

Helion 

# Piękny kod

Tajemnice mistrzów programowania

O'REILLY®

Pod redakcją Andy'ego Orama i Grega Wilsona

Tytuł oryginału: Beautiful Code: Leading Programmers Explain How They Think

Tłumaczenie: Łukasz Piwko (wstęp, rozdz. 1 – 16),  
Marcin Rogóż (rozdz. 17 – 33),  
Projekt okładki: Radosław Pazdrijowski i Mateusz Obarek

ISBN: 978-83-283-3477-9

© Helion SA 2008, 2017

Authorized translation of the English edition of Beautiful Code © 2007 O'Reilly Media, Inc.  
This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Fotografia na okładce została wykorzystana za zgodą iStockPhoto Inc.

Wydawnictwo HELION  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE  
tel. 032 231 22 19, 032 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

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

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:  
<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/szpppv.zip>

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Słowo wstępne</b>                                           | <b>13</b> |
| <b>Wstęp</b>                                                   | <b>15</b> |
| <b>1. Wyrażenia regularne</b>                                  | <b>19</b> |
| Programowanie w praktyce                                       | 20        |
| Implementacja                                                  | 21        |
| Omówienie                                                      | 22        |
| Alternatywy                                                    | 24        |
| Rozszerzanie                                                   | 25        |
| Podsumowanie                                                   | 27        |
| <b>2. Edytor delty w Subversion — interfejs jako ontologia</b> | <b>29</b> |
| Kontrola wersji i transformacja drzewa                         | 30        |
| Prezentacja różnic pomiędzy drzewami                           | 34        |
| Interfejs edytora delty                                        | 35        |
| Ale czy to jest sztuka?                                        | 40        |
| Abstrakcja jako sport widowiskowy                              | 43        |
| Wnioski                                                        | 45        |
| <b>3. Najpiękniejszy kod, którego nigdy nie napisałem</b>      | <b>47</b> |
| Najpiękniejszy kod, jaki kiedykolwiek napisałem                | 47        |
| Coraz więcej za pomocą coraz mniejszych środków                | 49        |
| Perspektywa                                                    | 54        |
| Co to jest pisanie                                             | 57        |
| Zakończenie                                                    | 57        |
| Podziękowania                                                  | 59        |
| <b>4. Wyszukiwanie</b>                                         | <b>61</b> |
| Na czas                                                        | 61        |
| Problem — dane z pamiętnika sieciowego                         | 62        |
| Problem — kto zażądał, czego i kiedy                           | 70        |
| Wyszukiwanie na dużą skalę                                     | 75        |
| Podsumowanie                                                   | 77        |

|                                                                          |            |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. Poprawny, piękny, szybki (w takiej kolejności)</b>                 | <b>79</b>  |
| <b>— lekcje z projektowania weryfikatorów XML</b>                        |            |
| Znaczenie walidacji XML                                                  | 79         |
| Problem                                                                  | 80         |
| Wersja 1. Naiwna implementacja                                           | 82         |
| Wersja 2. Imitacja gramatyki BNF $O(N)$                                  | 83         |
| Wersja 3. Pierwsza optymalizacja $O(\log N)$                             | 84         |
| Wersja 4. Druga optymalizacja — nie sprawdzaj dwa razy                   | 85         |
| Wersja 5. Trzecia optymalizacja $O(1)$                                   | 87         |
| Wersja 6. Czwarta optymalizacja — buforowanie                            | 91         |
| Morał                                                                    | 93         |
| <b>6. Framework for Integrated Test — piękno poprzez delikatność</b>     | <b>95</b>  |
| Acceptance Testing Framework w trzech klasach                            | 96         |
| Wyzwanie zaprojektowania środowiska                                      | 98         |
| Otwarte środowisko                                                       | 99         |
| Jak prosty może być parser HTML                                          | 100        |
| Podsumowanie                                                             | 103        |
| <b>7. Piękne testy</b>                                                   | <b>105</b> |
| To niesforne wyszukiwanie binarne                                        | 106        |
| Wstęp do JUnit                                                           | 109        |
| Rozprawić się z wyszukiwaniem binarnym                                   | 111        |
| Podsumowanie                                                             | 122        |
| <b>8. Generowanie w locie kodu do przetwarzania obrazów</b>              | <b>125</b> |
| <b>9. Kolejność wykonywania operatorów</b>                               | <b>147</b> |
| JavaScript                                                               | 148        |
| Tablica symboli                                                          | 149        |
| Tokeny                                                                   | 150        |
| Kolejność                                                                | 151        |
| Wyrażenia                                                                | 152        |
| Operatory wzrostkowe                                                     | 152        |
| Operatory przedrostkowe                                                  | 154        |
| Operatory przypisania                                                    | 155        |
| Stałe                                                                    | 155        |
| Zakres                                                                   | 156        |
| Instrukcje                                                               | 157        |
| Funkcje                                                                  | 160        |
| Literały tablicowe i obiektowe                                           | 161        |
| Rzeczy do zrobienia i przemyślenia                                       | 162        |
| <b>10. Poszukiwanie szybszych metod zliczania bitów w stanie wysokim</b> | <b>163</b> |
| Podstawowe metody                                                        | 164        |
| Dziel i zwyciężaj                                                        | 165        |
| Inne metody                                                              | 167        |

|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Suma i różnica liczb ustawionych bitów w dwóch słowach                               | 169        |
| Porównywanie liczby ustawionych bitów w dwóch słowach                                | 169        |
| Zliczanie jedynek w tablicy                                                          | 170        |
| Zastosowania                                                                         | 175        |
| <b>11. Bezpieczna komunikacja — technologia wolności</b>                             | <b>177</b> |
| Początki                                                                             | 178        |
| Rozwikłać tajemnicę bezpiecznego przesyłania wiadomości                              | 180        |
| Klucz to użyteczność                                                                 | 181        |
| Podstawa                                                                             | 184        |
| Zestaw testów                                                                        | 188        |
| Działający prototyp                                                                  | 189        |
| Oczyść, podłącz i używaj                                                             | 190        |
| Hakowanie w Himalajach                                                               | 194        |
| Niewidoczne ruchy ręką                                                               | 199        |
| Prędkość ma znaczenie                                                                | 201        |
| Prywatność komunikacji dla praw jednostki                                            | 202        |
| Hakowanie cywilizacji                                                                | 203        |
| <b>12. Hodowanie pięknego kodu w języku BioPerl</b>                                  | <b>205</b> |
| BioPerl i moduł Bio::Graphics                                                        | 206        |
| Proces projektowania modułu Bio::Design                                              | 210        |
| Rozszerzanie modułu Bio::Graphics                                                    | 228        |
| Wnioski i lekcje                                                                     | 232        |
| <b>13. Projekt programu Gene Sorter</b>                                              | <b>235</b> |
| Interfejs użytkownika programu Gene Sorter                                           | 236        |
| Podtrzymywanie dialogu z użytkownikiem przez internet                                | 237        |
| Nieco polimorfizmu                                                                   | 239        |
| Filtrowanie w celu znalezienia odpowiedniego genu                                    | 242        |
| Ogólna teoria pięknego kodu                                                          | 243        |
| Podsumowanie                                                                         | 246        |
| <b>14. Jak elegancki kod ewoluuje wraz ze sprzętem — przypadek eliminacji Gaussa</b> | <b>247</b> |
| Wpływ architektury komputerów na algorytmy macierzowe                                | 248        |
| Metoda dekompozycyjna                                                                | 250        |
| Prosta wersja                                                                        | 251        |
| Podprocedura DGEFA biblioteki LINPACK                                                | 252        |
| Procedura LAPACK DGETRF                                                              | 255        |
| Rekursywna dekompozycja LU                                                           | 257        |
| Procedura ScaLAPACK PDGETRF                                                          | 260        |
| Wielowątkowość w systemach wielordzeniowych                                          | 265        |
| Słowo na temat analizy błędów i liczby operacji                                      | 267        |
| Przyszłe kierunki badań                                                              | 268        |
| Literatura zalecana                                                                  | 269        |

|                                                                                          |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>15. Długoterminowe korzyści z pięknego projektu</b>                                   | <b>271</b> |
| Moje wyobrażenie o pięknym kodzie                                                        | 271        |
| Wprowadzenie do biblioteki CERN                                                          | 272        |
| Zewnętrzne piękno                                                                        | 273        |
| Piękno wewnętrzne                                                                        | 278        |
| Podsumowanie                                                                             | 284        |
| <b>16. Model sterowników jądra systemu Linux — korzyści płynące ze współpracy</b>        | <b>285</b> |
| Skromne początki                                                                         | 286        |
| Redukcja do jeszcze mniejszych rozmiarów                                                 | 290        |
| Skalowanie do tysięcy urządzeń                                                           | 293        |
| Małe, luźno połączone obiekty                                                            | 294        |
| <b>17. Inny poziom pośredniości</b>                                                      | <b>297</b> |
| Od kodu do wskaźników                                                                    | 297        |
| Od argumentów funkcji do wskaźników argumentów                                           | 300        |
| Od systemów plików do warstw systemów plików                                             | 303        |
| Od kodu do języka konkretnej domeny                                                      | 305        |
| Multipleksacja i demultipleksacja                                                        | 307        |
| Na zawsze warstwy?                                                                       | 308        |
| <b>18. Implementacja słownika w Pythonie — być wszystkim dla wszystkich</b>              | <b>311</b> |
| Wewnątrz słownika                                                                        | 313        |
| Warunki specjalne                                                                        | 314        |
| Kolizje                                                                                  | 316        |
| Zmiana rozmiaru                                                                          | 317        |
| Iteracje i zmiany dynamiczne                                                             | 318        |
| Podsumowanie                                                                             | 319        |
| Podziękowania                                                                            | 319        |
| <b>19. Wielowymiarowe iteratory w NumPy</b>                                              | <b>321</b> |
| Kluczowe wyzwania w operacjach na N-wymiarowych tablicach                                | 322        |
| Modele pamięci dla tablicy N-wymiarowej                                                  | 323        |
| Początki iteratora NumPy                                                                 | 324        |
| Interfejs iteratora                                                                      | 331        |
| Wykorzystanie iteratora                                                                  | 332        |
| Podsumowanie                                                                             | 336        |
| <b>20. System korporacyjny o wysokim stopniu niezawodności dla misji Mars Rover NASA</b> | <b>337</b> |
| Misja i Collaborative Information Portal                                                 | 338        |
| Wymagania misji                                                                          | 339        |
| Architektura systemu                                                                     | 340        |
| Studium przypadku — usługa strumieniowa                                                  | 343        |
| Niezawodność                                                                             | 346        |
| Solidność                                                                                | 353        |
| Podsumowanie                                                                             | 355        |

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>21. ERP5 — projektowanie maksymalnej giętkości</b>                          | <b>357</b> |
| Ogólne cele ERP                                                                | 358        |
| ERP5                                                                           | 358        |
| Podstawowa platforma Zope                                                      | 360        |
| Założenia ERP5 Project                                                         | 364        |
| Pisanie kodu dla ERP5 Project                                                  | 365        |
| Podsumowanie                                                                   | 368        |
| <b>22. Łyżka dziegciu</b>                                                      | <b>371</b> |
| <b>23. Programowanie rozproszone z zastosowaniem MapReduce</b>                 | <b>389</b> |
| Motywujący przykład                                                            | 389        |
| Model programistyczny MapReduce                                                | 392        |
| Inne przykłady MapReduce                                                       | 393        |
| Implementacja rozproszonego MapReduce                                          | 394        |
| Rozszerzenia modelu                                                            | 398        |
| Wnioski                                                                        | 399        |
| Literatura zalecana                                                            | 400        |
| Podziękowania                                                                  | 400        |
| Dodatek: przykład algorytmu zliczającego słowa                                 | 400        |
| <b>24. Piękna współbieżność</b>                                                | <b>403</b> |
| Prosty przykład: konta bankowe                                                 | 404        |
| Pamięć transakcyjna STM                                                        | 406        |
| Problem Świętego Mikołaja                                                      | 414        |
| Refleksje na temat Haskell'a                                                   | 422        |
| Wnioski                                                                        | 423        |
| Podziękowania                                                                  | 424        |
| <b>25. Abstrakcja składniowa — rozszerzenie syntax-case</b>                    | <b>425</b> |
| Krótkie wprowadzenie do syntax-case                                            | 429        |
| Algorytm rozwijania                                                            | 431        |
| Przykład                                                                       | 443        |
| Wnioski                                                                        | 445        |
| <b>26. Architektura oszczędzająca nakłady</b>                                  |            |
| — <b>obiektowy framework dla oprogramowania sieciowego</b>                     | <b>447</b> |
| Przykładowa aplikacja — usługa rejestrowania                                   | 449        |
| Zorientowany obiektowo projekt frameworku serwera rejestrowania                | 451        |
| Implementacja sekwencyjnych serwerów rejestrowania                             | 457        |
| Implementacja współbieżnych serwerów rejestrowania                             | 461        |
| Wnioski                                                                        | 467        |
| <b>27. Integracja partnerów biznesowych z wykorzystaniem architektury REST</b> | <b>469</b> |
| Tło projektu                                                                   | 470        |
| Udostępnianie usług klientom zewnętrznym                                       | 470        |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| Przekazywanie usługi za pomocą wzorca fabryki               | 473        |
| Wymiana danych z użyciem protokołów e-biznesowych           | 475        |
| Wnioski                                                     | 480        |
| <b>28. Piękne debugowanie</b>                               | <b>481</b> |
| Debugowanie debugera                                        | 482        |
| Systematyczny proces                                        | 483        |
| Szukany problem                                             | 485        |
| Automatyczne wyszukiwanie przyczyny awarii                  | 486        |
| Debugowanie delta                                           | 488        |
| Minimalizacja wejścia                                       | 490        |
| Polowanie na usterkę                                        | 490        |
| Problem prototypu                                           | 493        |
| Wnioski                                                     | 493        |
| Podziękowania                                               | 494        |
| Literatura zalecana                                         | 494        |
| <b>29. Traktując kod jako esej</b>                          | <b>495</b> |
| <b>30. Gdy ze światem łączy cię tylko przycisk</b>          | <b>501</b> |
| Podstawowy model projektu                                   | 502        |
| Interfejs wejściowy                                         | 505        |
| Wydajność interfejsu użytkownika                            | 518        |
| Pobieranie                                                  | 518        |
| Przyszłe kierunki rozwoju                                   | 519        |
| <b>31. Emacspeak — kompletne dźwiękowe środowisko pracy</b> | <b>521</b> |
| Tworzenie wyjścia mówionego                                 | 522        |
| Włączanie mowy w Emacsie                                    | 523        |
| Bezbolesny dostęp do informacji online                      | 534        |
| Podsumowanie                                                | 541        |
| Podziękowania                                               | 544        |
| <b>32. Kod w ruchu</b>                                      | <b>545</b> |
| O byciu „podręcznikowym”                                    | 546        |
| Podobne wygląda podobnie                                    | 547        |
| Niebezpieczeństwa wcięć                                     | 548        |
| Poruszanie się po kodzie                                    | 549        |
| Wykorzystywane przez nas narzędzia                          | 550        |
| Burzliwa przeszłość DiffMerge                               | 552        |
| Wnioski                                                     | 554        |
| Podziękowania                                               | 554        |
| Literatura zalecana                                         | 554        |



|                                         |                |
|-----------------------------------------|----------------|
| <b>33. Pisanie programów dla Księgi</b> | <b>557</b>     |
| Niekrólewska droga                      | 558            |
| Ostrzeżenie dla nawiasofobów            | 558            |
| Trzy w rządzie                          | 559            |
| Śliskie nachylenie                      | 561            |
| Nierówność trójkąta                     | 563            |
| Meandrowanie                            | 565            |
| „No przecież!”, znaczy się „Aha!”       | 566            |
| Wnioski                                 | 567            |
| Zalecana literatura                     | 568            |
| <br><b>Posłowie</b>                     | <br><b>571</b> |
| <br><b>Autorzy</b>                      | <br><b>573</b> |
| <br><b>Skorowidz</b>                    | <br><b>583</b> |



