytny wskaźnik opiekujący się **pojedynczym obiektem**”*

❸ `unique_ptr<Tklasa> spryt { new Tklasa };`

To jest definicja sprytnego wskaźnika o nazwie spryt. Jest on typu unique_ptr<Tklasa>, czyli może się on opiekować adresem obiektu typu Tklasa. (To taka pomocnicza klasa zdefiniowana na górze programu ❶). W nawiasie klamrowym widzimy, że nasz sprytny wskaźnik jest od razu inicjalizowany. Czym? Adresem obiektu typu Tklasa, który wytwarzamy operatorem new w zapasie pamięci.

❹ i ❾ W celach szkoleniowych definiujemy sobie w programie pewien lokalny zakres. Oczywiście w Twoim programie nie musisz tego robić. Mnie jest on potrzebny, by pokazać Ci, kiedy dokładnie nastąpi „pociągnięcie do grobu”.

❺ Oto definicja prostego wyrażenia lambda. Jego ciało jest rozpisane na kilka linijek.

Dla uproszczenia naszej rozmowy ta definicja nie jest zapakowana do wywo³ania jakiejœfunkcji-algorytmu, ale jest umieszczona w obiekcie lambda o nazwie lambda1. (Podobnie robiliœmy w poprzednich przyk³adach, aby sobie dodatkowo nie zaprz¹taæg³owy algorytmami).

Zwróć uwagę na listę wychwytywania. Tu jest kwintesencja tego programu.

```
auto lambda1 = [sw = std::move(spryt) ] ()      // itd.
```

Definiujemy tutaj jakiś obiekt o nazwie sw i inicjalizujemy go wartością wyrażenia move(spryt). Innymi słowy, sprawiamy tutaj, że adres przechowywany w obiekcie spryt zostaje przeniesiony do obiektu sw.

O funkcji move rozmawialiœmy w Opusie *w §22.10.*

Pytanko: jakiego typu jest obiekt sw? Odpowiedź: takiego, jakby przed nim stało słowo zastępcze auto.

```
auto sw = std::move(spryt);                    // czyli typu: unique_ptr<Tklasa>
```

> W ten sposób sprawiliśmy, że od tej pory obiektem wytworzonym operatorem new (w instrukcji ❸) opiekuje się wyłącznie sprytny wskaźnik sw.

W ciele wyrażenia lambda1 stawiamy jakieś przykładowe instrukcje korzystające z obiektu wskazywanego przez sw, następnie stawiamy klamrę } kończącą definicję tego ciała. Potem ❻ następuje średnik, bo to przecież koniec długiej instrukcji, która rozpoczęła się w ❺.

Ta d³uga instrukcja:

1) zdefiniowa³a wyra¿enie lambda i...

2) zapamiêta³a je w obiekcie lambda o nazwie lambda1.

❼ Jesteśmy znowu w zakresie funkcji main. Dla ciekawości sprawdzamy teraz sprytny wskaźnik o nazwie spryt. Jeśli teraz znajduje się w nim już nullptr, to znaczy, że naprawdę oddał on swój cenny skarb sprytnemu wskaźnikowi sw. Na ekranie widzimy ❼, że tak rzeczywiście się stało.

❽ Oto uruchomienie naszego wyrażenia lambda. Robię to dwukrotnie, abyś zobaczył, że sprytny wskaźnik sw istnieje cały czas, dopóki istnieje obiekt lambda1. Nie znika więc po wykonaniu funkcji lambda. Przecież ktoś mógłby wywołać lambda1 po raz kolejny.

❾ Nadchodzi koniec naszego „szkoleniowego" lokalnego zakresu, w którym zdefiniowaliśmy nasz obiekt lambda1. Tutaj więc obiekt lambda1 przestaje istnieć. Skoro tak, to przestanie również istnieć jego (lokalny) sprytny wskaźnik sw. W chwili swojej „śmierci" tenże biblioteczny sprytny wskaźnik sw wywołuje swój destruktor, w którym (uwierz mi na słowo) wykonywana jest instrukcja delete kasująca nasz obiekt Tklasa z zapasu pamięci. To właśnie moment „pociągnięcia do grobu". Czy to działa? Działa, potwierdza to gadający destruktor ❷, którego wypis pojawia się na ekranie 9.

