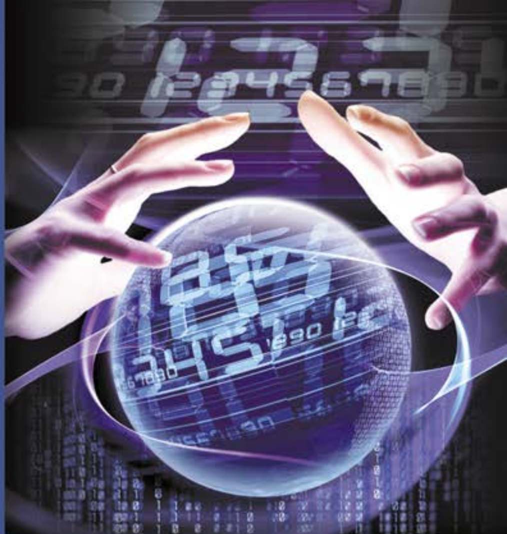
KANON INFORMATYKI



Lekcja programowania

Najlepsze praktyki

TWÓRZ ZGODNIE Z TRZEMA ZASADAMI
STANOWIĄCYMI KANON DOBREGO PROGRAMOWANIA

- Prostota – czyli kod prosty i łatwy w obsłudze
- Ogólność – czyli kod działający dobrze w różnych sytuacjach i adaptujący się do nowych warunków
- Przejrzystość – czyli kod łatwy do zrozumienia zarówno przez ludzi, jak i maszyny

Brian W. Kernighan
Rob Pike

ADDISON-WESLEY

Helion

helion.pl

Idź do

- Spis treści
- Przykładowy rozdział
- Skorowidz

Katalog książek

- Katalog online
- Zamów drukowany katalog

Twój koszyk

- Dodaj do koszyka

Cennik i informacje

- Zamów informacje o nowościach
- Zamów cennik

Czytelnia

- Fragmenty książek online

Kontakt

Helion SA
ul. Kościuszki 1c
44-100 Gliwice
tel. 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
© Helion 1991–2011

Lekcja programowania. Najlepsze praktyki

Autorzy: Brian W. Kernighan, Rob Pike
Tłumaczenie: Łukasz Piwko
ISBN: 978-83-246-3226-8
Tytuł oryginału: The Practice of Programming
Format: 172×245, stron: 272

Twórz zgodnie z trzema zasadami stanowiącymi kanon dobrego oprogramowania

- Prostota – czyli kod prosty i łatwy w obsłudze
- Ogólność – czyli kod działający dobrze w różnych sytuacjach i adaptujący się do nowych warunków
- Przejrzystość – czyli kod łatwy do zrozumienia zarówno przez ludzi, jak i maszyny

Czy zdarzyło Ci się kiedykolwiek…

- pominąć oczywisty błąd w programie i spędzić cały dzień na szukaniu go?
- próbować wprowadzić sensowne zmiany w programie napisanym przez kogoś innego?
- przepisać program od nowa, bo nie dało się go zrozumieć?

Jeśli tak, w przyszłości na pewno chciałbyś tego uniknąć! Takie problemy dla zbyt wielu programistów są niestety chlebem powszednim. Dzieje się tak między innymi dlatego, że testowanie, diagnostyka, przenośność, wydajność czy styl programowania są często traktowane po macoszemu przez osoby tworzące oprogramowanie. A świat rządzony przez olbrzymie interfejsy, wciąż zmieniające się narzędzia, języki czy systemy nie sprzyja podstawowym zasadom tworzenia dobrego kodu – prostocie, ogólności i przejrzystości.

Programowanie to coś więcej niż samo pisanie kodu. W książce „Praktyka programowania” znajdziesz opis wszystkich zagadnień, z którymi styka się programista – od projektowania, poprzez usuwanie usterek, testowanie kodu czy poprawę jego wydajności, po problemy związane z poprawianiem oprogramowania napisanego przez innych. Wszystko zostało oparte na zaczerpniętych z realnych projektów przykładach, napisanych w językach C, C++, Java i innych.

Tylko tutaj znajdziesz omówienia następujących zagadnień:

- Styl: pisanie kodu, który dobrze działa i przyjemnie się czyta
- Projektowanie: wybór algorytmów i struktur danych najlepiej nadających się do określonego zadania
- Interfejsy: kontrolowanie relacji między składnikami programów
- Usuwanie błędów: szybkie i metodyczne wyszukiwanie błędów
- Testowanie: zapewnianie niezawodności i poprawności oprogramowania
- Wydajność: maksymalizowanie szybkości działania programów
- Przenośność: pisanie programów, które działają wszędzie bez żadnych zmian
- Notacja: wybór języków i narzędzi, które pozwalają maszynie zrobić więcej

Stwórz swój własny kod w najlepszym stylu!