# Najpiękniejszy kod, którego nigdy nie napisałem

*Jon Bentley*

**K**IEDYŚ SŁYSZAŁEM, ŻE PEWIEN MISTRZ PROGRAMOWANIA dawał taką oto pochwałę: „On dodaje funkcje poprzez usuwanie kodu”. Antoine Saint-Exupéry, francuski pisarz i lotnik, wyraził tę myśl bardziej ogólnie: „Projektant może uznać, że osiągnął perfekcję, nie wtedy, kiedy nie pozostało już nic do dodania, ale wtedy, gdy nie można już nic odjąć”. W oprogramowaniu najpiękniejszego kodu, najpiękniejszych funkcji i najpiękniejszych programów czasami w ogóle nie ma.

Oczywiście trudno dyskutować o rzeczach, których nie ma. Ten rozdział jest próbą wykonania tego przytłaczającego zadania poprzez zaprezentowanie nowatorskiej analizy czasu pracy klasycznego programu Quicksort. Pierwszy podrozdział zawiera ogólny opis programu z osobistego punktu widzenia. Następny — to już treść właściwa tego rozdziału. Zaczniemy od dodania jednego licznika do programu, a następnie będziemy manipulować kodem, żeby stawał się coraz mniejszy i potężniejszy, aż tylko kilka wierszy kodu w pełni będzie pokrywać jego średni czas działania. Trzeci podrozdział podsumowuje techniki i zawiera niezwykle zwięzłą analizę kosztów binarnych drzew poszukiwań. Wskazówki znajdujące się w dwóch ostatnich podrozdziałach, oparte na spostrzeżeniach zawartych w tym tekście, pomogą nam pisać bardziej eleganckie programy.

## Najpiękniejszy kod, jaki kiedykolwiek napisałem

Kiedy Greg Wilson przedstawił mi pomysł na tę książkę, zadałem sobie pytanie, jaki był najpiękniejszy kod, który napisałem. Po prawie całym dniu kołatania się tego pytania w mojej głowie zdałem sobie sprawę, że ogólna odpowiedź jest niezwykle prosta: Quicksort. Jednak w zależności od tego, jak precyzyjnie sformułuje się to pytanie, można odpowiedzieć na nie na trzy sposoby.

Tematem mojej rozprawy naukowej były algorytmy typu „dziel i zwyciężaj”. Dzięki niej odkryłem, że algorytm Quicksort napisany przez programistę o nazwisku C. A. R. Hoare (*Quicksort*, „Computer Journal” nr 5) jest niezaprzeczalnie dziadkiem ich wszystkich. Jest to piękny algorytm rozwiązujący podstawowy problem, który można zaimplementować w eleganckim kodzie. Zawsze go uwielbiałem, ale trzymałem się z dala od jego najgłębiej zagnieżdżonej pętli. Kiedyś spędziłem dwa dni na debugowaniu programu opartego na niej i całymi latami kopiowałem skrupulatnie kod za każdym razem, kiedy musiałem wykonać podobne zadanie. Rozwiązywał moje problemy, ale nigdy tak *naprawdę* go nie rozumiałem.

W końcu nauczyłem się od Nico Lomuto eleganckiej metody dzielenia i nareszcie mogłem napisać program Quicksort, który byłby dla mnie zrozumiały, a nawet umiałbym udowodnić, że jest poprawny. Spostrzeżenie Williama Strunka Jr., że „piszący szybko piszą zwięźle”, ma zastosowanie zarówno do kodu, jak i języka angielskiego. W związku z tym, idąc za jego radą, „pomijałem zbędne słowa” (*The Elements of Style*). Udało mi się zredukować 40 wierszy kodu do równo 12. A więc jeśli pytanie brzmi: „Jaki jest najpiękniejszy mały fragment kodu, jaki w życiu napisałem?”, moja odpowiedź to: Quicksort z mojej książki pod tytułem *Perelki oprogramowania*<sup>1</sup>. Ta funkcja Quicksort, napisana w języku C, została przedstawiona na listingu 3.1. W następnym podrozdziale zajmiemy się dalszym dostrajaniem i badaniem tego kodu.

#### LISTING 3.1. Funkcja Quicksort

```
void quicksort(int l, int u)
{
    int i, m;
    if (l >= u) return;
    swap(l, randint(l, u));
    m = l;
    for (i = l+1; i <= u; i++)
        if (x[i] < x[l])
            swap(++m, i);
    swap(l, m);
    quicksort(l, m-1);
    quicksort(m+1, u);
}
```

Kod ten sortuje globalną tablicę  $x[n]$ , kiedy jest wywoływany z argumentami `quicksort(0, n-1)`. Oba argumenty tej funkcji są indeksami podtablicy, która ma być posortowana. `l` oznacza dolną granicę (ang. *lower*), a `u` — górną (ang. *upper*). Wywołanie funkcji `swap(i, j)` powoduje zamianę zawartości elementów  $x[i]$  i  $x[j]$ . Pierwsza funkcja `swap` losowo wybiera element podziału, który w taki sam sposób jest wybierany pomiędzy `l` i `u`.

Książka *Perelki oprogramowania* zawiera szczegółowy opis i dowód poprawności funkcji `quicksort`. Zakładam, że Czytelnik zna algorytm Quicksort na poziomie tamtego opisu i najbardziej podstawowych książek o algorytmach.

Jeśli zmienimy pytanie na: „Jaki jest najpiękniejszy powszechnie używany fragment kodu, który napisałeś?”, moja odpowiedź ponownie będzie brzmieć Quicksort. W artykule napisanym razem

---

<sup>1</sup> Jon Bentley, *Perelki oprogramowania*, wyd. 2, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001 — *przyp. red.*

z M. D. McIlroyem<sup>2</sup> omawiamy poważny błąd związany z wydajnością w nieco sędziwej już funkcji systemu Unix — `qsort`. Wzięliśmy się za pisanie nowej funkcji `sort` dla biblioteki języka C, biorąc pod uwagę wiele różnych algorytmów do wykorzystania, w tym *Merge Sort* i *Heap Sort*. Po porównaniu kilku możliwości implementacji zdecydowaliśmy się na wersję z algorytmem Quicksort. We wspomnianym artykule wyjaśniamy, w jaki sposób napisaliśmy nową funkcję, która była bardziej przejrzysta, szybsza i solidniejsza niż jej konkurentki — po części z racji swoich niewielkich rozmiarów. Mądra rada Gordona Bella okazała się słuszna: „Najtańsze, najszybsze i najbardziej niezawodne komponenty systemu komputerowego to te, których nie ma”. Funkcja ta jest już powszechnie używana od ponad dziesięciu lat i nie zgłoszono jeszcze żadnych błędów.

Biorąc pod uwagę korzyści płynące ze zmniejszania objętości kodu, zadałem sobie w końcu trzeci wariant pytania zamieszczonego na początku tego rozdziału: „Jaki jest najpiękniejszy fragment kodu, którego *nigdy* nie napisałem?”. Jak udało mi się osiągnąć bardzo dużo za pomocą tak małych środków? Odpowiedź i tym razem jest związana z Quicksort, a konkretnie z analizą jego wydajności. O tym opowiadałem w kolejnym podrozdziale.

## Coraz więcej za pomocą coraz mniejszych środków

Quicksort to bardzo elegancki algorytm, który nadaje się do wykonywania wnikliwych analiz. Około roku 1980 odbyłem wspaniałą rozmowę z Tonym Hoarem na temat historii jego algorytmu. Powiedział mi, że kiedy go opracował, wydawało mu się, iż jest on zbyt prosty do opublikowania. Napisał więc tylko swój klasyczny artykuł *Quicksort*, kiedy udało mu się przeanalizować jego oczekiwany czas wykonywania.

Łatwo się zorientować, że posortowanie tablicy zawierającej  $n$  elementów algorytmowi Quicksort może w najgorszym przypadku zająć około  $n^2$  czasu. W najlepszym natomiast przypadku wybiera on wartość średnią jako element dzielący, dzięki czemu sortuje tablicę za pomocą około  $n \times \lg(n)$  porównań. A więc ilu średnio porównań potrzebuje w przypadku losowej tablicy  $n$  różnych wartości?

Analiza tego problemu dokonana przez Hoare’a jest piękna, ale niestety wykraczająca poza wiedzę matematyczną wielu programistów. Kiedy uczyłem zasady działania algorytmu Quicksort studentów, martwiło mnie, że wielu z nich nie mogło zrozumieć dowodu, nawet mimo mojego szczerego wysiłku. Spróbujemy teraz podejść do tego zagadnienia w eksperymentalny sposób. Zaczniemy od programu Hoare’a i stopniowo dojdziemy do analizy zbliżonej do jego własnej.

Naszym zadaniem jest zmodyfikować kod z listingu 3.1 przedstawiającego randomizujący kod Quicksort, aby drogą analizy sprawdzał średnią liczbę porównań potrzebnych do posortowania tablicy zawierającej unikatowe elementy. Spróbujemy też uzyskać jak najwięcej przy użyciu jak najmniejszej ilości kodu, czasu i miejsca.

Aby określić średnią liczbę porównań, najpierw rozszerzymy funkcjonalność programu o możliwość ich zliczania. W tym celu inkrementujemy zmienną `comps` przed porównaniem w wewnętrznej pętli (listing 3.2).

---

<sup>2</sup> J. Bentley, M. D. McIlroy, *Engineering a sort function*, „Software-Practice and Experience”, Vol. 23, No. 11 — *przyp. red.*

**LISTING 3.2. Wewnętrzna pętla algorytmu Quicksort przystosowana do zliczania porównań**

```
for (i = l+1; i <= u; i++) {
    comps++;
    if (x[i] < x[l])
        swap(++m, i);
}
```

Jeśli uruchomimy program tylko dla jednego  $n$ , dowiemy się, ile porównań to jedno uruchomienie potrzebuje. Jeśli powtórzymy tę operację wielokrotnie dla wielu wartości  $n$  i przeprowadzimy statystyczną analizę wyników, uzyskamy wartość średnią. Algorytm Quicksort potrzebuje około  $1,4 \cdot n \times \lg(n)$  porównań do posortowania  $n$  elementów.

Nie jest to wcale zły sposób na uzyskanie wglądu w działanie programu. Dzięki 13 wierszom kodu i kilku eksperymentom można sporo odkryć. Znane powiedzenie przypisywane pisarzom takim jak Blaise Pascal i T. S. Eliot brzmi: „Gdybym miał więcej czasu, napisałbym Ci krótszy list”. My mamy czas, więc poeksperymentujemy trochę z kodem, aby napisać krótszy (i lepszy) program.

Zagramy w przyspieszanie eksperymentu, próbując zwiększyć statystyczną dokładność i wgląd w działanie programu. Jako że wewnętrzna pętla wykonuje dokładnie  $u-l$  porównań, możemy nieco przyspieszyć działanie programu, zliczając te porównania za pomocą pojedynczej operacji poza pętlą. Po tej zmianie algorytm Quicksort wygląda jak na listingu 3.3.

**LISTING 3.3. Algorytm Quicksort po przeniesieniu inkrementacji na zewnątrz pętli**

```
comps += u-l;
for (i = l+1; i <= u; i++)
    if (x[i] < x[l])
        swap(++m, i);
```

Program ten sortuje tablicę i jednocześnie sprawdza liczbę potrzebnych porównań. Jeśli jednak naszym celem jest tylko zliczenie porównań, nie musimy sortować tablicy. Na listingu 3.4 zostało usunięte prawdziwe sortowanie i pozostał tylko szkielet różnych wywołań wykonywanych przez program.

**LISTING 3.4. Szkielet algorytmu Quicksort zredukowany do zliczania**

```
void quickcount(int l, int u)
{
    int m;
    if (l >= u) return;
    m = randint(l, u);
    comps += u-l;
    quickcount(l, m-1);
    quickcount(m+1, u);
}
```

Program ten działa dzięki losowemu wybieraniu przez Quicksort elementu dzielącego i dzięki założeniu, że wszystkie elementy są unikatowe. Jest on wykonywany w czasie proporcjonalnym do  $n$ . Podczas gdy program z listingu 3.3 wymagał proporcjonalnej do  $n$  ilości miejsca, teraz została ona zredukowana do stosu rekurencji, który średnio jest proporcjonalny do  $\lg(n)$ .

Mimo że indeksy ( $l$  i  $u$ ) tablicy są niezbędne w prawdziwym programie, w tej wersji szkieletu nie mają znaczenia. Można je zastąpić jedną liczbą całkowitą ( $n$ ), która będzie określała rozmiar podtablicy do posortowania (listing 3.5).