Jak wychwycić: „*sprytny wskaźnik opiekujący się **tablicą obiektów***"?

Ponieważ w zapasie pamięci najczęściej rezerwuje się nie tyle pojedyncze obiekty, co tablice takich obiektów, zobaczmy i taką sytuację.

❿ Oto definicja sprytnego wskaźnika mogącego wskazywać na tablicę obiektów typu Tklasa.

```
unique_ptr<Tklasa[]>    wsktab { new Tklasa[rozmiar] };
```

Jest on typu unique_ptr<Tklasa[ ]>. Ten nawias kwadratowy sprawia, że sprytny wskaźnik dowiaduje się, że to, czym będzie się opiekować, jest tablicą, zatem w razie likwidacji ma posłużyć się operatorem delete [ ] (a nie prostym delete).

Definiowany tutaj sprytny wskaźnik (o nazwie wsktab) jest od razu inicjalizowany. Co robi ta inicjalizacja? Wytwarza w zapasie pamięci (operatorem new[ ]) pięcioelementową tablicę obiektów typu Tklasa i jej adres przekazuje sprytnemu wskaźnikowi. Od tej pory wsktab wie, którą tablicą ma się opiekować.

⓫ Znowu w celach wyłącznie ilustracyjnych definiujemy lokalny zakres. Oczywiście w swoim programie nie musisz tego robić.

⓬ To jest definicja drugiego wyrażenia lambda w naszym przykładzie. Jej ciało jest rozpisane na kilka linijek. Po nim następuje średnik ⓭ kończący tę długą instrukcję definicji ⓬. Jak widzisz, to wyrażenie lambda inicjalizuje obiekt lambda o nazwie lamTab.

Dla nas najważniejsza jest tutaj lista wychwytywania. Oto jej pierwszy człon:

```
stab = std::move(wsktab)          // czyli jakby:  auto stab = std::move(wsktab)
```

Jest to definicja lokalnego (dla lambdy) obiektu o nazwie stab. Jakiego jest on typu? Takiego jak inicjalizujące go wyrażenie. Wyrażeniem inicjalizującym jest wywołanie bibliotecznej funkcji move. Sprawia ona, że cenny adres, przechowywany w sprytnym wskaźniku wsktab, zostanie stamtąd wyjęty i włożony do sprytnego wskaźnika stab. (Od tej pory to wskaźnik stab odpowiada za ewentualne „pociągnięcie do grobu" tablicy, natomiast wsktab zostaje z tego obowiązku zwolniony).

Aby móc w wyrażeniu lambda pracować z tą tablicą, powinniśmy znać jej rozmiar. Załatwia to drugi człon listy wychwytywania (⓬). Jak widać, ten rozmiar wychwytujemy po prostu przez wartość.

⓮ Oto dwukrotne wywołanie funkcji lambda lamTab. Robię to dwukrotnie, abyś nie pomyślał, że to zakończenie wykonywania lamTab spowoduje likwidację tablicy. Nie! Przecież tablica może być potrzebna w sytuacji, gdybyśmy nasze wyrażenie lambda chcieli wywołać po raz trzeci.

Likwidacja tablicy nastąpi dopiero wtedy, gdy będzie „ginął" sam obiekt lambda lamTab. A kiedy się to stanie? Już za chwilę. To właśnie w tym celu w programie utworzyłem lokalny zakres ⓫↔⓯.

⓯ Ponieważ obiekt lambda lamTab jest zdefiniowany w lokalnym zakresie, więc teraz, gdy ten zakres się kończy, obiekt lambda zostaje zlikwidowany. Na ekranie możemy zobaczyć teksty potwierdzające, że sprytny wskaźnik (będący częścią wyrażenia lambda) na chwilę przed swą „śmiercią" wywołał operator delete[] likwidujący tablicę. Dowiadujemy się o tym znowu dzięki gadającemu destruktorowi elementów tablicy. To on wypisał na ekranie stosowne informacje 15.