Spis treści

Wstęp 7

1. Styl 11
1.1. Nazwy 13
1.2. Wyrażenia i instrukcje 16
1.3. Spójność i idiomy 20
1.4. Makra w roli funkcji 28
1.5. Liczby magiczne 29
1.6. Komentarze 33
1.7. Dlaczego warto dbać o styl? 38

2. Algorytmy i struktury danych 39
2.1. Przeszukiwanie 40
2.2. Sortowanie 42
2.3. Biblioteki 44
2.4. Sortowanie szybkie w Javie 47
2.5. Notacja O 50
2.6. Tablice rozszerzalne 51
2.7. Listy 54
2.8. Drzewa 59
2.9. Tablice mieszania 64
2.10. Podsumowanie 68

3. Projektowanie i implementacja 69
3.1. Algorytm łańcucha Markowa 70
3.2. Wybór struktury danych 72
3.3. Budowa struktury danych w języku C 73
3.4. Generowanie tekstu 77
3.5. Java 79
3.6. C++ 83
3.7. Awk i Perl 86
3.8. Wydajność 88
3.9. Wnioski 89

4. Interfejsy **93**
4.1. Wartości oddzielane przecinkami 94
4.2. Prototyp biblioteki 95
4.3. Biblioteka dla innych 99
4.4. Implementacja w języku C++ 108
4.5. Zasady projektowania interfejsów 112
4.6. Zarządzanie zasobami 114
4.7. Obsługa błędów 117
4.8. Interfejsy użytkownika 121

5. Usuwanie błędów **125**
5.1. Programy diagnostyczne 126
5.2. Dobre pomysły, łatwe błędy 127
5.3. Brak pomysłów, trudne błędy 131
5.4. Ostatnia deska ratunku 135
5.5. Błędy niepowtarzalne 138
5.6. Narzędzia diagnostyczne 140
5.7. Błędy popełnione przez innych 143
5.8. Podsumowanie 144

6. Testowanie **147**
6.1. Testuj kod podczas jego pisania 148
6.2. Systematyczne testowanie 153
6.3. Automatyzacja testów 157
6.4. Ramy testowe 159
6.5. Testowanie przeciążeniowe 163
6.6. Porady dotyczące testowania 166
6.7. Kto zajmuje się testowaniem 167
6.8. Testowanie programu markov 168
6.9. Podsumowanie 170

7. Wydajność **171**
7.1. Wąskie gardło 172
7.2. Mierzenie czasu wykonywania i profilowanie programu 177
7.3. Strategie przyspieszania 181
7.4. Regulowanie kodu 184
7.5. Oszczędzanie pamięci 188
7.6. Szacowanie 191
7.7. Podsumowanie 193

8. Przenośność **195**
8.1. Język 196
8.2. Nagłówki i biblioteki 202
8.3. Organizacja programu 204
8.4. Izolacja 208
8.5. Wymiana danych 209
8.6. Kolejność bajtów 210
8.7. Przenośność a uaktualnianie 213
8.8. Internacjonalizacja 215
8.9. Podsumowanie 218

9. Notacja **221**
9.1. Formatowanie danych 222
9.2. Wyrażenia regularne 228
9.3. Programowalne narzędzia 234
9.4. Interpretery, kompilatory i maszyny wirtualne 237
9.5. Programy, które piszą programy 242
9.6. Generowanie kodu za pomocą makr 246
9.7. Kompilacja w locie 247

A Epilog **253**

B Zebrane zasady **255**

Skorowidz **259**

5

Usuwanie błędów

bug

__b.__ Usterka lub błąd w maszynie, planie itp. poch. USA. 11 marca 1889 Pall Mall Gaz. 1/1: Powiadomiono mnie, że pan Edison nie śpi już od dwóch dni, próbując znaleźć usterkę (ang. bug*) w swoim fonografie — wyrażenie oznaczające poszukiwanie rozwiązania problemu i sugerujące, że gdzieś wewnątrz ukrył się wyimaginowany insekt, który powoduje trudności.*

Oxford English Dictionary, wyd. 2.

W poprzednich czterech rozdziałach przedstawiliśmy sporo przykładów kodu i za każdym razem udawaliśmy, że wszystkie one od razu prawidłowo działały. Oczywiście tak nie było — w każdym z nich początkowo aż roiło się od błędów. Słowo **bug** mimo iż nie powstało w środowisku programistycznym, jest niewątpliwie jednym z najczęściej używanych słów w tej dziedzinie. Dlaczego tworzenie oprogramowania jest takie trudne?

Jednym z powodów jest to, że na złożoność programów ma wpływ liczba interakcji występujących między ich składnikami, a programy są pełne składników i relacji. Istnieje wiele technik służących do zmniejszania liczby powiązań między komponentami. Zalicza się do nich ukrywanie informacji, abstrakcję i interfejsy oraz właściwości języka, które służą do ich realizowania. Są również techniki zapewniające integralność projektów programów — dowodzenie poprawności programów, modelowanie, analiza wymagań, formalna weryfikacja — ale żadna z nich nie zmieniła sposobu, w jaki tworzy się oprogramowanie. Wszystkie okazały się skuteczne tylko w rozwiązywaniu bardzo małych problemów. Rzeczywistość jest taka, że zawsze znajdą się błędy, które będziemy wykrywać za pomocą testowania i eliminować za pomocą technik usuwania błędów (ang. *debugging*).