**LISTING 3.5.** Szkielet algorytmu Quicksort z jednym argumentem określającym rozmiar

```
void qc(int n)
{
    int m;
    if (n <= 1) return;
    m = randint(1, n);
    comps += n-1;
    qc(m-1);
    qc(n-m);
}
```

Bardziej naturalne teraz będzie przetworzenie tej procedury do postaci funkcji zliczającej porównania (ang. *comparison count* — *cc*), która zwraca liczbę porównań użytych przez jedno wykonanie algorytmu Quicksort. Funkcję tę przedstawia listing 3.6.

**LISTING 3.6.** Szkielet algorytmu Quicksort zaimplementowany jako funkcja

```
int cc(int n)
{
    int m;
    if (n <= 1) return 0;
    m = randint(1, n);
    return n-1 + cc(m-1) + cc(n-m);
}
```

Przykłady zamieszczone na listingach 3.4, 3.5 i 3.6 rozwiązują ten sam podstawowy problem i potrzebują na to tyle samo czasu i pamięci. Każda kolejna wersja ma poprawioną formę, dzięki czemu jest nieco bardziej przejrzysta i zwięzła od poprzedniej.

Definiując **paradoks wynalazcy** (ang. *inventor's paradox*), George Pólya oznajmia, że: „Bardziej ambitny plan może mieć więcej szans na powodzenie”<sup>3</sup>. Spróbujemy teraz wykorzystać ten paradoks w analizie Quicksort. Do tej pory zadawaliśmy sobie pytanie, ile porównań potrzebuje algorytm Quicksort do posortowania tablicy zawierającej  $n$  elementów. Teraz zadamy bardziej ambitne pytanie: ile średnio porównań potrzebuje algorytm Quicksort do posortowania losowej tablicy o rozmiarze  $n$ ? Możemy rozszerzyć kod z listingu 3.6, aby uzyskać pseudokod widoczny na listingu 3.7.

**LISTING 3.7.** Średnia liczba porównań algorytmu Quicksort jako pseudokod

```
float c(int n)
{
    if (n <= 1) return 0
    sum = 0
    for (m = 1; m <= n; m++)
        sum += n-1 + c(m-1) + c(n-m)
    return sum/n
}
```

Jeśli dane wejściowe zawierają maksymalnie jeden element, Quicksort nie wykonuje żadnych porównań, jak w przykładzie z listingu 3.6. W przypadku  $n$  o większej wartości kod ten bierze pod uwagę każdą wartość dzielącą (od pierwszego do ostatniego elementu — każdy jest równie prawdopodobny)

<sup>3</sup> George Pólya, *How to solve it*, Princeton University Press, 1945 — przyp. red.

i określa koszt podziału w każdym z tych miejsc. Następnie kod oblicza sumę tych wartości (w ten sposób rekursywnie rozwiązując jeden problem rozmiaru  $m-1$  i jeden problem rozmiaru  $n-m$ ) i dzieli ją przez  $n$ , uzyskując średnią.

Gdybyśmy mogli obliczyć tę liczbę, nasze eksperymenty byłyby znacznie bardziej potężne. Zamiast przeprowadzać wiele eksperymentów z jedną wartością  $n$  w celu oszacowania średniej, jeden eksperyment wystarczyłby do uzyskania prawdziwej średniej. Niestety, ta potęga ma swoją cenę: program działa w czasie proporcjonalnym do  $3^n$  (interesującym ćwiczeniem jest analiza tego czasu przy użyciu technik opisanych w tym rozdziale).

Kod z listingu 3.7 potrzebuje właśnie tyle czasu, ponieważ oblicza pododpowiedzi wielokrotnie. W takim przypadku można zastosować **programowanie dynamiczne** w celu zapisywania tych pododpowiedzi, co pozwoli na uniknięcie ich ponownego obliczania. W tym przypadku wprowadzimy tablicę  $t[N+1]$ , w której element  $t[n]$  przechowuje  $c(n)$ , i obliczymy jej wartości w kolejności rosnącej.  $N$  będzie oznaczać maksymalną wartość  $n$ , czyli rozmiar tablicy do posortowania. Rezultat jest widoczny na listingu 3.8.

*LISTING 3.8. Obliczenia algorytmu Quicksort przy użyciu programowania dynamicznego*

```
t[0] = 0
for (n = 1; n <= N; n++)
    sum = 0
    for (i = 1; i <= n; i++)
        sum += n-1 + t[i-1] + t[n-i]
    t[n] = sum/n
```

Program ten jest z grubsza transkrypcją kodu z listingu 3.7, w której zastąpiono  $c(n)$  zapisem  $t[n]$ . Jego czas wykonywania jest proporcjonalny do  $N^2$ , a ilość zajmowanego miejsca do  $N$ . Jedną z jego zalet jest to, że po zakończeniu wykonywania tablica  $t$  zawiera rzeczywiste wartości średnie (a nie przybliżoną wartość przykładowych średnich) dla elementów tablicy od 0 do  $N$ . Dzięki analizie tych liczb można uzyskać informacje na temat funkcjonalnej formy spodziewanej liczby porównań wykonanych przez algorytm Quicksort.

Teraz uprościmy nasz program jeszcze bardziej. Najpierw przeniesiemy człon  $n-1$  poza pętlę, jak widać na listingu 3.9.

*LISTING 3.9. Obliczenia Quicksort z kodem przeniesionym na zewnątrz pętli*

```
t[0] = 0
for (n = 1; n <= N; n++)
    sum = 0
    for (i = 1; i <= n; i++)
        sum += t[i-1] + t[n-i]
    t[n] = n-1 + sum/n
```

Dalsze dostrajanie kodu będzie polegało na użyciu symetrii. Jeśli na przykład  $n$  wynosi 4, wewnętrzna pętla oblicza następującą sumę:

$$t[0]+t[3] + t[1]+t[2] + t[2]+t[1] + t[3]+t[0]$$

W tym szeregu par pierwsze elementy zwiększają się, podczas gdy mniejsze zmniejszają. Możemy zatem sumę tę zapisać tak:



```
2 * (t[0] + t[1] + t[2] + t[3])
```

Za pomocą tej symetrii otrzymamy algorytm widoczny na listingu 3.10.

**LISTING 3.10. Obliczenia Quicksort przy użyciu symetrii**

```
t[0] = 0
for (n = 1; n <= N; n++)
    sum = 0
    for (i = 0; i < n; i++)
        sum += 2 * t[i]
    t[n] = n-1 + sum/n
```

Kod ten jednak również nie jest w pełni efektywny, ponieważ wielokrotnie oblicza tę samą sumę. Zamiast dodawać wszystkie poprzednie człony, możemy zmienną `sum` zainicjalizować poza pętlą i dodać następny człon. Rezultat jest widoczny na listingu 3.11.

**LISTING 3.11. Obliczenia Quicksort z usuniętą wewnętrzną pętlą**

```
sum = 0; t[0] = 0
for (n = 1; n <= N; n++)
    sum += 2*t[n-1]
    t[n] = n-1 + sum/n
```

Ten niewielki program jest naprawdę użyteczny. W czasie proporcjonalnym do  $N$  tworzy tabelę rzeczywistych spodziewanych czasów wykonania algorytmu Quicksort dla każdej liczby całkowitej od 1 do  $N$ .

Kod z listingu 3.11 jest łatwy do użycia w arkuszu kalkulacyjnym, w którym wartości są natychmiast dostępne do dalszej analizy. Tabela 3.1 przedstawia początkowe wiersze.

**TABELA 3.1. Wynik implementacji kodu z listingu 3.11 w arkuszu kalkulacyjnym**

| N | Suma   | t[n]   |
|---|--------|--------|
| 0 | 0      | 0      |
| 1 | 0      | 0      |
| 2 | 0      | 1      |
| 3 | 2      | 2.667  |
| 4 | 7.333  | 4.833  |
| 5 | 17     | 7.4    |
| 6 | 31.8   | 10.3   |
| 7 | 52.4   | 13.486 |
| 8 | 79.371 | 16.921 |

Pierwszy wiersz liczb w tej tabeli jest inicjalizowany za pomocą trzech stałych z kodu. W notacji arkuszy kalkulacyjnych kolejny wiersz liczb (trzeci wiersz arkusza) jest obliczany przy użyciu następujących zależności:

$$A3 = A2+1$$

$$B3 = B2 + 2*C2$$

$$C3 = A3-1 + B3/A3$$

Kopiując poprzez przeciągnięcie te (względne) odwołania w dół, można uzupełnić arkusz. Ten arkusz jest moim poważnym kandydatem na „najpiękniejszy kod, jaki kiedykolwiek napisałem” w kategorii osiągania jak najwięcej za pomocą tylko kilku wierszy kodu.

Co jednak, jeśli nie potrzebujemy tych wszystkich wartości? Gdybyśmy na przykład woleli przeanalizować tylko kilka z wartości (na przykład wszystkie potęgi cyfry 2 od  $2^0$  do  $2^{32}$ )? Mimo że kod z listingu 3.11 tworzy pełną tablicę `t`, używa on tylko jej najnowszej wartości.

Możemy zatem zastąpić liniową przestrzeń tablicy `t[]` stałą przestrzenią zmiennej `t`, jak na listingu 3.12.

Listing 3.12. Obliczenia Quicksort — ostateczna wersja

```
sum = 0; t = 0
for (n = 1; n <= N; n++)
    sum += 2*t
t = n-1 + sum/n
```

Można następnie wstawić dodatkowy wiersz kodu w celu sprawdzenia trafności `n` i w razie potrzeby wydrukować wyniki.

Ten niewielki program jest ostatnim etapem naszej podróży. Dobrą konkluzją w odniesieniu do niej mogą być słowa Alana Perlisa: „Prostota nie występuje przed złożonością, ale jest jej następstwem”<sup>4</sup>.

## Perspektywa

Tabela 3.2 zawiera zestawienie programów analizujących Quicksort, prezentowanych w tym rozdziale.

TABELA 3.2. Ewolucja programu analizującego pracę algorytmu Quicksort

| Numer przykładu | Liczba wierszy | Typ odpowiedzi | Liczba odpowiedzi | Czas trwania      | Przestrzeń |
|-----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|------------|
| 2               | 13             | Przykładowa    | 1                 | $n \times \lg(n)$ | $N$        |
| 3               | 13             | "              | "                 | "                 | "          |
| 4               | 8              | "              | "                 | $n$               | $\lg(n)$   |
| 5               | 8              | "              | "                 | "                 | "          |
| 6               | 6              | "              | "                 | "                 | "          |
| 7               | 6              | Dokładna       | "                 | $3^N$             | $N$        |
| 8               | 6              | "              | $N$               | $N^2$             | $N$        |
| 9               | 6              | "              | "                 | "                 | "          |
| 10              | 6              | "              | "                 | "                 | "          |
| 11              | 4              | "              | "                 | $N$               | "          |
| 12              | 4              | Dokładna       | $N$               | $N$               | 1          |

<sup>4</sup> Alan Perlis, *Epigrams on Programming*, „Sigplan Notices”, Vol. 17, Issue 9 — przyp. red.

Każdy etap ewolucji naszego kodu był bardzo prosty. Przejście od przykładu zamieszczonego na listingu 3.6 do dokładnej odpowiedzi na listingu 3.7 jest prawdopodobnie najbardziej subtelne. Kod w miarę kurczenia się stawał się coraz szybszy. W połowie XIX wieku Robert Browning zauważył, że „mniej oznacza więcej”. Ta tabela umożliwia ilościowe określenie jednego z przykładów tamtej minimalistycznej filozofii.

Widzieliśmy trzy zasadniczo różniące się typy programów. Przykłady z listingów 3.2 i 3.3 są działającymi algorytmami Quicksort przystosowanymi do zliczania porównań w trakcie sortowania prawdziwej tablicy. Listingi 3.4 do 3.6 implementują prosty model Quicksort — imitują jedno uruchomienie algorytmu, w rzeczywistości nie wykonując żadnego sortowania. Listingi 3.7 do 3.12 implementują bardziej wyrafinowany model — obliczają rzeczywistą średnią liczbę porównań, nie badania jakiegoś konkretnego uruchomienia algorytmu.

Oto podsumowanie technik zastosowanych do uzyskania każdego z programów:

- Listingi 3.2, 3.4, 3.7 — fundamentalna zmiana definicji problemu.
- Listingi 3.5, 3.6, 3.12 — nieduża zmiana definicji funkcji.
- Listing 3.8 — nowa struktura danych implementująca programowanie dynamiczne.

Techniki te są typowe. Program często można uprościć poprzez odpowiedzenie sobie na pytanie, jaki problem tak naprawdę trzeba rozwiązać oraz czy jest funkcja lepiej nadająca się do rozwiązania tego problemu.

Kiedy po raz pierwszy przedstawiłem tę analizę studentom, program w końcu skurczył się do 0 wierszy kodu i zniknął w tumanie matematycznego kurzu. Kod z listingu 3.7 można przedstawić za pomocą następującej zależności rekurencyjnej:

$$C_0 = 0 \quad C_n = (n-1) + (1/n) \sum_{1 \leq i \leq n} C_{i-1} + C_{n-i}$$

Jest to dokładnie metoda zastosowana przez Hoare’a i później przedstawiona przez D. E. Knutha w jego klasycznej monografii *Sztuka programowania. Tom 3: Sortowanie i wyszukiwanie*<sup>5</sup>. Sztuczki programistyczne polegające na wprowadzaniu odpowiedników i zastosowaniu symetrii, dzięki którym powstał kod zaprezentowany na listingu 3.10, umożliwiły uproszczenie części rekurencyjnej do następującej postaci:

$$C_n = n - 1 + (2/n) \sum_{0 \leq i \leq n-1} C_i$$

Technika Knutha polegająca na usunięciu symbolu sumy daje w wyniku (mniej więcej) kod widoczny na listingu 3.11, który można zastąpić układem dwóch zależności rekurencyjnych z dwiema niewiadomymi.

$$C_0 = 0 \quad S_0 = 0 \quad S_n = S_{n-1} + 2C_{n-1} \quad C_n = n - 1 + S_n / n$$

<sup>5</sup> Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002 — przyp. red.