Podsumujmy

W tym paragrafie dowiedzieliśmy się, że wprowadzenie w C++14 nowości, jaką jest możliwość definiowania na liście wychwytywania nowych lokalnych obiektów (wraz z ich inicjalizacją), otworzyło dodatkowe drzwi. Można teraz wychwytywać obiekty na zasadzie ich przenoszenia (a nie tylko na zasadzie kopiowania).

Zwykle wystarcza nam kopiowanie. Bywają jednak obiekty, których informacji nie można kopiować; można ją tylko przenosić. Takie są na przykład sprytne wskaźniki unique_ptr. Tutaj zobaczyliśmy, jak praktycznie zrealizować takie wychwytywanie metodą przenoszenia.

Skorowidz

!

__PRETTY_FUNCTION__ 8
__has_include 201-202

A

agregat
› może być klasą pochodną (C++17) 247-249
align_val_t 136
alignas
› a operatory new i delete 134-143
› w przeładowanych new i delete dla klasy 141
aligned_alloc (std::) - funkcja bibliot. 140, 144
apostrof
› jako separator cyfr 44
argument
› funkcji
• deprecated 114
array - klasa (std::) 184
atrybut 111-118
› carries_dependency 111
› deprecated 112
› fallthrough 203-212
› maybe_unused 203-212
› nodiscard 203-212
› noreturn 111
auto
› rozpoznaje typ rezultatu funkcji 50-51
› rozpoznawanie w inicjalizacji klamrowej 245-246
› w argumencie wyrażenia lambda 96
› w deklaracji template auto 161-165

B

biblioteka
› szablonów 4
binarny zapis stałych dosłownych 43
bitset (std::) - klasa biblioteczna 46, 217
byte (std::) - klasa biblioteczna 223
byte (std::) - klasa biblioteczna 213-221

C

C++14 - nowe cechy języka 43-122
C++17 - nowe cechy języka 123-263
carries_dependency - atrybut 111
class
› deprecated 116
constexpr
› a szablon zmiennej 61
› funkcja składowa w C++14 110
› funkcja w C++11 104
› funkcja w C++14 104-110

D

dana składowa
› deprecated 114
decltype
› użyte w parametrze szablonu 161
decltype(auto)
› deklaracja typu rezultatu 52-58
› nie używać w alternatywnej deklaracji funkcji 55
› w szablonie funkcji 55
declval (std::) 197
defaultfloat manipulator 150
deklaracja
› dostępu 28
› dowiązań
• funkcja get 193, 195
• klasa std::tuple_element 193, 196
• przystosowanie klasy cudzej 198
• przystosowanie klasy swojej 192
• std::tuple_size 193, 196
delete
› a alignas 134-143
› globalny, przeładowanie 86-93
• a alignas 135
› z alignas
• przeładowanie w klasie 141
deprecated
› argument funkcji 114
› atrybut 112
› class, enum 116

› funkcja 113
› funkcja składowa i dana składowa 114
› obiekt 115
› specjalizacji szablonu 118
› typedef, using 118
› z zbiorcza definicja zmiennych 116
dostęp
› wybiórczo 28
dostępu
› deklaracja 28
dowiązanie strukturalne 182-200
› a const i volatile 183
› do elementów klasy std::array 184
› do obiektów klas i struktur 185
› gdzie stosować 191
› jako referencja l-wartości lub r-wartości 190
› jako referencji do l-wartości 183
› jako referencji do r-wartości 183
dwójkowe liczby wczytane strumieniem 48
dwójkowy zapis
› a klasa bitset 46
› stałych dosłownych 43

E

enum
› deprecated 116

F

fallthrough - atrybut 208
false_type (std::)
› pomocniczy typ biblioteczny 80
free()
› fun. bibl. do zwalniania pamięci 87
funkcja
› a noexcept 123-127
› auto rozpoznanie typu rezultatu 50-51
› constexpr
• w C++11 104
• w C++14 104-110
› constexpr w C++14 104
› decltype(auto) jako typ rezultatu 52-58
› deprecated 113
› składowa
• constexpr w C++14 110
• derpecated 114
› specyfikacja wyjątków 123-127

G

gl-wartość 134

H

harmonijka 152-160
› składana w lewo 154
› składana w prawo 154
› z wyrażeniem początkowym 155
has_include (__has_include) 201-202
hexfloat, manipulator 149