Dobry programista wie, że usuwanie błędów zajmuje tyle samo czasu, co pisanie kodu, i dlatego zawsze stara się wyciągać z nich wnioski. Każdy wykryty błąd jest nauką na przyszłość, jak uniknąć powtórki takiej sytuacji lub jak rozpoznać, że miała ona miejsce.

Usuwanie błędów to trudna i nieprzewidywalnie czasochłonna sztuka, dlatego należy zrobić wszystko, aby mieć z nią jak najmniej do czynienia. Sposobów na skrócenie czasu usuwania usterek jest wiele, np. staranne opracowywanie projektu, pisanie w dobrym stylu, sprawdzanie

warunków brzegowych, stosowanie asercji i testów sensowności, programowanie defensywne, projektowanie dobrych interfejsów, ograniczanie ilości danych globalnych oraz korzystanie z narzędzi diagnostycznych. Profilaktyka zawsze jest lepsza od leczenia.

Jaka jest rola języka? Największą siłą od zawsze kształtującą ewolucję języków programowania jest chęć zapobiegania występowaniu błędów poprzez odpowiednie dobranie właściwości języka. Niektóre cechy języków programowania pozwalają wyeliminować całe grupy błędów, np. sprawdzanie zakresu w operacjach indeksowania, ograniczenie lub wręcz wyłączenie możliwości stosowania wskaźników, automatyczne odzyskiwanie pamięci, łańcuchowe typy danych, kontrola typów wejścia-wyjścia i rygorystyczna kontrola typów. Z drugiej strony pewne własności języków zwiększają prawdopodobieństwo powstawania błędów: instrukcje `goto`, zmienne globalne, nieograniczony dostęp do wskaźników i automatyczne konwersje typów. Programiści powinni wiedzieć, które właściwości języka są potencjalnie ryzykowne, i zachować szczególną ostrożność przy ich używaniu. Ponadto powinni włączyć wszystkie narzędzia diagnostyczne kompilatora i zwracać uwagę na zgłaszane przez niego ostrzeżenia.

Właściwości językowe, które uniemożliwiają powstawanie pewnych błędów, mają swoją cenę. Jeśli język programowania wysokiego poziomu automatycznie usuwa niektóre błędy, ceną jest to, że łatwiej jest nam popełniać błędy wyższego poziomu. Żaden język nie sprawi, że całkiem przestaniemy popełniać błędy.

Chociaż wolelibyśmy, aby było inaczej, każdy programista najwięcej czasu spędza na testowaniu kodu i usuwaniu błędów. W tym rozdziale omówimy techniki produktywnego i szybkiego usuwania błędów. Do testowania wrócimy jeszcze w rozdziale 6.

5.1. Programy diagnostyczne

Kompilatory najważniejszych języków programowania są wyposażone w zaawansowane programy diagnostyczne (ang. *debugger*). Narzędzia takie wchodzą w skład wielu zintegrowanych środowisk programistycznych oferujących w jednym pakiecie narzędzia do pisania i edytowania kodu, kompilacji oraz wykonywania utworzonych programów. Programy diagnostyczne mają graficzne interfejsy, za pomocą których można wykonywać kod programu po jednej instrukcji lub funkcji albo zatrzymywać wykonywanie po wykonaniu określonych wierszy lub spełnieniu zdefiniowanych warunków. Ponadto oferują możliwość formatowania i wyświetlania bieżących wartości zmiennych.

Program diagnostyczny można uruchomić bezpośrednio, jeśli wiadomo, że wystąpił błąd. Niektóre takie programy automatycznie przejmują sterowanie, gdy wykryją, iż coś się nie powiodło w czasie wykonywania programu. Zwykle wykrycie miejsca wystąpienia błędu jest nietrudne. W tym celu należy tylko sprawdzić sekwencję funkcji, które były w tym czasie wykonywane (**stos wywołań**) oraz wyświetlić wartości zmiennych lokalnych i globalnych. Tyle informacji często wystarcza do znalezienia źródła problemu. Jeśli to zawiedzie, można skorzystać z punktów wstrzymania i funkcji wykonywania programu krok po kroku, aby znaleźć miejsce, w którym po raz pierwszy wystąpiły jakieś anomalie.

W rękach doświadczonego programisty korzystającego z dobrego środowiska program diagnostyczny może być bardzo efektywnym i wydajnym narzędziem, które pozwala zaoszczędzić mnóstwo nerwów. Skoro dostępne są tak wspaniałe narzędzia, po co ktoś miałby usuwać błędy, nie korzystając z ich pomocy? Po co usuwaniu błędów poświęcać aż cały rozdział?

Istnieje ku temu kilka dobrych powodów, zarówno obiektywnych, jak i wynikających z naszego osobistego doświadczenia. Dla niektórych języków spoza głównego nurtu nie ma żadnego programu diagnostycznego albo, jeżeli jest, jego funkcjonalność jest bardzo ograniczona.