Knuth uzyskuje wynik dzięki zastosowaniu matematycznej techniki czynnika sumującego (ang. *summing factor*):

$$C_n = (n+1)(2H_{n+1} - 2) - 2n \quad \sim \quad 1,386n \ln n$$

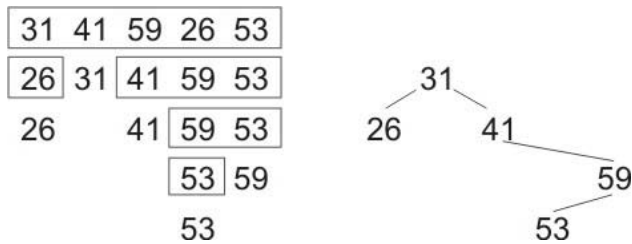
gdzie  $H_n$  oznacza  $n$ -tą liczbę harmoniczną —  $1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}$ . W ten sposób gładko przeszliśmy od eksperymentowania na programie poprzez wzbogacanie go dogłębną analizą do kompletnie matematycznej analizy jego działania.

Na tej formule kończymy naszą przygodę. Poszliśmy za słynną radą Einsteina, która brzmi: „Upraszczaj wszystko jak to tylko możliwe i ani trochę bardziej”.

## Dodatkowa analiza

Słynne stwierdzenie Goethego mówi, że architektura to zamrożona muzyka. W dokładnie tym samym sensie twierdzę, że struktury danych to zamrożone algorytmy. Jeśli zamrozimy algorytm Quicksort, otrzymamy strukturę danych binarnego drzewa poszukiwań. Struktura ta jest zaprezentowana w publikacji Knutha. Czas jej wykonania został przeanalizowany za pomocą relacji rekurencyjnej podobnej do tej występującej w Quicksort.

Gdybyśmy chcieli przeanalizować średni koszt wstawienia elementu do binarnego drzewa wyszukiwania, moglibyśmy zacząć od kodu, który następnie wzbogacilibyśmy o zliczanie porównań. Potem moglibyśmy przeprowadzić eksperymenty na zgromadzonych danych. Następnie moglibyśmy uprościć kod (i zwiększyć jego funkcjonalność) w sposób bardzo podobny do tego z poprzedniego podrozdziału. Prostsza metoda polega na zdefiniowaniu nowego algorytmu Quicksort z użyciem metody **idealnego podziału** pozostawiającej elementy w tej samej względnej kolejności po obu stronach. Taki algorytm Quicksort jest izomorficzny z binarnymi drzewami poszukiwań, co widać na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1. Algorytm Quicksort z idealnym podziałem i odpowiadające mu drzewo binarne poszukiwań

Ramki po lewej stronie prezentują algorytm Quicksort z idealnym podziałem w trakcie działania. Graf po prawej stronie przedstawia odpowiadające mu drzewo binarne, które zostało zbudowane z tych samych danych wejściowych. Oba te procesy wykonują nie tylko tę samą *liczbę* porównań, ale dokładnie takie same ich *zestawy*. A zatem nasza poprzednia analiza w celu sprawdzenia średniej efektywności randomizującego algorytmu Quicksort, działającego na zestawie unikatowych elementów, daje nam średnią liczbę porównań do wstawienia do binarnego drzewa wyszukiwań losowo ustawionych unikatowych elementów.

# Co to jest pisanie

Tworząc kody z listingów od 3.2 do 3.12, najpierw zapisałem je w swoich notatkach, następnie na tablicy dla studentów i w końcu na kartkach tego rozdziału. Programy te powstawały stopniowo. Spędziłem dużą ilość czasu nad ich analizą i jestem przekonany o tym, że nie zawierają błędów. Jednak poza implementacją w arkuszu kalkulacyjnym przykładu z listingu 3.11 nigdy nie uruchomiłem żadnego z tych programów jako programu komputerowego.

W ciągu dwudziestu lat pracy w Bell Labs miałem okazję uczyć się od wielu nauczycieli (zwłaszcza od Briana Kernighana, którego rozdział o nauczaniu programowania pojawia się jako pierwszy w tej książce). Nauczono mnie, że pisanie programu do użytku publicznego to coś więcej niż tylko wpisywanie symboli. Po napisaniu kodu programu uruchamia się go w kilku przypadkach testowych, następnie buduje szczegółowe rusztowanie, sterowniki i bibliotekę przypadków systematycznie na nim uruchamianych. W idealnej sytuacji skompilowany kod źródłowy jest „włączany w tekst” bez interwencji człowieka. Przykład z listingu 3.1 (i wszystkie kody w książce *Perelki programowania*) napisałem właśnie w tym duchu.

Punktem honoru dla mnie było trzymanie się tytułu i nieimplementowanie przykładów z listingów 3.2 do 3.12. Prawie czterdzieści lat programowania komputerów nauczyło mnie głębokiego szacunku dla trudności tego rzemiosła (mówiąc dokładniej, panicznego strachu przed błędami). Skapitulowałem, implementując kod z listingu 3.11 w arkuszu kalkulacyjnym, i dorzuciłem dodatkową kolumnę, która dała zamkniętą formę rozwiązania. Wyobraź sobie moją radość, kiedy zobaczyłem, że dokładnie do siebie pasują! Tak więc prezentuję światu te piękne nienapisane programy z pewną dozą pewności, że są poprawne, ale w głębi będąc boleśnie świadom, że mogą zawierać jakieś nieodkryte błędy. Mam nadzieję, że głębokie piękno, które w nich widzę, nie zostanie przekreślone przez jakieś powierzchowne skazy.

Prezentując niepewnie te nienapisane programy, pocieszam się spostrzeżeniem Alana Perlisa, który powiedział: „Czy jest możliwe, że oprogramowanie nie jest podobne do niczego innego, że jest skazane na wyrzucenie, że cała filozofia polega na tym, aby postrzegać je jako mydlaną bańkę?”.

## Zakończenie

Piękno ma wiele źródeł. Ten rozdział koncentruje się na pięknie zdobywanym dzięki prostocie, elegancji i zwięzłości. Poniższe stwierdzenia wyrażają tę najistotniejszą myśl:

- Staraj się dodawać funkcje poprzez usuwanie kodu.
- Projektant może uznać, że osiągnął perfekcję, nie wtedy, kiedy nie pozostało już nic do dodania, ale wtedy, gdy nie można już nic odjąć (Saint-Exupéry).
- W oprogramowaniu najpiękniejszego kodu, najpiękniejszych funkcji i najpiękniejszych programów czasami w ogóle nie ma.
- Piszący szybko piszą zwięźle. Pomijają niepotrzebne słowa (Strunk i White).

- Najtańsze, najszybsze i najbardziej niezawodne komponenty systemu komputerowego to te, których nie ma (Bell).
- Dąż do robienia coraz więcej za pomocą coraz mniejszej ilości kodu.
- Gdybym miał więcej czasu, napisałbym Ci krótszy list (Pascal).
- Paradoks wynalazcy: bardziej ambitny plan może mieć więcej szans na powodzenie (Pólya).
- Prostota nie występuje przed złożonością, ale jest jej następstwem (Perlis).
- Mniej oznacza więcej (Browning).
- Upraszczaj wszystko jak to tylko możliwe i ani trochę bardziej (Einstein).
- Oprogramowanie powinno być czasami postrzegane jako mydlana bańka (Perlis).
- Szukaj piękna w prostocie.

Na tym kończy się ta lekcja. Idź zatem i postępuj, jak tu napisano.

Dla tych, którzy potrzebują bardziej konkretnych wskazówek, poniżej przedstawiam listę koncepcji podzielonych na trzy kategorie.

### *Analiza programów*

Jednym ze sposobów na zyskanie wglądu w działanie programu jest odpowiednie wyposażenie go i uruchomienie na reprezentatywnej próbce danych, jak w przykładzie z listingu 3.2. Często jednak bardziej niż całym programem zajmujemy się jednym jego fragmentem. W tym przypadku zajmowaliśmy się tylko średnią liczbą porównań wykonywanych przez Quicksort, a pomijaliśmy wiele innych aspektów. Sedgewick<sup>6</sup> bada takie zagadnienia, jak wymagana przez niego przestrzeń i wiele innych komponentów wykonywania różnych wariantów Quicksort. Koncentrując się na najważniejszych problemach, możemy (przez chwilę) zapomnieć o innych aspektach programu. W jednym z moich artykułów, *A Case Study In Applied Algorithm Design*<sup>7</sup>, opisuję, jak zetknąłem się z problemem oszacowania wydajności **heurystyki paskowej** (ang. *strip heuristic*) do znalezienia przybliżonej drogi akwizytora przez  $N$  punktów w określonym kwadracie. Ocenilem, że kompletny program do rozwiązania tego zadania zajmie około 100 wierszy kodu. Po kilku etapach podobnych do tych opisanych powyżej uzyskałem dwunastowierszową symulację o znacznie większej dokładności (a po zakończeniu mojej małej symulacji odkryłem, że Beardwood i inni autorzy<sup>8</sup> wyrazili moją symulację w postaci podwójnej liczby całkowitej, a więc rozwiązali matematycznie ten problem około dwudziestu lat wcześniej).

---

<sup>6</sup> Robert Sedgewick, *The Analysis of Quicksort programs*, „Acta Informatica”, Vol. 7 — *przyp. red.*

<sup>7</sup> „IEEE Computer”, Vol. 17, No. 2 — *przyp. red.*

<sup>8</sup> J. Beardwood, J. H. Halton, J. M. Hammersley, *The Shortest Path Through Many Points*, „Proc. Cambridge Philosophical Soc.”, Vol. 55 — *przyp. red.*

### *Małe fragmenty kodu*

Uważam, że programowanie komputerów to umiejętność praktyczna, i zgadzam się z Pólyą, iż „zdolności praktyczne nabywamy poprzez naśladownictwo i praktykę”. Programiści, którzy pragną pisać piękny kod, powinni zatem czytać piękne programy i naśladować zastosowane w nich techniki we własnych. Według mnie do takich ćwiczeń najlepiej nadają się niewielkie fragmenty kodu, składające się z 10 do 25 wierszy kodu. Przygotowywanie drugiego wydania książki *Perelki programowania* wymagało mnóstwa pacy, ale było też bardzo zabawne. Implementowałem każdy fragment kodu i pracowałem nad nim, aby zredukować jego rozmiar do niezbędnego minimum. Mam nadzieję, że inni będą mieli tyle samo radości z czytania tego kodu co ja z jego pisania.

### *Systemy oprogramowania*

Opisałem niezwykle szczegółowo jedno małe zadanie. Wydaje mi się, że świetność tych zasad nie bierze się z małych fragmentów kodu, a z dużych programów i wielkich systemów komputerowych. Parnas opisuje techniki redukcji systemu do niezbędnego minimum<sup>9</sup>. Stosując je, nie zapomnij rady Toma Duffa: „Podkradaj kod, kiedy tylko jest taka możliwość”.

## Podziękowania

Dziękuję za wnikliwe komentarze Danowi Bentleyowi, Brianowi Kernighanowi, Andy’emu Oramowi i Davidowi Weissowi.

---

<sup>9</sup> David L. Parnas, *Designing software for ease of extension and contraction*, „IEEE T. Software Engineering”, Vol. 5, No. 2 — przyp. red.





.NET Common Language Runtime, 132  
\_\_dict\_\_, 315

## A

abstrakcja, 43  
    iterator, 324  
abstrakcja składniowa, 425  
    makra Lisp, 426  
    makra preprocesora C, 425  
    syntax-rules, 428  
    warunek higieniczności dla rozszerzania makr, 427  
Acceptance Testing Framework, 96  
ACE, 448, 454  
ACE\_Handle\_Set, 459  
Adapter, 448  
adnotacje, 206  
adresowanie otwarte, 316  
advice, 524  
AFL, 529  
Agile methodologies, 110  
algorytmy  
    algebra liniowa, 248  
    binarySearch, 116  
    dziel i zwyciężaj, 48  
    Euklidesa, 558  
    filtr cyfrowy, 136  
    gęsta algebra liniowa, 253  
    higieniczne rozszerzanie makr, 428  
    macierzowe, 248  
    ogólne, 146  
    podzielone na bloki, 248  
    Quicksort, 48  
    rozwijanie, 431  
    rsync, 29  
    współliniowość, 566  
    wyszukujące, 67  
    zliczające słowa, 400  
analiza błędów, 267  
analiza programów, 58  
analizator składniowy, 306  
AND, 126

annotation, 206  
Ant, 89  
Apache Log4J, 347  
API, 45  
API JavaMail, 98  
API JDOM, 79, 80  
API JDOM 3, 86  
API Perl XS, 184  
aplikacje sieciowe, 228, 447  
Application Programming Interface, 447  
apply\_textdelta(), 41  
architektura  
    komputer, 248  
    oszczędzająca nakłady, 447  
    REST, 469  
    RISC, 79, 249  
    sieciowe usługi rejestrowania, 449  
    wielokrotnego użytku, 448  
    zorientowana na usługi, 340  
argumenty funkcji, 300  
arkusze właściwości, 361  
ArrayIndexOutOfBoundsException, 108  
Arrays, 116  
AS/400, 469, 470  
assembler, 126  
asercje  
    blokady, 306  
    JUnit, 120  
ASSERT\_VOP\_ELOCKED(), 306  
ASSERT\_VOP\_UNLOCKED(), 306  
assignment, 155  
AsTeR, 529  
AsTeR, Audio System For Technical Readings, 521  
asymetria w przepływie danych, 503  
Atom, 540  
atomically act, 410  
Audio Formatting Language, 529  
audyt modułu, 197  
Aural CSS, 529, 530, 535  
automatyczne wyszukiwanie przyczyny awarii, 486  
awk, 20, 70

## B

- backtick operator, 198
- badania użyteczności, 182
- base pair, 206
- Basic Linear Algebra Communication Subprograms, 261
- Basic Multilingual Plane, 89
- baton, 36
- baza danych, 277
- Benchmark, 201
- bezpieczna komunikacja, 177
- bezpieczne przesyłanie wiadomości, 180
- białe znaki, 550
- biblioteki
  - CERN, 272
  - LAPACK, 272
- binarySearch, 113, 116, 121
- binarySearchComparisonCount, 121
- Bio::Graphics, 206
  - dodawanie nowych glifów, 231
  - fabryki glifów, 219
  - gęstość własności, 209
  - historyjka, 210
  - interaktywne aplikacje sieciowe, 209
  - klasy obiektowe, 216
  - niezależność od formatu graficznego, 209
  - niezależność od schematów baz danych, 210
  - obsługa obrazów nadających się do publikacji, 230
  - opcje dynamiczne, 224
  - otwarta natura problemu, 208
  - powiększanie semantyczne, 225
  - proces projektowania, 210
  - projektowanie sposobu interakcji dewelopera z modulem, 210
  - przetwarzanie opcji, 218
  - rozszerzanie modułu, 228
  - skala, 209
  - ścieżki, 212
  - ustawianie opcji, 214
  - wspieranie programistów sieciowych, 228
  - wymagania, 208
  - wywołanie zwrotne, 227
  - zwracane dane, 207
- Bio::Graphics::Glyph, 232
- Bio::Graphics::Glyph::Factory, 219
- Bio::Graphics::Panel, 210, 216
- Bio::Graphics::Track, 216
- Bio::SeqFeature::Generic, 224
- Bio::SeqFeatureI, 224
- bioinformatyka, 205
- BioMoby, 471
- BioPerl, 205, 206, 213
- BitBlt, 126, 128, 132
- BLACS, 261
- BLAS, 253