I

if - instrukcja sterująca
› z wyrażeniem inicjalizującym 179-181
if constexpr 16, 173-178
› w szablonie 16
inicjalizacja
› agregatowa 247
› bezpośrednia 245
• zmiana w standardzie C++17 246
› kopiująca 245
› w instrukcjach if oraz switch 179-181
› zbiorcza 247
inicjalizator
› klamrowy
• auto rozpoznawanie jego typu 245-246
is_const 174
is_integral 174
is_pointer 174
is_unsigned 174

K

kompilacja warunkowa
› a instrukcja if constexpr 173-178
kontekst
› rozwnięcia pakietu 31-33
› wyrażenia harmonijkowego 157, 159
konwersja
› chwilowo materializująca 134

L

lambda (wyrażenie)
› uogólnione 94
› wychwycenie obiektu na zasadzie przeniesienia (move) 99
lista wychwytywania
› na niej definicje obiektów lokalnych 96

M

makrodefinicja
› __PRETTY_FUNCTION__ 8
malloc (std::) 87

manipulator
› hexfloat 149
maybe_unused - atrybut 205
move 102

N

new
› a alignas 134-143
› globalny, przeładowanie 86-93
• a alignas 135
› z alignas
• przeładowanie w klasie 141
niby-rekurencja 14
nodiscard - atrybut 210
noexcept
› w typie funkcji 123-127
noreturn - atrybut 111
nothrow_t 136

O

obiekt
› deprecated 115
operator
› decltype
• użyty w parametrze szablonu 161
› delete
• globalny, przeładowanie w C++14 86-93
› sizeof... 8

P

pakiet argumentów sz. funkcji 6
› a wskaźniki z przydomkami const 31
› a wyrażenia harmonijkowe 152-160
› jak dobrać się do argumentów 11-17
› odbierane arg. przez wart., ref., adres 30
› rozwnięta postać 7, 152
› z referencjami l-wartości 30
› z referencjami obiektów stałych 31
› z referencjami r-wartości 30
› ze wskaznikami 31
pakiet argumentów szablonu
› rozwinięcie z kontekstem 31-33
pakiet parametrów szablonu 6
› będących nazwami innych szablonów 24
› będących typami 24
› będących wartościami 24-25
› trzy rodzaje 24-29
pakietu rozwinięcie
› gdzie może wystąpić 39
› w nazwie innego szablonu 36-38
› z operatorem przecinek 36
parametr
› szablonu określający inny szablon 229-232
podwalina typu wyliczeniowego 214
pomijanie kopiowania 128-133
porządek obliczania składników wyrażeń 144-145
postfix wyrażenia 145
pr-wartość 134
PRETTY_FUNCTION 8
printf 87
przecinek (operator)
› a rozwinięcie pakietu 35
przestrzeń nazw
› a zagnieżdżenie
• nowy zapis w C++17 225-228
przeładowanie
› globalnych new, delete 86-93
› operatora
• delete globalnego w C++14 86-93
puts 87

R

rekurencja 11, 14, 52
› niby-rekurencja 14
rozwinięcie pakietu
› argumentów 7
› dwukrotne 33
› gdzie może wystąpić? 39
› na liście inicjalizacyjnej konstruktora 23
› na liście parametrów aktualnych innego szablonu 36-38
› na liście pochodzenia klasy 22
› równoważne 33
› typów w { } 34-35
› w deklaracji using 239-244
› z kontekstem 31-33
› zapętlone 33
rozwinięta postać
› argumentów szablonu 10
› pakietu 13, 152

S

separatory cyfr w stałych dosłownych 44-49, 148
silnia 107
sizeof... 8
specjalizacja
› deprecated 118
› szablonu o zmiennej liczbie parmetrów 23
› szablonu zmiennej 63
specyfikacja wyjątków
› w C++17 123-127
sprytny wskaźnik
› unique_ptr 99