Ponadto działanie narzędzi diagnostycznych zależy od systemu operacyjnego, a więc nie zawsze możesz mieć dostęp do swoich ulubionych programów tego rodzaju. Programy diagnostyczne słabo radzą sobie z niektórymi rodzajami programów, np. wieloprocesowymi i wielowątkowymi, systemami operacyjnymi i systemami rozproszonymi. W takich przypadkach konieczne jest użycie technik niższego poziomu. Programista jest wówczas zdany na siebie, do dyspozycji ma tylko instrukcje drukujące oraz własne doświadczenie i umiejętność analizowania kodu.

Osobiście staramy się nie nadużywać programów diagnostycznych i ograniczamy się do sprawdzenia za ich pomocą stosu wywołań oraz wartości paru zmiennych. Jednym z powodów podjęcia takiej decyzji jest to, że można bardzo łatwo pogubić się w skomplikowanej plątaninie struktur danych i ścieżek wykonawczych. Naszym zdaniem wykonywanie kodu krok po kroku jest mniej produktywne niż jego dokładniejsze przeanalizowanie oraz dodanie kilku instrukcji wyjściowych i samosprawdzającego się kodu w krytycznych miejscach. Na przejrzenie danych zwróconych przez kilka roztropnie rozmieszczonych instrukcji drukujących potrzeba mniej czasu niż na wykonywanie kolejnych instrukcji za pomocą kliknięć myszą. Podjęcie decyzji, gdzie wstawić instrukcję drukowania, zajmuje mniej czasu niż przechodzenie do krytycznego fragmentu kodu po jednej instrukcji, nawet jeśli dokładnie wiadomo, które to miejsce. Co ważniejsze, instrukcje diagnostyczne pozostają w programie, a sesje programu diagnostycznego znikają.

Szukanie błędów po omacku za pomocą programu diagnostycznego rzadko bywa produktywne. O wiele lepiej jest użyć go do sprawdzenia stanu programu w chwili wystąpienia usterki i na podstawie zdobytych informacji zastanowić się, jak mogło do tej sytuacji dojść. Programy diagnostyczne bywają niezwykle skomplikowane i trudne do opanowania. Zwłaszcza początkujący programista może mieć z nich sto pociech i tysiąc utrapień. Jeśli programowi diagnostycznemu zada się niewłaściwe pytanie, to zwykle zwróci on odpowiedź, ale nie wiadomo, czy poprawną.

Mimo to program diagnostyczny może być niezwykle pomocny i każdy programista powinien mieć go pod ręką. W wielu przypadkach jest to pierwsze narzędzie, z którego pomocy się korzysta. Jeśli jednak nie masz programu diagnostycznego albo napotkasz wyjątkowo trudny do rozwiązania problem, dzięki technikom opisanym w tym rozdziale i tak szybko wyjdziesz z opresji. Ponadto nauczysz się dzięki nim efektywniej korzystać z programów diagnostycznych, gdyż dotyczą tego, jak analizować błędy i szukać ich prawdopodobnych przyczyn.

5.2. Dobre pomysły, łatwe błędy

Oho! Coś jest nie tak. Mój program padł, wydrukował bzdury albo nie chce przestać działać. Co robić?

Początkujący programiści w takich sytuacjach najczęściej zrzucają winę na kompilator, bibliotekę i wszystko, tylko nie ich kod. Doświadczeni programiści też by tak chcieli, ale będąc realistami, doskonale wiedzą, że większość błędów powstaje wyłącznie z ich winy.

Na szczęście głównie robimy proste błędy, które można wyeliminować prostymi technikami. Przeanalizuj zwrócone przez program błędne dane i spróbuj wywnioskować, w jaki sposób mogły powstać. Przejrzyj dane diagnostyczne wyprodukowane przed wystąpieniem awarii. Jeśli masz taką możliwość, sprawdź stos wywołań. Po wykonaniu tych czynności będziesz już mieć jakieś pojęcie na temat tego, co i gdzie się stało. Przemyśl to. Jak mogło do tego dojść? Przeanalizuj zachowanie programu od początku i zastanów się, co mogło spowodować jego wadliwe działanie.

Diagnostyka błędów wymaga analizowania w myślach przeszłości, podobnie jak wykrywanie sprawców morderstw. Zdarzyło się coś niemożliwego, a jedyna informacja, jaką posiadamy,

to fakt, że rzeczywiście miało to miejsce. Aby odkryć przyczynę problemów, musimy się cofnąć w czasie. Po znalezieniu pełnego wyjaśnienia będziemy wiedzieć, jak naprawić program, a przy okazji prawdopodobnie odkryjemy jeszcze kilka innych rzeczy, których się nie spodziewaliśmy.

Szukaj znajomych wzorców. Odpowiedz sobie na pytanie, czy już coś takiego widziałeś. Odpowiedź typu „Gdzieś już to widziałem” zwykle stanowi pierwszy krok do zrozumienia, a niejednokrotnie oznacza nawet rozwiązanie. Często występujące błędy mają pewne cechy szczególne. Przykładowo początkujący programiści często piszą tak:

```
? int n;
? scanf("%d", n);
```

zamiast tak:

```
int n;
scanf("%d", &n);
```

co zwykle kończy się próbą odczytu danych z miejsca poza wyznaczonym obszarem pamięci przy pobieraniu wiersza danych wejściowych. Wykładowcy języka C natychmiast rozpoznają ten problem.