- block, 158
- block-partitioned algorithms, 248
- blokady, 404, 405, 423
  - rogatkowa, 376
  - wątki, 375
- blokowanie, 413
  - wątki, 372
  - zasoby, 372
- błędy wyczerpania pamięci, 277
- BMP, 89
- BNF, 81
- boundary testing, 106
- bramki, 416
- branch, 140
- branch if less than, 142
- branching, 140
- brush, 128
- BT Trade, 364
- bufor wpisywania, 515
- buforowanie, 91
- Business Template, 364
- bycie podręcznikowym, 547

## C

- C#, 131
- CA, 180
- Carry Save Adder, 171
- CAS, 412
- cd9660\_read(), 299
- cele ERP, 358
- cele projektowe, 185
- CERN, 272
  - algorytmy, 273
- Certification Authority, 180
- CGI, 237
- chaining, 249
- Character, 82
  - isDigit(), 82, 83
  - isLetterOrDigit(), 82, 83
- checkXMLName(), 82, 83, 86
- CIP, 337
- CIP Middleware Monitor Utility, 352
- cmaild, 188
- CMF, 357, 358, 360
- CMF Types, 360
- Collaborative Information Portal, 337, 338
- Commercial off-the-shell, 340
- Common Lisp, 425
- commoning, 172
- Compare-And-Swap, 412
- constant, 155
- container\_of(), 289
- Content Management Framework, 358
- cookie, 238

- core dump, 378
- corner cases, 112
- COTS, 340
- CPAN, 184
- CreateProcess(), 464
- Crypt::PGP5, 189
- Cryptonite, 178, 182
  - audyt modułu Crypt::GPG, 197
  - bezpieczne przysyłanie wiadomości, 180
  - cele projektowe, 185
  - cmaild, 188
  - Crypt::GPG, 191
  - Crypt::PGP, 190
  - Cryptonite::Mail::Config, 196
  - Cryptonite::Mail::Service, 196
  - DBD::Replication, 192
  - decyzje, 185
  - deszyfracja, 192
  - działający prototyp, 189
  - Edit Key, 194
  - folder cieni, 192
  - IMAP, 192
  - IPC::Run, 198
  - Mail::Cclient, 201
  - Mail::Folder, 192
  - Mail::Folder::Shadow, 192, 200
  - Mail::Folder::SQL, 192
  - mbox, 189
  - OpenPGP, 198
  - Params::Validate, 196
  - Persistence::Database::SQL, 190
  - Persistence::Object::Postgres, 190, 191
  - Persistence::Object::Simple, 190, 191
  - początkowy projekt systemu, 186
  - poczta odbierana, 189
  - projekt systemu, 186
  - prywatność komunikacji, 202
  - przechowywanie wiadomości e-mail, 191
  - przejście od prototypu do skalowalnego produktu, 190
  - reorganizacja kontenera wiadomości, 191
  - Replication::Recall, 192, 201
  - replikacja wiadomości e-mail, 192
  - serializacja, 187
  - szybkość działania, 201
  - trwałość deszyfracji, 192
  - uwierzytelnienie z kluczem, 180
  - użyteczność, 181
  - zabezpieczanie kodu, 195
  - zarządzanie kluczami, 194
  - zestaw testów, 188
- Cryptonite Mail Daemon, 188
- Cryptonite::Mail::Service, 186
- CSA, 171
- cyberpunk, 202
- cyfrowe filtry obrazu, 132

- cykl życia grup procesów, 465
- czas trwania testów, 118
- czynniki sumujący, 56
- czytanie programów, 495
- czytelność kodu, 114, 309
- czytniki kanałów, 540

## D

- dane, 125
- dane z pamiętnika sieciowego, 62
- data display debugger, 482
- DAXPY, 254
- DBD::SQLite, 189
- DBI, 189
- DCOM, 391
- dd(), 488
- ddchange, 493
- ddd, 482
- debuger, 482
  - ddd, 482
- debugowanie, 378, 481
  - automatyczne wyszukiwanie przyczyny awarii, 486
  - dd(), 488
  - ddd, 482
  - debuger, 482, 485
  - efektywność, 481
  - gdb, 482
  - hipoteza przyczyny awarii, 484
  - in situ, 378
  - metoda naukowa, 483
  - odtworzenie awarii, 490
  - poawaryjne, 378
  - post mortem, 378
  - przewidywania, 484
  - systematyczny proces, 483
  - wyszukiwanie przyczyn, 483
  - zasady, 484
- debugowanie delta, 488
  - ddchange, 493
  - minimalizacja wejścia, 490
  - porównanie stanów programu, 491
  - problem prototypu, 493
  - różnice między dwoma stanami, 491
  - stan programu, 491
  - wyszukiwanie przyczyn w danych wejściowych, 490
- DECTalk, 522
- DECTalk Express, 522
- definiowanie interfejsu usługi, 471
- dekompozycja LU, 248, 280
- delta debugging, 488
- delta editor, 29
- demarshalling, 391
- demultipleksacja, 307
- dentry, 294

- depot, 374
- deskryptor tablicy, 263
- deszyfracja, 192
- devfs, 286
- device, 286, 291
- DGEFA, 252, 254
- DGEMM, 257
- DGETF2, 257, 258
- DGETRF, 255
- dialog z użytkownikiem przez internet, 237
- dictionary, 67
- DiffMerge, 546, 547, 550, 552
- digital filters, 132
- długie kliknięcie, 507
- długość wierszy tekstu, 547
- DNA, 206
- dobry projekt, 29
- Document, 86
- document-centric, 357
- dodawanie funkcji poprzez usuwanie kodu, 47
- dokumenty
  - XHTML, 91
  - XML, 79, 479
- DOM, 479
- Domain Specific Language, 498
- doPost(), 472
- dostarczanie informacji, 61
- dostęp do informacji online, 534
- do-while, 23
- DRY, 497
- DSCAL, 254
- DTRSM, 257
- Duff's Device, 29
- DynamicMethod, 139, 146
- dynamiczna rekonfiguracja, 354
- dynamiczne obiekty, 149
- dynamiczne wybieranie funkcji przechowującej, 315
- dynamiczne zasiedlanie drzewa, 510
- działający prototyp, 189
- dziedziczenie priorytetów, 373
- dziedziczenie prototypowe, 149
- dział i zwięźaż, 48, 164, 283
  - liczanie bitów w stanie wysokim, 165
- dziennik transakcji, 412
- dźwiękowe środowisko pracy, 521
  - Emacspeak, 521
  - wyjście mówione, 522

## E

- ed, 20
- EDEADLK, 382
- edytor delty, 29, 41
  - interfejs, 35
- efekty uboczne, 407, 409

- efektywność debugowania, 481
- egrep, 20
- EJB, 341, 344
- eksponowanie obiektów OpenPGP, 182
- ekspresywna notacja obiektowa, 148
- ekstremalne przypadki testowe, 112
- elastyczność kodu, 499
- elegancki kod, 48
- element, 359
- eliminacja Gaussa, 247
  - analiza błędów, 267
  - DGETRF, 255
  - faktoryzacja dla wykonywania wielowątkowego, 265
  - język MATLAB, 251
  - LAPACK, 256
  - liczba operacji, 267
  - LINPACK, 253
  - metoda dekompozycyjna, 250
  - PBLAS, 263
  - rekursywna dekompozycja LU, 257
  - ScaLAPACK, 260, 261
- eliminacja niepotrzebnych transferów danych przez sieć, 29
- eLocutor, 501
  - asymetria w przepływie danych, 503
  - bufor wpisywania, 515
  - Common Words, 514
  - częste słowa, 514
  - długie kliknięcie, 507
  - drzewo, 506
  - dynamiczne zasiedlanie drzewa, 510
  - edycja, 515
  - Favorites, 514
  - grupowanie słów, 504
  - implementacja pamięci podręcznej, 513
  - interfejs wejściowy, 505
  - makra, 517
  - model projektu, 502
  - następne słowo, 511
  - Next Word, 511
  - pamięć podręczna, 513
  - pobieranie, 518
  - proste wpisywanie, 511
  - przewidywanie, 511
  - przewijanie, 515
  - Replace, 512
  - schowek, 517
  - szablony, 512
  - śledzenie ścieżek, 515
  - Templates, 512
  - TreeView, 506
  - układ ekranu, 503
  - ulubione, 514
  - uzupełnianie słów, 511
  - wejście binarne, 506
  - Word Completion, 511

- wydajność interfejsu użytkownika, 518
- wyszukiwanie, 517
- zastępowanie, 512
- Emacs Calendar, 532
- Emacs W3, 535
- Emacspeak, 521
  - advice, 524
  - Aural CSS, 529
  - czytnik kanałów, 540
  - dostęp do informacji online, 534
  - emacspeak-auditory-icon, 532
  - emacspeak-calendar, 533
  - emacspeak-calendar-speak-date, 533, 534
  - emacspeak-minibuffer-setup-hook, 531
  - emacspeak-speak-line, 524
  - emacspeak-url-template, 539
  - emacspeak-w3-extract-table-by-match, 537
  - emacspeak-websearch, 535, 536, 539
  - formatowane dźwięku, 526
  - formatowanie wyjścia dźwiękowego na podstawie
    - śluchowych list wyświetlania, 528
  - generowanie bogatego wyjścia mówionego, 525
  - gramatyka zawartości bufora, 525
  - ikony dźwiękowe, 530
  - implementacja, 523
  - internetowy wiersz poleceń, 539
  - kalendarz, 532
  - minibuffer-setup-hook, 531
  - odtwarzanie ikon dźwiękowych podczas wypowiedzania
    - zawartości, 532
  - personality, 527
  - put-text-property, 526
  - RSS, 540
  - semantyka zależna od kontekstu, 532
  - serwer mowy, 522
  - stylizowanie wyjścia mówionego, 529
  - szablony URL, 539
  - tts-format-text-and-speak, 528, 529
  - tts-speak, 528
  - tworzenie dźwiękowych list wyświetlania, 526
  - voice-lock, 526
  - włączanie mowy w Emacsie, 523
  - wyszukiwanie zorientowane na zadania, 535
- emacspeak-auditory-icon, 532
- emacspeak-calendar, 533
- emacspeak-calendar-speak-date, 533, 534
- emacspeak-minibuffer-setup-hook, 531
- emacspeak-url-template, 539
- emacspeak-w3-extract-table-by-match, 537
- emacspeak-websearch, 535, 536, 539
- emacspeak-websearch-yahoo-map-directions-get-locations, 537
- embedded systems, 293
- Enterprise, 293
- Enterprise JavaBeans, 341

- Enterprise Resource Planning, 357
- EP5 RAD, 366
- ERP5, 357, 358
  - arkusze właściwości, 361
  - BT Trade, 364
  - CMF, 357, 358, 360
  - CMF Types, 360
  - DCWorkflow, 358
  - egzemplarz zasobu, 359
  - element, 359
  - GUI, 366
  - implementacja zachowania zadań, 367
  - Item, 359
  - kategorie podstawowe, 363
  - Movement, 359
  - Node, 359
  - obieg Task, 367
  - obieg Task Report, 369
  - Path, 359
  - pisanie kodu, 365
  - Portal, 362
  - przemieszczenie, 359
  - Resource, 359
  - szablon biznesowy, 364
  - ścieżka, 359
  - Task, 367
  - UBM, 359
  - węzeł, 359
  - XML, 358
  - założenia projektu, 364
  - zasób, 359
  - ZODB, 358, 359
  - Zope, 360
  - ZPT, 358
  - zunifikowany model biznesowy, 359
- ERP5 Project, 364
- eseje, 495
- evaluation stack, 139
- ewoluowanie kodu wraz ze sprzętem, 247
- Exclusive-OR, 129
- exec\*(), 464
- executeQuery(), 477
- expression, 152
- eXtreme Programming, 110

## F

- fabryka, 473
- faktoryzacja
  - LU, 279
  - panelowa, 265
- falszywe zakleszczenie, 382
- fasada, 448, 454
  - ACE, 455
- features, 208
- ffs, 300

- fgrep, 20
- file baton, 41
- FilterMethodCS(), 134, 135, 137, 146
- FilterMethodTL(), 134, 138, 145, 146
- filtry, 242
  - grafika cyfrowa, 132
  - wyostrzające, 133
- FIT, 95
- fixture, 96
- Fixture, 99
- folder cieni, 192
- fork(), 464
- forkIO(), 408
- format XML, 358
- formatowane dźwięku, 526
- formaty wpisów dziennika, 450
- Fortran, 252
- fragmentowanie, 321
- Framework for Integrated Test, 95
  - ActionFixture, 97
  - architektura, 98
  - dokumenty, 96
  - fixture, 96
  - Fixture, 97, 99
  - otwarte środowisko, 99
  - Parse, 97
  - parser HTML, 100
  - projektowanie środowiska, 98
  - przetwarzanie kodu HTML, 100
  - rdzeń, 97
  - testy, 96
  - TypeAdapter, 97
- frameworki, 448, 452
- free(), 318
- FreeBSD, 307
- funkcja partycjonująca, 398
- funkcje, 160, 245
- funkcjonalność interfejsu użytkownika, 182

## G

- gałęzie wydań DiffMerge, 552
- Gate, 416
- GBrowse, 229
- GD, 230
- gdb, 482
- Gene Sorter, 235
  - advFilter, 242
  - filterControls, 242
  - filtry, 242
  - interfejs użytkownika, 236
  - podtrzymywanie dialogu z użytkownikiem przez internet, 237
  - polimorfizm, 239
  - teoria pięknego kodu, 243