static_assert
› modyfikacja w C++17 224
stała
› dosłowna
• z separatorami cyfr 44-49
• zapisana dwójkowo 43
› znakowa typu u8 146
std::array 184
std::false_type - pomocniczy typ 80
std::strtod 151
std::true_type - pomocniczy typ 80
std::unique_ptr 99
stdio 87
strtod - funkcja biblioteczna 151
strumienie a separatory cyfr 45
switch
› z wyrażeniem inicjalizującym 179-181
szablon definicji zmiennej 59-85
szablon funkcji
› deprecated 119
› zmienna liczba parametrów 4-10
szablon klas
› deprecated 118
› o zmiennej liczbie parametrów 18-23
szablon zmiennej 59-85
› a constexpr i const 61
› przykład zastosowania 72
› specjalizacja 63
szablony
› o zmiennej liczbie parametrów 3-42
szesnastkowy
› zapis liczb zmiennoprzecinkowych 147-151
• wypisyw. i wczyt. ich strumieniami 149

T

Taylora wzór 108
template auto 161-165
to_integer (std::) - funkcja biblioteczna 214, 217
to_ulong (std::) - funkcja biblioteczna 50
true_type (std::)
› pomocniczy typ biblioteczny 80
trygonometryczne tablice 109
tuple_element (std::) 193, 196
tuple_size (std::) 193, 196
typ
› deprecated 116
› wyliczeniowy enum
• jego inicjalizacja liczbą 223
typedef
› deprecated 118
typename 229-232

U

uncaught_exception (std::) zmiana typu rezultatu (C++17) 250-253
uogólnione
› wyrażenie lambda 94
using
› deklaracja
• z rozwinięciem pakietu klas podst. 239-244
› deprecated 118

V

valgrind - program diagnostyczny 86

W

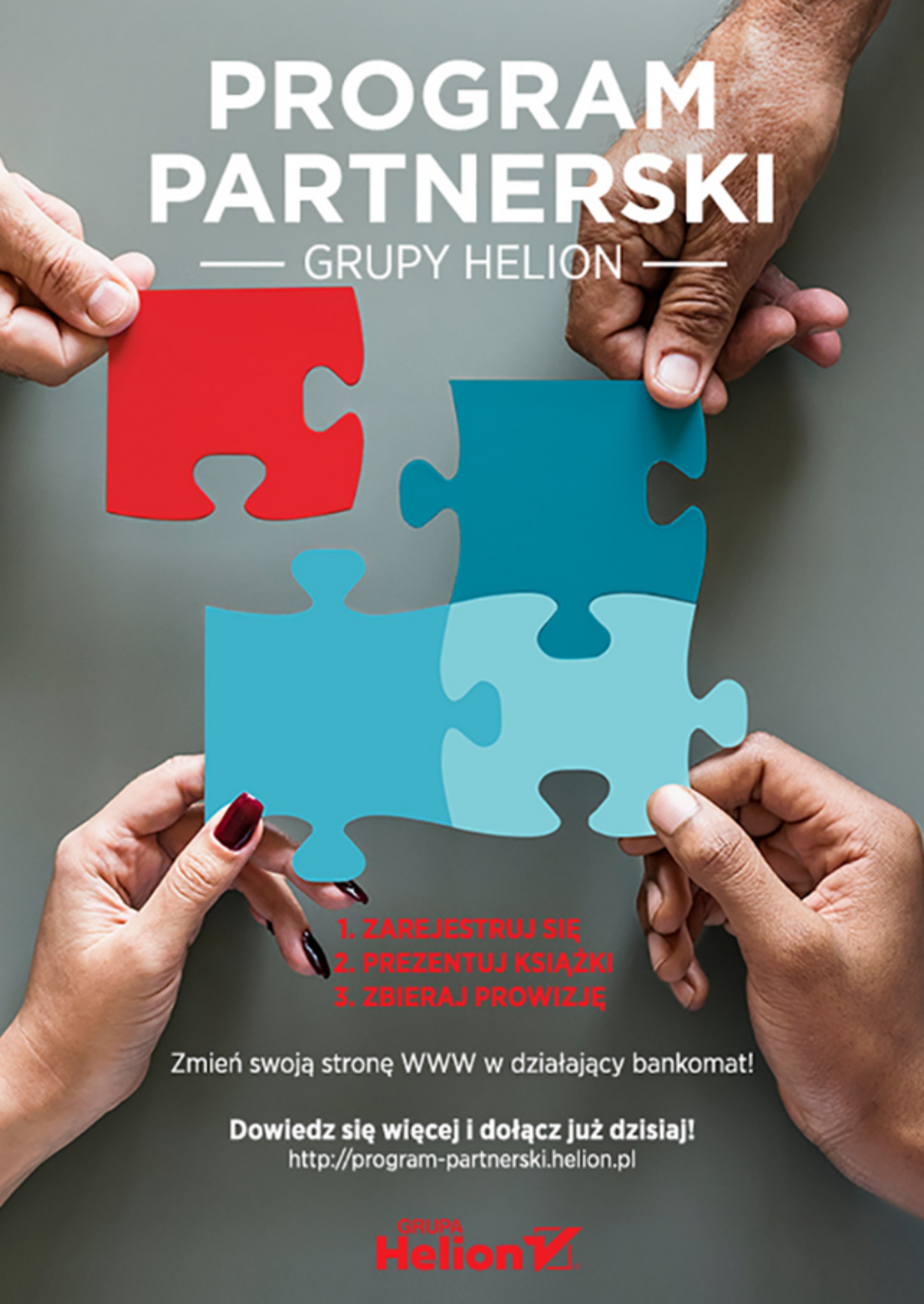
wielodziedziczenie 239
wielokropek
› w deklaracji argumentów fun. 6
› w ostrym nawiasie 6
› w wyrażeniu rozwijającym 32
wybiórcze udostępnianie 28
wychwycenie obiektu na zasadzie przeniesienia (move) 99
wyrażenia
› końcówkowe 145
› postfix 145
› złożone
• porządek ich obliczania 144-145
wyrażenia harmonijkowe 152-160
› cztery formy 157
› tzw. kontekst 159
wyrażenie
› incjalizujące
• w instrukcjach if oraz switch 179-181
› lambda
• uogólnione 94