Niewyczerpanym źródłem prostych błędów są źle dobrane typy danych i ich konwersje w funkcjach `printf` i `scanf`:

```
?   int n = 1;
?   double d = PI;
?   printf("%d %f\n", d, n);
```

Znakiem szczególnym tego rodzaju błędu jest czasami pojawienie się niedorzecznych wartości: wielkich liczb całkowitych albo niewiarygodnie małych lub dużych wartości zmiennoprzecinkowych. Powyższy program uruchomiony na komputerze SPARC firmy Sun zwrócił następującą astronomiczną liczbę (z konieczności podzieloną na kilka wierszy):

```
1074340347 268156158598852001534108794260233396350\
    1936585971793218047714963795307788611480564140\
    0796821289594743537151163524101175474084764156\
    422771408323839623430144.000000
```

Kolejny pospolity błąd dotyczy wczytywania liczb typu `double` za pomocą funkcji `scanf` przy użyciu ciągu `%f` zamiast `%lf`. Niektóre kompilatory wyłapują takie błędy, ponieważ sprawdzają zgodność typów argumentów funkcji `scanf` i `printf` z łańcuchami formatu. Przy włączonych wszystkich ostrzeżeniach kompilator `gcc` w systemie GNU dla powyższego wywołania funkcji `printf` zwróci następujące informacje:

```
x.c:9: warning: int format, double arg (arg 2)
x.c:9: warning: double format, different type arg (arg 3)
```

Kolejny rodzaj błędu, który łatwo rozpoznać po znakach szczególnych, to brak inicjalizacji zmiennej lokalnej. Wynikiem tego zaniedbania jest zwykle niesłychanie duża wartość, będąca pozostałością po tym, co uprzednio znajdowało się w tym miejscu w pamięci. Niektóre kompilatory mogą przestrzegać przed takimi błędami, aczkolwiek do tego konieczne może być włą-

czenie opcji sprawdzania podczas kompilacji, a poza tym — żaden kompilator nie wychwyci wszystkiego. Także pamięć alokowana za pomocą takich funkcji, jak `malloc`, `realloc` i `new`, może być bezużyteczna, jeśli nie zostanie zainicjalizowana.

Przeanalizuj ostatnią zmianę. Jakie zmiany w programie zostały ostatnio wprowadzone? Jeśli rozwijając program, za każdym razem dodajesz do niego tylko jedną rzecz, to są wyłącznie dwie możliwości: nowy kod spowodował wystąpienie błędu albo ujawnił błąd w starym kodzie. W znalezieniu problemu pomocne jest dokładne przejrzenie ostatnich zmian. Jeśli błąd występuje w nowej wersji programu, a nie ma go w starszej, to nowy kod jest częścią problemu. Dlatego trzeba zawsze zachowywać przynajmniej poprzednią wersję programu, aby w razie kłopotów móc porównać zachowanie z najnowszą wersją. Ponadto należy prowadzić rejestr wprowadzanych zmian i naprawianych błędów, by nie musieć zdobywać tych informacji na nowo, gdy trzeba będzie naprawić kolejny błąd. Pomocne są w tym systemy kontroli kodu źródłowego i inne techniki śledzenia historii zmian.

Nie popełniaj dwukrotnie tego samego błędu. Gdy naprawisz jakiś błąd, zastanów się, czy nie mógł on wystąpić jeszcze gdzieś indziej. Taka sytuacja przydarzyła się jednemu z nas krótko przed rozpoczęciem pisania tego rozdziału. Miało to miejsce w prostym, pisanym dla kolegi prototypie przedstawiającym schemat obsługi opcjonalnych argumentów:

```
?  for (i = 1; i < argc; i++) {
?      if (argv[i][0] != '-') /* Koniec opcji */
?          break;
?      switch (argv[i][1]) {
?      case 'o':              /* Nazwa pliku wyjściowego */
?          outname = argv[i];
?          break;
?      case 'f':
?          from = atoi(argv[i]);
?          break;
?      case 't':
?          to = atoi(argv[i]);
?          break;
?      ...
```

Niedługo po wypróbowaniu programu kolega poinformował nas, że do nazwy pliku zawsze dołączany był przedrostek `-o`. Było nam wstyd, ale błąd okazał się łatwy do naprawienia. Poprawiliśmy jedną instrukcję:

```
outname = &argv[i][2];
```

Po naprawieniu tego błędu i odesłaniu programu do użytkownika niebawem przyszła kolejna wiadomość. Tym razem program niepoprawnie obsługiwał argumenty typu `-f123`: po konwersji wartość liczbowa zawsze wynosiła zero. To ten sam błąd, co wcześniej. Poprawiliśmy zatem następną klauzulę `case`:

```
from = atoi(&argv[i][2]);
```

Ponieważ autor się spieszył, nie zauważył, że ten sam błąd występował jeszcze w dwóch innych miejscach, przez co zanim udało się ostatecznie oczyścić program z kilku wystąpień identycznego błędu, potrzebna była jeszcze jedna wymiana doświadczeń z naszym kolegą.