- generator XML, 479
- generowanie
  - bogate wyjście mówione, 525
  - kod do przetwarzania obrazów, 125
  - kod w locie, 126
- Genes, 209
- genom, 206
- getResponseXML(), 479
- gęstość własności, 209
- GHC, 421
- Glasgow Haskell Compiler, 421
- głęboko wcięty kod, 548
- gniazda, 447
- GNU debugger, 482
- Google, 75, 76
- Google Maps, 537, 538
- goto, 140
- graficzny interfejs użytkownika, 503
- grafika, 209
  - SVG, 230
- gramatyka BNF, 81, 83
- Grand Unified Debugger Emacs, 532
- grep, 20, 393
- grupowanie słów, 504
- GUI, 366
- gwarancje kolejności, 399

## H

- haker, 202
- Hash, 67
- hash table, 67
- hash(), 399
- HashMap, 67
- Haskell, 404, 406, 422
  - akcje, 407, 409, 422
  - atomically act, 410
  - efekty uboczne, 407, 409
  - forkIO(), 408
  - kompilacja programu, 421
  - operacje STM, 414
  - pamięć transakcyjna, 423
  - STM, 410
  - struktury sterujące, definiowane przez użytkownika, 409
  - transakcje, 410
  - uruchamianie programu, 421
  - wątki, 408
  - wejście-wyjście, 407
- Heap Sort, 49
- Hello World, 496
- heurystyka paskowa, 58
- higieniczne rozszerzanie makr, 427
- hook methods, 453
- hot swapping, 355

HotkeyAdaptor, 474  
HotkeyAdaptorFactory, 474  
HTML, 100  
HttpClient, 475

## I

IDAMAX, 254  
IDE, 185, 497  
idealny podział, 56  
identyfikator URI, 92  
IETF, 180  
if-else, 140  
if-then-else, 548  
ikony dźwiękowe, 530  
IL Disassembler, 135, 137  
ILGenerator, 139, 146  
ILP, 174  
image filters, 132  
ImageClip, 134  
ImageFilter, 135, 138  
IMAP, 192, 199  
imitacja gramatyki BNF O(N), 83  
implementacja, 386  
    kod, 272  
    pamięć podręczna, 513  
    pamięć transakcyjna, 412  
    rozproszony MapReduce, 394  
    sekwencyjny serwer rejestrowania, 457  
    słownik, 311  
    Święty Mikołaj, 420  
    wyszukiwanie binarne, 109  
infix, 153, 156  
infixr, 155  
informacje pośrednie, 323  
informacyjny RNA, 236  
information retrieval, 76  
informowanie o postępie, 29  
infrastruktura klucza publicznego, 180, 203  
infrastruktura warstwy pośredniczącej, 448  
inode, 294  
Instruction-Level Parallelism, 174  
instrukcje, 157  
    rozgałęziające, 140  
integracja partnerów biznesowych, 469  
interakcja dewelopera z modulem, 210  
interaktywne aplikacje sieciowe, 209  
interfejs, 29  
interfejs edytora delty, 35  
interfejs usługi systemu zaplecza, 472  
interfejs wejściowy, 505  
internetowy wiersz poleceń, 539  
inventor's paradox, 51  
inwersja priorytetów, 373  
IPC, 449, 450, 454

IPC::Run, 198  
ISO X.509, 180  
isXMLCombiningChar(), 83  
isXMLExtender(), 83  
isXMLLetter(), 83  
isXMLNameCharacter(), 83  
isXMLNameStartCharacter(), 83  
Item, 359  
iteracyjny serwer rejestrowania, 457  
Iterative\_Logging\_Server, 457, 461  
iterator NumPy, 324, 335  
iteratory, 323

## J

J2EE, 340  
Java, 26  
Java(), 26  
JavaMail, 98  
JavaScript, 148  
jądro  
    Linux, 285  
    Solaris, 372  
JDOM, 79, 80, 84  
JDOM 1.0, 85  
język  
    BioPerl, 205  
    funkcyjny, 409, 422  
    Haskell, 404, 422  
    imperatywny, 422  
    Java, 26  
    JavaScript, 148  
    konkretnej domeny, 305  
    LISP, 148  
    MATLAB, 251  
    Python, 311  
    Rexx, 498  
    Ruby, 64, 497  
    TCL, 522  
    XML, 80  
JIT, 79, 132  
JPL, 338  
JSON, 149  
jump, 140  
JUnit, 109, 120  
    asercje, 120  
    dokumentacja, 110  
Just-In-Time compiler, 132  
Jython, 315

## K

kanały RSS, 540  
Key Ring, 183  
KFFD, 428, 445

- Kleene, Stephen, 19
- klient mowy Emacspeak, 523
- klient poczty e-mail, 184
- klient-serwer, 522
- klucz, 66
- kobject, 291
- kod, 125, 305, 496
  - generowanie w locie, 126
  - XML, 79
  - zarządzany, 131
- kolejność wykonywania operatorów, 147
  - funkcje, 160
  - instrukcje, 157
  - JavaScript, 148
  - literały obiektowe, 161
  - literały tablicowe, 161
  - operator trójargumentowy, 153
  - operatory przedrostkowe, 154
  - operatory przypisania, 155
  - operatory wrostkowe, 152
  - podejmowanie decyzji, 151
  - stałe, 155
  - tablica symboli, 149
  - technika parsowania, 147
  - technika Pratta, 148
  - tokeny, 150
  - zakres, 156
- kolizje, 316
- komentarze, 549
- kompilacja, 26
- kompilatory, 492
  - język C#, 131
  - JIT, 79, 132, 139
- komponenty EJB, 344
- komunikacja, 177
  - między procesami, 449
- konstruktor danych MkGate, 417
- konstrukty pętli, 425
- konstrukty warunkowe, 425
- konta bankowe, 404
  - blokad, 404
  - zmienne warunkowe, 404
- kontrola wersji, 30
- konwencje pisanie kodu, 546
- konwersja niedeterministycznego automatu skończonego na automat deterministyczny, 25
- kopia robocza, 34
- kopiowanie binarnej tablicy wyszukiwania, 89
- kref, 292
- kref\_put(), 292
- krótki kod, 279
- kryptografia, 202
- kryptografia z kluczem publicznym, 180
- Księga, 557

## L

- LAPACK, 248, 256, 272
- left denotation, 151
- Level-1 BLAS, 253
- lex, 306
- liczba operacji, 267
- licznik referencji, 293
- LINPACK, 248, 252, 253, 255
- Linux, 285
- Lisp, 541
- LISP, 148
- list comprehension, 419
- lista, 318
- listy składane, 419
- literały
  - obektowe, 149, 161
  - tablicowe, 149, 161
- Logging\_Server, 450
- lokalność, 398
- lookdict(), 319
- lookdict\_string(), 319
- losowanie, 115
- ludzki genom, 235
- luźne powiązania, 342

## Ł

- ładowanie
  - binarne tablice wyszukiwania, 90
  - wielkie tablice asocjacyjne, 71
- łańcuch blokowań, 374
- łatwość użycia, 179
- łączenie operacji w łańcuchach, 249

## M

- m4, 425
- macierz
  - gęsta, 247
  - rzadka, 247
- magazines, 374
- magazyn, 374
- Mail::Cclient, 201
- Mail::Folder::Shadow, 192, 200
- Mail::Folder::SQL, 192
- Mail::IMAPClient, 201
- MailVault beta 2, 178
- make, 498
- makra, 425, 517
- makroprocesor m4, 425
- malloc(), 318
- małe fragmenty kodu, 59



- małe systemy wbudowane, 293
- małe, luźno połączone obiekty, 294
- Map(), 392, 395
- MAPICS, 470, 477
- Maple, 67
- mapowanie, 313
- MapReduce, 389, 392
  - funkcja partycjonująca, 398
  - gwarancje kolejności, 399
  - implementacja, 394
  - kopia robocza, 396
  - lokalność, 398
  - Map(), 392, 395
  - model programistyczny, 392
  - odporność na błędy, 397
  - odwrócony graf odnośników internetowych, 393
  - odwrócony indeks, 394
  - pomijanie złych rekordów, 399
  - program główny, 396
  - przepustowość sieci, 398
  - Reduce(), 392
  - relacje między procesami, 396
  - rozproszone grep, 393
  - rozproszone sortowanie, 394
  - rozszerzenia modelu, 398
  - wektor terminów dla hosta, 394
  - wyważenie obciążenia, 397
  - zadania rezerwowe, 398
- Mars Exploration Rover, 337, 338
  - architektura CIP, 341
  - architektura systemu, 340
  - architektura usługi strumieniowej, 344
  - CIP Middleware Monitor Utility, 352
  - Collaborative Information Portal, 338
  - doFileDownload(), 348
  - dynamiczna rekonfiguracja, 354
  - funkcjonalność, 343
  - getDataFile(), 350
  - Jet Propulsion Laboratory, 338
  - monitorowanie, 352
  - niezawodność, 343, 346
  - przesyłanie plików, 346
  - readDataBlock(), 348, 351
  - registerNewReader(), 349
  - rejestrwanie, 347, 352
  - removeReader(), 349
  - SOA, 341
  - solidność, 353
  - StreamerServiceBean, 347
  - usługa strumieniowa, 343
  - usługi, 341
  - warstwa kliencka, 340
  - wymagania misji, 339
  - wymiana podczas pracy, 355
  - zarządzanie czasem, 339
  - zarządzanie danymi, 340, 343
  - zarządzanie personelem, 340
- marshalling, 391
- match(), 22
- Matcher, 26
- matchhere(), 23, 24
- matchstar(), 23, 24
- MATLAB, 251
- mbox, 189
- meandry, 565
- MER, 338
- Merge Sort, 49
- messenger RNA, 236
- metaznaki, 19
- metoda dekompozycyjna, 250
- metoda szablonu, 448, 453
- metody abstrakcyjne, 453
- metody zsynchronizowane, 404
- metodyki Agile, 110
- Microsoft .NET Framework, 131
- miejsca DNA, 224
- MIMD, 260
- MIME, 191
- minibuffer-setup-hook, 531
- minimalizacja wejścia, 490
- MkGate, 417
- MLB, 539
- model sterowników jądra systemu Linux, 285
- model współbieżności, 450
- modularność, 342, 423
- modyfikowalne zmienne, 408
- monitorowanie, 352
- mostkowanie, 172
- Movement, 359
- mRNA, 236
- Multiple Instruction Multiple Data, 260
- multipleksacja, 307
- mutable, 408
- mutex, 372
- mutex\_vector\_exit(), 383

## N

- następne słowo, 511
- National Public Radio, 539
- nawiasofobia, 558
- nawracanie, 25
- Neomailbox, 199
- Next Word, 511
- NFS, 303
- nierówność trójkąta, 563
- nieustanne testowanie, 485
- niezależność od formatu graficznego, 209
- niezależność od języka, 342
- niezależność od schematów baz danych, 210

- niezawodność, 343, 346
- Node, 359
- notacja
  - # {}, 68
  - Backusa-Naura, 81
- nowy SMP, 268
- NPR, 539
- ntz(), 175
- null denotation, 151
- null\_bypass, 302, 303
- nullfs, 302
- NullPointerException, 112
- NUMA, 395
- numer wersji, 30
- NumPy, 321
  - fragmentowanie, 321
  - generator liczb losowych, 335
  - implementacja rozgłaszania, 327
  - interfejs iteratora, 331
  - iteracja przez wszystkie wymiary oprócz jednego, 332
  - iteracje, 323
  - iteratory, 324
  - modele pamięci, 323
  - obiekt multi-iteratora, 334
  - operacje, 322
  - projekt iteratora, 325
  - przerwanie iteratora, 326
  - PyArray\_IterAllButAxis(), 333
  - PyArrayIterObject, 330
  - rozgłaszanie, 334
  - rozwój iteratora, 325
  - struktura iteratora, 329
  - śledzenie licznika iteratora, 328
  - tablice nieciągłe, 323
  - ustawianie iteratora, 327
  - wiele iteracji, 333
  - wykorzystanie iteratora, 332
- N-wymiarowe tablice, 321
  - iteratory, 323
  - modele pamięci, 323
  - operacje, 322

## O

- obciążenie, 386
- obiekt fixture, 96
- objektowy framework dla oprogramowania sieciowego, 447
- obiekty generyczne, 148
- Object Oriented, 449
- obliczanie powierzchni, 567
- obsługa obrazów nadających się do publikacji, 230
- odporność na błędy, 397
- odstęp Hamminga, 175
- odtwarzanie ikon dźwiękowych podczas wypowiadania zawartości, 532
- odtworzenie awarii, 490

- odwrócony graf odnośników internetowych, 393
- odwrócony indeks, 394
- ogólna teoria pięknego kodu, 243
- OO, 449
- opakowanie, 431
- opcje dynamiczne, 224
- OpCodes, 139
- OpenPGP, 178, 180, 198
- OpenPGP/MIME, 192
- operacje
  - rastrowe, 127
  - wektor-wektor, 249
- operator, 147
  - przedrostkowe, 154
  - przypisanie, 155
  - wrostkowe, 152
  - wsteczny cudzysłów, 198
- oprogramowanie, 371
  - objektowe, 449
  - wielokrotnego użytku dla aplikacji sieciowych, 447
- oprogramowanie sieciowe, 447
  - ACE, 448
  - API, 447
  - architektura wielokrotnego użytku, 448
  - biblioteki Javy dla programowania sieciowego, 448
  - frameworki, 448
  - gniazda, 447
  - projekt obiektowy, 448
  - trudności przypadkowe, 447
  - usługa rejestrowania, 449
  - wątki, 447
  - Windows, 447
  - wzorce, 448
- optymalizacja, 69, 277
- optymistyczne wykonanie, 412
- organ certyfikacji, 180
- orzeczenia, 76
- oszczędności, 280
- otwarta natura problemu, 208
- otwarte środowisko, 99

## P

- PageRank, 77
- pakiet wyrażeń regularnych, 21
- pamięć
  - asocjacyjna, 66
  - dynamiczna, 277
  - podręczna, 504, 513
  - skojarzeniowa, 66
  - współdzielona, 403, 449
- pamięć transakcyjna, 406, 423
  - implementacja, 412
- pamiętnik sieciowy, 62
- panel factorization, 265