X

x-wartość 134

Z

zagnieżdżona
› przestrzeń nazw - nowy zapis C++17 225-228
zakresowe for
› a funkcje begin, end - wg zasad C++17 233-238
› jak w C++11, adaptować klasę 233
› jak w C++17, adaptować klasę 234
zapis dwójkowy
› stałych dosłownych 43
znakowa stała u8 146


PROGRAM
PARTNERSKI
GRUPY HELION
1. ZAREJESTRUJ SIĘ
2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
3. ZBIERAJ PROWIZJĘ
Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!
Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!
http://program-partnerski.helion.pl
GRUPA
Helion

Opus magnum C++

TOM 4

Misja w nadprzestrzeń C++14/17

W tej książce:

- Najważniejsze informacje o nowych możliwościach języka C++
- Praktyczne przykłady zastosowania konstrukcji
- Ćwiczenia utrwalające zdobytą wiedzę

C++ — mierz wysoko!

C++ to jeden z najpopularniejszych i najpotężniejszych języków programowania. Stanowi punkt wyjścia dla wielu innych języków, które odziedziczyły po nim składnię i liczne możliwości, dzięki czemu można śmiało stwierdzić, że znajomość C++ otwiera drzwi do świata nowoczesnego programowania i jest podstawą na wymagającym rynku pracy w branży informatycznej. Czasy się zmieniają, lecz to C++ jest wciąż wybierany wszędzie tam, gdzie liczą się możliwości, elastyczność, wydajność i stabilność.

Książka, którą trzymasz w rękach, to kontynuacja genialnego kompendium *Opus magnum C++11. Programowanie w języku C++*. Autor, wybitny specjalista z ogromnym doświadczeniem w międzynarodowych projektach i twórca niezwykle popularnego podręcznika *Symfonia C++*, postanowił uzupełnić swoje dzieło o zagadnienia, dla których zabrakło miejsca w poprzednich tomach. Jeśli chcesz poszerzyć wiedzę na temat szablonów oraz poznać możliwości najnowszych standardów języka C++, nie mogłeś lepiej trafić!

Rusz w kolejną misję z C++ na pokładzie!

Helion

helion.pl

HELION SA
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel.: 32 230 98 63
helion@helion.pl

KOD KORZYŚCI
Sięgnij po więcej! ▶

ISBN 978-83-8322-582-1

9 788383 225821

Cena: 69,00 zł