W łatwym kodzie nietrudno popełnić błąd, ponieważ widząc znany problem, przestajemy być ostrożni. Nawet jeśli kod jest tak prosty, że mógłbyś go napisać z zamkniętymi oczami, lepiej nie zamykaj oczu podczas jego pisania.

Nie odkładaj poprawiania błędów na później. Pośpiech przy wykonywaniu pracy może mieć szkodliwe skutki także w innych sytuacjach. Nigdy nie ignoruj awarii. Zawsze od razu popraw błąd, bo może się nie powtórzyć, aż będzie za późno. Słynny stał się przykład takiego niedopatrzenia w misji sondy „Pathfinder" wysłanej na Marsa. Po jej pomyślnym lądowaniu na powierzchni planety w lipcu 1997 roku komputery pokładowe resetowały się mniej więcej raz na dzień, co stanowiło wielką zagadkę dla inżynierów. Gdy znaleźli przyczynę problemów, zdali sobie sprawę, że mieli już z tym do czynienia. Takie zachowania komputerów zdarzały się już w fazie wstępnych testów, ale zostały zlekceważone, ponieważ inżynierowie pracowali wówczas nad czymś innym. Zostali więc zmuszeni do zajęcia się tym dopiero później, gdy maszyna znajdowała się miliony kilometrów od nich i znacznie trudniej było ją naprawić.

Sprawdzaj stos wywołań. Mimo iż programy diagnostyczne pozwalają badać programy podczas działania, to najczęściej są wykorzystywane do analizowania stanu programu, który przestał działać. Do najbardziej przydatnych informacji dostarczanych przez program diagnostyczny należy numer wiersza kodu źródłowego, w którym wystąpił problem. Cenną wskazówką są również nieprawdopodobne wartości argumentów (puste wskaźniki, bardzo duże wartości całkowite, podczas gdy spodziewane są małe, ujemne wartości tam, gdzie powinny być dodatnie, łańcuchy znaków nienależących do alfabetu).

Oto typowy przykład z opisu algorytmów sortowania przedstawionego w rozdziale 2. Aby posortować tablicę liczb całkowitych, należy wywołać funkcję `qsort`, przekazując jej jako argument funkcję `icmp` porównującą liczby całkowite:

```
int arr[N];
qsort(arr, N, sizeof(arr[0]), icmp);
```

Załóżmy, że pomyłkowo podano nazwę `scmp` funkcji porównującej łańcuchy:

```
?  int arr[N];
?  qsort(arr, N, sizeof(arr[0]), scmp);
```

Jako że kompilator w tym przypadku nie może wykryć niezgodności typów, nieuchronnie napytaliśmy sobie biedy. Program ulega awarii spowodowanej próbą dostępu do niedozwolonego miejsca w pamięci. Program diagnostyczny `dbx` zwraca następujące informacje o stosie wywołań (przeredagowane, aby zmieściły się na stronie):

```
0 strcmp(0x1a2, 0x1c2) ["strcmp.s":31]
1 scmp(p1 = 0x10001048, p2 = 0x1000105c) ["badqs.c":13]
2 qst(0x10001048, 0x10001074, 0x400b20, 0x4) ["qsort.c":147]
3 qsort(0x10001048, 0x1c2, 0x4, 0x400b20) ["qsort.c":63]
4 main() ["badqs.c":45]
5 __istart() ["crt1tinit.s":13]
```

Z tych danych wynika, że awaria nastąpiła w funkcji `strcmp`. Widać, że przekazywane do niej dwa wskaźniki są o wiele za małe, co niewątpliwie jest oznaką kłopotów. W stosie wywołań zostały podane orientacyjne numery wierszy, w których nastąpiło wywołanie każdej funkcji. Wiersz nr 13 w naszym pliku *badqs.c* zawiera takie wywołanie:

```
return strcmp(v1, v2);
```

wskazujące na źródło błędu.

Przy użyciu programu diagnostycznego można również wyświetlić wartości zmiennych lokalnych i globalnych, które także mogą naprowadzić nas na jakiś trop.

Najpierw przeczytaj, a potem poprawiaj. Jedną z najbardziej niedocenianych efektywnych technik wykrywania błędów jest uważne przeczytanie kodu i zastanowienie się nad nim bez dokonywania jakichkolwiek zmian. Pokusa, aby chwycić za klawiaturę i zacząć wprowadzać zmiany, jest bardzo duża, ale należy się jej oprzeć. Istnieje duże ryzyko, że w ten sposób nie dowiesz się, co tak naprawdę szwankuje, i zmienisz nie to, co trzeba, pogarszając jeszcze tylko sytuację. Zapisanie najważniejszej części programu na papierze pozwala spojrzeć na niego z nieco innej perspektywy, niż oglądając go na ekranie, i zachęca do refleksji. Nie stosuj jednak tej techniki rutynowo. Drukowanie kodu programu to marnotrawstwo drzew, a poza tym i tak trudno ogarnąć całą strukturę kodu, jeśli zajmuje on kilka stron. Co więcej, po wprowadzeniu pierwszej zmiany cały wydruk nadaje się do wyrzucenia.