- panika jądra, 382
- paradoks wynalazcy, 51
- Params::Validate, 196
- parasitic DNA, 206
- Parse, 101, 102
- parser, 80
  - HTML, 100
  - XML, 80, 86
- parsowanie, 147, 440
  - XML, 476
- partycjonowany magazyn, 390
- partycjonowany procesy, 391
- Path, 359
- pattern, 128
- Pattern, 26
- PBLAS, 263
- PDGETRF, 260
- PDSxa, 129
- Perl, 20, 184
- Persistence::Object::Module, 189
- pęk kluczy, 183
- pętle, 23, 425
- PGP, 181, 189
- PGPSDK, 189
- piękna współbieżność, 403
- piękne debugowanie, 481
- piękne testy, 105
- piękno oszczędności, 280
- piękno prostoty, 279
- piękno przepływu sterowania, 283
- piękno wewnętrzne, 278
- piękno zwięzłości, 279
- piękny kod, 271, 279, 495, 497
- piękny projekt, 271
- PKI, 180, 203
- platforma uruchomieniowa .NET, 132
- platforma Zope, 360
- pliki
  - cookie, 238
  - źródłowe, 550
- poczta e-mail, 98
- podejście zorientowane na dokumenty, 357
- pod-podwłasności, 208
- podtrzymywanie dialogu z użytkownikiem
  - przez internet, 237
- podwłasności, 208
- podział systemu plików na warstwy, 300, 303
- polimorfizm, 239
- pool, 35
- poprawność oprogramowania, 371
- population count, 163, 175
- porównywanie liczby ustawionych bitów
  - w dwóch słowach, 169
- portal, 357
- Portal, 362
- poruszanie się po kodzie, 549
- POSIX, 464
- post mortem, 378
- posting, 76
- pośredniość, 297
  - czytelność kodu, 309
- powielacz binarny, 171
- powierzchnia, 567
- powiększanie semantyczne, 225
- powtórne wykonanie, 412
- PPC\_Logging\_Server, 466
- prefix, 156, 161
- prezentacja różnic pomiędzy drzewami, 34
- problemy
  - inwersja priorytetów, 373
  - macierze gęste, 247
  - prototyp, 493
  - Święty Mikołaj, 414
  - współliniowość, 559
- procedury sterujące, 279
- proces-dla-połączenia, 464
- procesor wektorowy, 249
- Process, 465
- Process\_Manager, 465
- Process\_Options, 465
- procesy, 464
- program sekwencyjny, 408
- programowanie, 20, 243
  - dynamiczne, 52
  - ekstremalne, 110
  - modularne, 406
  - rozproszone, 389
  - sieciowe, 448
  - wspomagane przez testy, 111
- projekt, 271
  - RAD, 519
  - system, 186
- projektowanie, 185
  - maksymalna giętkość, 357
  - sposób interakcji dewelopera z modulem, 210
  - środowisko, 98
  - weryfikatory XML, 79
  - wydajne algorytmy algebry liniowej, 248
- proste rozwiązania, 29
- prostota, 279, 498
- protokoły
  - e-biznesowe, 475
  - IETF, 180
  - NFS, 303
- prototyp, 179, 189
- Prywatność komunikacji, 202
- przechowywanie informacji, 61
  - informacje pośrednie, 323
- przechwycenie odwołania do zmiennej, 426
- przejście od prototypu do skalowalnego produktu, 190

- przemieszczenie, 359
- przenośne fasady, 465
- przenośny język asemblacji, 306
- przepływ sterowania, 283
- przesyłanie
  - dokumenty XML, 471
  - wiadomości, 180
- przeszukiwanie
  - sieć, 76
  - tablica, 87
- przetwarzanie
  - kod HTML, 100
  - opcje, 218
- przewyciężanie wcięć, 549
- przykładowe programy, 278
- przypadki specjalne, 315
- przypadki testowe, 112
- przyspieszania obliczeń, 390
- przyswajanie zmienności, 453
- pthread\_mutex\_lock(), 382
- ptys, 197
- Public Key Infrastructure, 180
- put\_device(), 291
- PyArray\_ITER\_DATA(), 331
- PyArray\_ITER\_NEXT(), 331
- PyArray\_ITER\_NOTDONE(), 331
- PyArray\_IterAllButAxis(), 333
- PyArray\_IterNew(), 331
- PyArrayIterObject, 330
- PyDict\_SetItem(), 319
- PyDictionary, 315
- PyDictObject, 313, 315
- PyStringMap, 315
- Python, 67, 311

## Q

- QED, 19
- Quicksort, 47
  - ewolucja programu, 54
  - idealny podział, 56
  - paradoks wynalazcy, 51
  - programowanie dynamiczne, 52
  - przeniesienie inkrementacji na zewnątrz pętli, 50
  - symetria, 53
  - technika Knutha, 55
  - zliczanie porównań, 50
- quicksort(), 48

## R

- RAD, 519
- rake, 498
- Rake, 498

- Rakefile, 498
- raster operation, 127
- RE, 26
- RE\_match(), 26
- RE\_new(), 26
- Reactive\_Logging\_Server, 459, 461
- read(), 298
- reaktywny serwer rejestrowania, 458
- Reduce(), 392
- regexps, 63
- rejestrowanie, 347, 352
- rekurencja, 23, 25, 323
- rekursywna dekompozycja LU, 257
- rekursywna faktoryzacja LU, 258, 259
- relacyjna baza danych, 504
- reorganizacja kontenera wiadomości, 191
- replikacja wiadomości e-mail, 192
- repozytorium, 30
- REST, 469, 470
  - definiowanie interfejsu usługi, 471
  - przekazywanie usługi za pomocą wzorca fabryki, 473
- revision number, 30
- Rexx, 498
- RISC, 79, 164, 249
- RNA, 206
- rogatka, 372
- Rosettanet, 475
- Rosettanet E-Businness, 469
- rozgałęzienia, 140
  - bezwarunkowe, 140
- rozkład
  - LAPACK, 256
  - LU, 256
- rozmiar tablicy mieszającej słownika, 317
- rozproszenie danych, 391
- rozproszone sortowanie, 394
- rozszerzanie, 25
  - Emacs o tworzenie dźwiękowych list wyświetlania, 526
- rozwój funkcjonalności interfejsu użytkownika, 182
- równania matematyczne, 271
- równoległy program zliczający występowanie słowa, 390
- równoległy system, 377
- równowaga kodu, 499
- różnica liczb ustawionych bitów w dwóch słowach, 169
- RPG, 477
- RSS, 540
- RTF, 102
- Ruby, 64, 497

## S

- S/MIME, 180
- samolubny DNA, 206
- SAX, 86
- SAXBuilder, 86

ScaLAPACK, 248, 260, 261, 264  
 Scheme, 426  
 schowek, 517  
 Secure Shell, 202  
 Secure Sockets Layer, 202  
 sekwencje DNA, 206  
 sekwencyjny serwer rejestrowania, 457  
 semantic zooming, 225  
 semantyka zależna od kontekstu, 532  
 serializacja, 187  
 Service, 187  
 Service Oriented Architecture, 340  
 Servlet, 472  
 serwer IMAP, 192  
 Session, 99  
 SGBSV, 273, 276, 279  
 SGBTRF, 279, 280  
 SGBTRS, 279  
 Shadow Folder, 192  
 shards, 77  
 sideways sum, 163  
 sieciowa usługa rejestrowania, 449
 

- Accepter, 455
- ACE, 454
- architektura, 449
- cechy wspólne, 452
- fasada, 454
- formaty wpisów dziennika, 450
- framework, 452
- główna pętla serwera, 453
- implementacja sekwencyjnych serwerów rejestrowania, 457
- implementacja współbieżnych serwerów rejestrowania, 461
- IPC, 450, 454
- iteracyjny serwer rejestrowania, 457
- Iterative\_Logging\_Server, 457, 461
- kommunikacja między procesami, 449
- Logging\_Server, 450, 455
- metoda szablonu, 453
- model współbieżności, 450
- Mutex, 455
- PPC\_Logging\_Server, 466
- Process, 465
- projekt obiektowego frameworku serwera, 450
- przyswajanie zmienności, 453
- Reactive\_Logging\_Server, 459, 461
- reaktywny serwer rejestrowania, 458
- serwer, 450
- serwer rejestrowania w technologii
  - proces-dla-połączenia, 464
- serwer rejestrowania w technologii
  - wątek-dla-połączenia, 462
- strategie blokowania, 450
- synchroniczny demultiplekser zdarzeń, 460
- Thread\_Args, 463
- TPC\_Logging\_Server, 462, 464
- współbieżny serwer rejestrowania, 461, 467
- wzorce, 450
- zorientowany obiektowo projekt frameworku serwera, 451

sieć VPN, 180  
 sieć zaufania, 180  
 SIMD, 166, 260, 266  
 Simple Object Access Protocol, 470  
 Single Instruction Multiple Data, 260  
 skalowalność, 343
 

- kod, 277

skalowanie do tysięcy urządzeń, 293  
 skanowanie wierszy danych tekstowych, 70  
 składanie odpowiedzi XML, 479  
 składnia, 425  
 składy, 374  
 skrypty CGI, 237  
 słownik, 67, 311
 

- \_\_builtin\_\_, 312
- adresowanie otwarte, 316
- dynamiczne wybieranie funkcji przechowującej, 315
- implementacja w C, 315
- implementacja w Javie, 315
- implementacja w Pythonie, 312
- items(), 318
- iteracje, 318
- keys(), 318
- klucze, 312
- kolizje, 316
- lista, 318
- lookdict(), 319
- lookdict\_string(), 319
- ma\_fill, 313
- ma\_mask, 314
- ma\_table, 314
- ma\_used, 313
- mapowanie, 313
- określanie nowego rozmiaru tablic, 317
- operacje, 311
- optymalizacja dla małych haszy, 315
- pobieranie kluczy, 312
- PyDictionary, 315
- PyDictObject, 313, 315
- PyStringMap, 315
- Python, 312
- rozmiar tablicy mieszającej, 317
- tworzenie przypadków specjalnych, 315
- usuwanie klucza, 318
- values(), 318
- wartości, 312
- zmiana rozmiaru tablicy, 317
- zmiany dynamiczne, 318

- smoke testing, 106
- SMP, 249
- SOA, 340, 341
- SOAP, 187, 470, 471
- SOBJ\_TYPE(), 380
- sockets, 447
- Software Transactional Memory, 403
- Solaris, 372
- solidność, 353
- sort, 68
- sort\_by\_value, 68
- sortowanie, 70, 394
- sprawdzanie
  - nazwy XML, 81
  - poprawność kodu, 305
- sprzętowy syntezytor mowy, 522
- SQL, 192
- SSH, 202
- SSL, 202, 449
- stałe, 155
- stan programu, 491, 492
- standard Rosettanet, 475, 476
- standardy, 342
- statement, 158
- statements, 158
- std, 157
- sterowniki jądra systemu Linux, 285
  - container\_of(), 289
  - dentry, 294
  - devfs, 286
  - device, 286, 291
  - inode, 294
  - kobject, 291
  - kref, 292
  - kref\_put(), 292
  - licznik referencji, 293
  - programy wielowątkowe, 290
  - put\_device(), 291
  - rdzeń sterownika, 288
  - skalowanie do tysięcy urządzeń, 293
  - sysfs, 287
  - urządzenia, 285
  - usb\_interface, 288, 289
  - zliczanie referencji, 290, 292
- STM, 403, 410
  - blokowanie, 413
  - operacje, 414
  - pamięć transakcyjna, 406
  - problem Świętego Mikołaja, 414
  - wybór, 413
- stmt, 158
- Store, 99
- stos ewaluacyjny, 139
- strategie
  - blokowanie, 450
  - dziel i zwyciężaj, 164
- StreamerServiceBean, 347
- StretchBlt, 126, 128
- String.charAt(), 26
- String.substring(), 26
- StringBuffer, 479
- strip heuristic, 58
- stronicowanie pamięci RAM, 277
- struktury sterujące, definiowane przez użytkownika, 409
- stylizowanie wyjścia mówionego, 529
- subfeatures, 208
- sub-subfeatures, 208
- Subversion, 29
  - apply\_textdelta(), 41
  - baton, 36
  - drzewo katalogów, 32
  - edycja delty drzewa, 43
  - edytor delty, 29, 41
  - file baton, 41
  - interfejs edytora delty, 35
  - interfejsy, 34
  - klient-serwer, 34
  - kontrola wersji, 30
  - kopia robocza, 34
  - łącze do nowego drzewa, 33
  - numer wersji, 30
  - pool, 35
  - prezentacja różnic pomiędzy drzewami, 34
  - przechodzenie w górę, 32
  - repozytorium, 30
  - serwer-klient, 34
  - svn\_error\_t, 35
  - text delta, 35
  - transformacja drzewa, 30
  - transmisja zmian pomiędzy dwiema stronami, 34
  - tworzenie katalogu nadrzędnego, 31
  - węzły, 31
  - window handler, 35
- suma liczb ustawionych bitów w dwóch słowach, 169
- sumator pełny, 171
- sumator z przechowywaniem przeniesień, 171
- summing factor, 56
- SVG, 230
- svn\_delta\_editor\_t, 29
- svn\_error\_t, 35
- svnsync, 45
- symbole wieloznaczne, 19
- synchroniczny demultiplexer zdarzeń, 460
- synchronizacja, 372
- synchronized, 404
- SyncML, 358
- syntax-case, 425
  - abstrakcyjna reprezentacja kodu źródłowego, 432
  - algorytm rozwiązywania, 431
  - błędy składniowe, 434
  - define-record, 432

- define-syntax, 429
- eksponder, 437
- exp, 437
- exp-lambda, 439
- exp-let, 439
- exp-letrec-syntax, 440
- exp-macro, 438
- exp-quote, 439
- forma wejścia, 430
- forma wyjścia, 430
- free-identifier=?, 441
- identyfikator szablonu, 430
- identyfikatory, 441
- if, 439, 444
- KFFD, 431
- konwersje, 442
- lambda, 439
- let, 439, 444
- letrec-syntax, 439
- make-syntax-object, 432
- manipulowanie środowiskami, 435
- obiekty składni, 432
- opakowania, 435
- or, 444
- parsowanie, 440
- porównywanie identyfikatorów, 441
- predykaty strukturalne, 434
- quote, 433, 439
- rekurencja, 430
- reprezentacje, 432
- rozpoczynanie rozwijania, 442
- s-wyrażenie, 439
- syntax-car, 441
- syntax-cdr, 441
- syntax-object?, 432
- syntax-object-expr, 432
- syntax-object-wrap, 432
- środowisko początkowe, 443
- transformator, 429
- transformatory bazowe, 439
- translacja identyfikatora, 436
- tworzenie obiektów składni, 440
- tworzenie opakowań, 435
- tworzenie wyjścia ekspandera, 433
- with-syntax, 430
- wydobywanie obiektów składniowych, 433
- wyjście ekspandera, 433
- wyrażenia lambda, 439
- syntax-rules, 428
- sysfs, 287
- system klasy Enterprise, 293
- system kontroli wersji, 29
- system korporacyjny o wysokim stopniu niezawodności, 337
- system kryptograficzny z kluczem publicznym, 180
- system operacyjny, 447