Zrób sobie krótką przerwę. Czasami w kodzie widzisz to, co chciałbyś widzieć, a nie to, co jest w nim rzeczywiście zapisane. Jeśli na chwilę się oderwiesz, to po powrocie może zaczniesz więcej uwagi zwracać na prawdziwe znaczenie kodu.

Oprzyj się pokusie poprawiania kodu natychmiast. Warto chwilę się przed tym zastanowić.

Objaśnij swój kod komuś innemu. Dobrym sposobem jest objaśnienie napisanego przez siebie kodu innej osobie. Zdarza się, że w ten sposób sami odkrywamy sedno problemu. Czasami wystarczy tylko powiedzieć kilka zdań, aby stwierdzić ze wstydem: „Nieważne, już wiem, co jest nie tak. Przepraszam, że Ci przeszkadzam”. To niezwykle skuteczna metoda. W rolę słuchacza może się wcielić nawet osoba niebędąca programistą. W pewnym uniwersyteckim ośrodku komputerowym przy stanowisku pracy pomocy technicznej umieszczono pluszowego misia. Studenci chcący uzyskać pomoc najpierw musieli swój problem objaśnić misiowi i dopiero potem mogli porozmawiać z człowiekiem.

5.3. Brak pomysłów, trudne błędy

„Nie mam zielonego pojęcia, o co może chodzić”. Jeśli kompletnie nie wiesz, w czym może tkwić problem, to zaczynają się schody.

Wymuś powtarzalność błędu. Pierwszą czynnością, którą należy wykonać, jest sprawienie, aby błąd pojawiał się na żądanie. Tropienie błędu pojawiającego się tylko raz na jakiś czas nie jest przyjemne. Poświęć chwilę na sporządzenie danych wejściowych i opracowanie takich parametrów, które pozwolą Ci niezawodnie spowodować wystąpienie błędu za każdym razem. Następnie zapakuj to wszystko w jeden pakiet, aby móc go przywoływać jednym przyciskiem albo kilkoma klawiszami. Jeśli błąd jest trudny do wytropienia, czynności te trzeba będzie powtórzyć wielokrotnie, a więc lepiej je sobie maksymalnie uprościć.

Jeśli błędu nie da się odtworzyć za każdym razem, spróbuj zrozumieć dlaczego. Czy częstotliwość jego występowania zależy od jakichś specyficznych warunków? Nawet jeżeli nie możesz wymusić pojawienia się błędu za każdym razem, warto spróbować przynajmniej skrócić czas oczekiwania na jego wystąpienie.

Jeśli program może dostarczać danych diagnostycznych, skorzystaj z tej możliwości. Programy symulacyjne, takie jak program generujący łańcuchy Markowa z rozdziału 3., powinny zawierać opcję generowania danych diagnostycznych, np. w celu sprawdzenia wartości początkowej

generatora liczb losowych, dzięki którym można spróbować odtworzyć uzyskane wyniki. Wiele programów zawiera takie opcje i warto je uwzględnić także w swoich programach.

Dziel i rządź. Czy dane wejściowe wywołujące awarię programu można jakoś zmniejszyć albo bardziej skoncentrować? Stwórz minimalny zestaw danych wejściowych, które powodują występowanie błędu, aby zredukować liczbę możliwości. Jakie zmiany powodują, że błąd przestaje się pokazywać? Spróbuj wyodrębnić takie przypadki testowe, które precyzyjnie koncentrują się na szukanym błędzie. Każdy taki przypadek powinien być zaplanowany na uzyskanie określonego wyniku, potwierdzającego lub wykluczającego pewną hipotezę na temat źródła problemów.

Użyj algorytmu przeszukiwania binarnego. Odrzuć połowę danych wejściowych i sprawdź, czy program nadal zwraca niepoprawny wynik. Jeśli nie, wróć do poprzedniego stanu i odrzuć drugą połowę danych wejściowych, a pierwszą tym razem pozostaw. Tę samą metodę można zastosować w odniesieniu do tekstu programu. Usuń jakąś część kodu źródłowego, która Twoim zdaniem nie powinna mieć związku z występującym błędem, i sprawdź, co się stanie. Przy manipulowaniu dużymi przypadkami testowymi i dużymi ilościami kodu źródłowego programu bardzo pomocny jest edytor kodu z opcją cofania zmian, która zapewnia, że nie utracimy błędu.

Przeprowadź numeryczną analizę usterek. Czasami na trop błędu można wpaść, analizując pewne liczbowe cechy usterki. Po napisaniu jednego z podrozdziałów tej książki spostrzegliśmy, że niektóre litery gdzieś się z niego ulotniły. To było bardzo dziwne. Ponieważ tekst został skopiowany i wklejony do pliku z innego miejsca, doszliśmy do wniosku, że problem tkwi w funkcji kopiowania lub wklejania edytora tekstu. Ale od czego rozpocząć poszukiwanie błędu? Postanowiliśmy dokładniej przyjrzeć się danym i odkryliśmy, że braki znaków występują w równych odstępach w tekście. Obliczyliśmy, że odległość między dwoma kolejnymi brakami zawsze wynosiła 1 023 bajty. Taka regularność jest bardzo podejrzana. Poszukaliśmy w kodzie źródłowym edytora wartości zbliżonych do 1 024 i znaleźliśmy kilka rzeczy wartych uwagi. Jedna z nich znajdowała się w świeżo napisanym kodzie, a więc postanowiliśmy zacząć od niej. Szybko spostrzegliśmy błąd. Była to klasyczna pomyłka o jeden, która powodowała, że zerowy bajt kasował ostatni znak w buforze o rozmiarze 1 024 bajtów.