- system oprogramowania, 59
- system planowania zasobów przedsiębiorstwa, 357
- system plików, 297
  - devfs, 286
  - umapfs, 300
- system syntax-case, 428
- system syntax-rules, 428
- system wielordzeniowy, 265
- System.Reflection.Emit, 138
- szablon biznesowy, 364
- szablony URL, 539
- szukanie liniowe, 316
- szybkie tworzenie aplikacji, 519
- szybkość działania aplikacji, 201
- szybkość wykonywania kodu, 79
- szyfrowanie, 190, 192
  - z kluczem publicznym, 203

## Ś

- ścieżka, 359
  - krytyczna, 265
  - spełniająca oczekiwania, 118
- śledzenie ścieżek, 515
- środowisko dźwiękowe, 521
- środowisko wielokomputerowe, 391
- Święty Mikołaj, 414
  - implementacja, 420

## T

- t\_wchan, 380
- tabele, 67
- tablica rogatek, 384
- tablica symboli, 149
- tablice asocjacyjne, 67, 70
- tablice nieciągłe, 323
- tablice N-wymiarowe, 321
- tablice syntaktyczne, 525
- TCL, 522
- TDD, 111
- techniki
  - generowanie kodu w locie, 126
  - Knutha, 55
  - Pratta, 148, 152
  - rekurencja, 25
  - testowanie, 106
- technologia
  - proces-dla-połączenia, 464
  - wątek-dla-połączenia, 462
- teorie testowe, 106
- ternary raster operation, 128
- test poprawności formy, 80
- test-driven development, 111

- testowanie, 106, 111
  - JUnit, 109
  - mutacyjne, 118
  - testy, 118
  - współliniowość, 566
  - wyszukiwanie binarne, 111
  - z losowaniem, 115
  - zakresy, 106, 112
- testowe programy, 278
- testy, 96, 105
  - integracji, 106, 111
  - JUnit, 109
  - obciążeniowe, 386
  - piękne ze względu na prostotę, 106
  - piękne ze względu na swoją wszechstronność, 106
  - wydajność, 201
  - wyszukiwanie binarne, 106
- text delta, 35
- Text::Template, 190
- Thread\_Args, 463
- threads, 447
- TLI, 449
- tokeny, 150
- TPC\_Logging\_Server, 462, 464
- transakcje, 410, 423
- transformacja drzewa, 30
- transformata Fouriera, 271
- transformator, 429
- transpozony, 236
- TreeView, 506, 510
- trójskładnikowa operacja rastrowa, 128
- trudności przypadkowe, 447
- trwałość deszyfracji, 192
- tts-format-text-and-speak, 528, 529
- tts-speak, 528
- turnstile\_block(), 372, 383, 384, 385
- turnstile\_interlock(), 384, 385
- turnstile\_lookup(), 384
- turnstile\_pi\_waive(), 384
- tworzenie przypadków specjalnych, 315

## U

- UBM, 359
- udostępnianie usług klientom zewnętrznym, 470
- układ równań liniowych, 273
- umap\_bypass, 303
- umapfs, 300, 301, 303
- Unicode, 81
- Unix, 447
- upibp, 380
- URI, 92
- urządzenia, 285
- usb\_interface, 288, 289
- usługa rejestrowania, 449

- usługa strumieniowa, 343
- ustawianie opcji, 214
- uwierzytelnianie z kluczem, 180
- uzupełnianie słów, 511
- użyteczność, 181

## V

- VCALL(ap), 302
- Verifier, 90
- ViaVoice, 522
- Visual Basic 6, 503
- vnode, 306
- vnodeop\_desc, 304
- voice-lock, 526
- vop\_generic\_args, 303
- VOP\_READ, 298, 301, 307
- vop\_read\_args, 301
- vop\_vector, 298, 301, 302
- VPN, 180

## W

- WABA alignments, 209
- wait\_for\_multiple\_events(), 458, 459
- walidacja kluczy, 181
- walidacja XML, 79
- warstwy, 308
- warstwy pośredniczące, 299
- warstwy systemów plików, 303
- wartość, 66
- warunek higieniczności dla rozszerzania makr, 427
- warunki
  - brzegowe, 387
  - końcowe, 24
- wątek-dla-połączenia, 462
- wątki, 408, 447
  - Haskell, 409
- wcięcia, 548
- wdrażanie, 185
  - rozproszone, 203
- Web of Trust, 180
- wejście binarne, 506
- wektor terminów, 394
- weryfikatory XML, 79, 86
- wewnętrzna blokada jądra, 381
- węzeł, 359
- while, 23
- wiązanie argumentów, 527
- wieloprzetwarzanie symetryczne, 249
- wielowątkowa wersja algorytmu, 265
- wielowątkowość w systemach wielordzeniowych, 265
- wielowymiarowe iteratory, 321
- wielowymiarowe tablice, 321



- window handler, 35
- Windows, 447
- Windows 1.0, 126, 131
- wizualizacja genomu, 206
- własności, 208
- Word Completion, 511
- wpływ architektury komputerów na algorytmy
  - macierzowe, 248
- wrap, 431
- wskazniki, 297
- wskazniki argumentów, 300
- współbieżność, 403
  - blokada, 404
  - metody zsynchronizowane, 404
  - pamięć transakcyjna, 406
  - zmienne warunkowe, 404
- współbieżny serwer rejestrowania, 461
- współliniowość, 559
- współpraca, 285
- współzależność kodu i danych, 125
- wsteczny cudzysłów, 198
- wychodzenie z pętli, 75
- wyczerpanie pamięci, 277
- wydajność, 25, 120, 277
  - interfejs użytkownika, 518
- wydania, 552
- wygląd kodu, 545
  - białe znaki, 550
  - bycie podręcznikowym, 547
  - DiffMerge, 547
  - długość wierszy tekstu, 547
  - komentarze, 549
  - narzędzia, 550
  - podobnie funkcjonujący kod, 547
  - poruszanie się po kodzie, 549
  - porządek, 549
  - wcięcia, 548
  - wydania, 552
  - wytyczne, 546
  - zagnieżdżony kod, 549
- wyjście mówione, 522
- wykonywanie, 26
- wymiana danych z użyciem protokołów e-biznesowych, 475
- wymiana podczas pracy, 355
- wyrażenia, 152
- wyrażenia regularne, 19
  - algorytmy dopasowujące, 20
  - grep, 20
  - implementacja, 21
  - klasy znaków, 26
  - kolejność sprawdzeń, 24
  - kompilacja, 26
  - koniec łańcucha, 23
  - match(), 22
  - Matcher, 26
  - matchhere(), 23, 24
  - matchstar(), 23, 24
  - metaznaki, 19
  - nawracanie, 25
  - Pattern, 26
  - początek łańcucha, 22
  - RE, 26
  - rekurencja, 25
  - rozszerzanie, 25
  - symbole wieloznaczne, 19, 26
  - warunki końcowe, 24
  - wydajność, 25
  - wyszukiwanie, 63
  - wzorzec, 19
  - zatrzymanie rekurencji, 23
- wyszukiwanie, 61, 517
  - binarne, 72, 74, 106
  - czas, 61
  - Google, 75, 76
  - informacji, 76
  - na dużą skalę, 75
  - optymalizacja, 69
  - PageRank, 77
  - pamięć asocjacyjna, 66
  - pełnotekstowe, 76
  - sieciowe, 75
  - tablica asocjacyjna, 67
  - wychodzenie z pętli, 75
  - wyrażenia regularne, 63
  - Yahoo!, 75
  - z orzeczeniami, 76
  - zorientowane na zadania, 535
- wyszukiwanie przyczyn, 483
- wytyczne pisanie kodu, 546
- wyważenie obciążenia, 397
- wywołanie, 145
  - metody, 213
  - zwrotne, 227
- wznawianie wątków, 372
- wzorce, 19, 425, 450
  - Adapter, 448
  - fasada, 448, 454
  - metoda szablonu, 448, 453
- wzór Euklidesa, 567

## X

- XML, 79, 102, 358, 469, 476
  - buforowanie, 91
  - gramatyka BNF, 81
  - optymalizacja  $O(1)$ , 87
  - optymalizacja  $O(\log N)$ , 84
  - parser, 86
  - weryfikacja znaków cyfrowych, 84
  - weryfikator znaków, 82

XML 1.0, 81  
XOM, 79, 85, 87  
XPath, 476  
XSLT, 537

## Y

yacc, 306  
Yahoo!, 75  
Yahoo! Maps, 535

## Z

zabezpieczanie kodu, 195  
zabezpieczenia handlu internetowego, 202  
zagnieżdżony kod, 549  
zakres, 156  
zaokrąglanie, 271  
zapis zmian, 552  
zapisywanie binarnej tablicy wyszukiwania, 89  
zarządzanie  
    cykl życiowy grupy procesów, 465  
    czas, 339  
    dane, 340  
    personel, 340  
    złożoność kodu wraz z wpływem czasu, 542  
zasada DRY, 497  
zasady pisania kodu, 245, 546  
zasięg lokalny, 245  
zasób, 359  
zestaw testów, 188  
    testy binarności, 121  
ZFS, 375  
zliczanie  
    jedynek w tablicy, 170  
    referencje, 291, 292  
    żądania artykułu, 67

zliczanie bitów w stanie wysokim, 163  
    CSA, 171  
    dziel i zwyciężaj, 165  
    ILP, 174  
    metody, 164, 167  
    odstęp Hamminga, 175  
    population count, 175  
    porównywanie liczby ustawionych bitów  
        w dwóch słowach, 169  
    RISC, 164  
    zliczanie jedynek w tablicy, 170  
zmiany, 552  
zmienne, 213  
    CGI, 238  
    warunkowe, 404, 405  
znaczniki bitowe, 89  
ZODB, 359, 360  
Zope, 360  
Zope Content Management Framework, 357  
Zope Object Database, 360  
Zope Page Templates, 358  
zorientowany obiektowo projekt frameworku serwera  
    rejestrowania, 451  
ZPT, 358  
zrozumiały kod, 245  
zrównoleganie algorytmów, 390  
zrzut jądra, 378  
zunifikowany model biznesowy, 359  
zwiążłość, 279, 496

## Ż

żądania  
    HTTP, 471  
    XML, 476

# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ 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 WYDAWNICZA



**Helion SA**



# Dołącz do grona mistrzów programowania!

Wbrew pozorom programowanie to nie tylko nauka ścisła, to także sztuka! Trudna sztuka! Napisanie kodu poprawnie działającego czy kodu spełniającego oczekiwania użytkowników programu to niewątpliwie wyzwanie! Wymaga bowiem doskonałego zaplanowania architektury, skutecznej optymalizacji kodu źródłowego oraz umiejętności przewidywania potencjalnych problemów i ich odpowiednio wczesnej eliminacji.

Właśnie w tej książce prawdziwi mistrzowie programowania podzielą się z Tobą swoimi doświadczeniami, przemyśleniami i spostrzeżeniami dotyczącymi tworzenia profesjonalnych rozwiązań. Znajdziesz tu wiele praktycznych porad dotyczących pisania kodu, rozwiązywania problemów programistycznych, projektowania architektury, tworzenia interfejsów użytkownika i pracy w zespole projektowym. Dowiesz się, kiedy należy postępować dokładnie według wskazań metodologii, a kiedy pójście na skróty może okazać się najlepszym rozwiązaniem. Poznasz sposób myślenia i zasady pracy najlepszych programistów świata, dzięki czemu użytkownikom Twoich aplikacji zapewnisz maksymalny komfort.

- Korzystanie z wyrażań regularnych
- Dobór odpowiedniego poziomu abstrakcji
- Ocena jakości kodu źródłowego
- Testowanie
- Techniki analizy składni
- Zabezpieczanie komunikacji sieciowej
- Dostosowywanie architektury systemu do architektury komputerów
- Praca zespołowa
- Projektowanie systemów na bazie komponentów *open source*
- Usuwanie błędów
- Ułatwianie pracy osobom niepełnosprawnym

## Lista współautorów:

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Brian Kernighan       | Travis E. Oliphant       |
| Karl Fogel            | Ronald Mak               |
| Jon Bentley           | Rogério Atem de Carvalho |
| Tim Bray              | oraz Rafael Monnerat     |
| Elliotte Rusty Harold | Bryan Cantrill           |
| Michael Feathers      | Jeff Dean                |
| Alberto Savoia        | oraz Sanjay Ghemawat     |
| Charles Petzold       | Simon Peyton Jones       |
| Douglas Crockford     | R. Kent Dybvig           |
| Henry S. Warren Jr.   | William R. Otte          |
| Ashish Gulhati        | oraz Douglas C. Schmidt  |
| Lincoln Stein         | Andrew Patzer            |
| Jim Kent              | Andreas Zeller           |
| Jack Dongarra         | Yukihiro Matsumoto       |
| oraz Piotr Luszczek   | Arun Mehta               |
| Adam Kolawa           | T.V. Raman               |
| Greg Kroah-Hartman    | Laura Wingerd            |
| Diomidis Spinellis    | oraz Christopher Seiwald |
| Andrew Kuchling       | Brian Hayes              |

Całkowity dochód z oryginalnego wydania tej książki zostanie przekazany na rzecz organizacji Amnesty International.

**Helion** 

księgarnia internetowa

<http://helion.pl>

zamówienia telefoniczne



**0 801 339900**



**0 601 339900**

Helion SA  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice  
tel.: 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
<http://helion.pl>

Sprawdź najnowsze promocje:  
• <http://helion.pl/promocje>  
Książki najchętniej czytane:  
• <http://helion.pl/bestsellery>  
Zamów informacje o nowościach:  
• <http://helion.pl/novosci>

**O'REILLY®**

ISBN 978-83-283-3477-9



9 788328 334779

cena: 89,00 zł

sięgnij po **WIECEJ**



KOD KORZYSCI

Informatyka w najlepszym wydaniu