Na trop błędu wpadliśmy dzięki przeanalizowaniu liczbowych właściwości związanych z usterką. Ile czasu nam to zajęło? Kilka minut spędziliśmy w osłupieniu, pięć minut zajęło nam odkrycie prawidłowości w znikaniu znaków i kolejnych pięciu minut potrzebowaliśmy na znalezienie i usunięcie błędu. Rozwiązanie tego problemu przy użyciu programu diagnostycznego byłoby bardzo trudne, gdyż w grę wchodziły dwa wieloprocesowe programy obsługiwane za pomocą myszy i komunikujące się ze sobą poprzez system plików.

Wyświetlaj dodatkowe informacje, aby zorientować się, jak działa program. Jeśli nie rozumiesz, co robi kod, to najłatwiejszym i najmniej kosztownym wydajnościowo sposobem na dowiedzenie się tego jest dodanie instrukcji wyświetlających różne informacje. W ten sposób można upewnić się co do słuszności swoich ocen lub zweryfikować hipotezy na temat tego, co działa źle. Jeśli np. wydaje Ci się, że niemożliwe jest dotarcie do pewnej części kodu, dodaj instrukcję wyświetlającą informację: „Nie można tu wejść". Jeżeli później komunikat ten zostanie pokazany, przesuń wyświetlającą go instrukcję nieco wyżej, aby dowiedzieć się, w którym miejscu zaczynają się kłopoty. Analogicznie możesz też wyświetlać informację: „Udało się tu wejść" i przesuwać ją stopniowo coraz dalej, by znaleźć ostatnie miejsce, w którym nic złego się nie dzieje. Komunikaty powinny różnić się od siebie, aby za każdym razem było wiadomo, który został wyświetlony.

Komunikaty powinny być zwięzłe i zawsze mieć jednakowy format, aby dawały się łatwo przeanalizować programiście lub programom pomocniczym, takim jak np. narzędzie `grep` służące do porównywania wzorców. Programy podobne do `grep` są nieocenionym wsparciem przy

przeszukiwaniu tekstu — prostą implementację takiego narzędzia przedstawiamy w rozdziale 9. Jeśli wyświetlasz wartości zmiennych, to za każdym razem formatuj komunikat w taki sam sposób. W językach C i C++ wskaźniki prezentuj w postaci liczb szesnastkowych przy użyciu specyfikatorów formatu %x lub %p. Dzięki temu dowiesz się, czy dwa wskaźniki mają tę samą wartość bądź są ze sobą w jakiś sposób powiązane. Naucz się odczytywać wartości wskaźników oraz rozpoznawać prawdopodobne i nieprawdopodobne wartości, np. zero, liczby ujemne, nietypowe wartości i małe liczby. Także znajomość formatów adresów przydaje się podczas używania programu diagnostycznego.

Jeśli jest możliwość, że program zwróci bardzo dużą ilość danych, to może dane te wystarczy wydrukować w postaci pojedynczych liter, np. A, B itd., aby zwięźle pokazać, dokąd program doszedł.

Pisz samosprawdzający się kod. Jeśli potrzebujesz więcej informacji, to możesz napisać własną funkcję sprawdzającą określony warunek, wyświetlającą wartości odpowiednich zmiennych i zamykającą program:

```
/* check: sprawdza warunek, drukuje i kończy działanie */
void check(char *s)
{
    if (var1 > var2) {
        printf("%s: var1 %d var2 %d\n", s, var1, var2);
        fflush(stdout); /* Zapewnia wysłanie wszystkich danych na wyjście */
        abort();        /* Sygnalizuje nienormalne zakończenie działania programu */
    }
}
```

Funkcja check wywołuje standardową funkcję języka C o nazwie abort, która przedwcześnie kończy działanie programu w celu umożliwienia jego analizy w programie diagnostycznym. Oczywiście funkcję check można też zmienić w taki sposób, aby po wydrukowaniu informacji nie zamykała programu.

Następnie wywołaj funkcję check wszędzie tam, gdzie tego potrzebujesz:

```
check("Przed podejrzanym kodem");
/* ... Podejrzany kod ... */
check("Za podejrzanym kodem");
```

Po naprawieniu błędu nie usuwaj funkcji check z kodu źródłowego. Umieść ją w komentarzu albo wyłącz ją za pomocą opcji programu diagnostycznego, aby móc jej użyć ponownie, gdy wystąpi kolejny trudny do rozwiązania problem.

Jeśli pojawią się takie problemy, zakres obowiązków funkcji można rozszerzyć np. o weryfikację i wyświetlanie struktur danych. Można nawet zastosować bardziej ogólne podejście i napisać procedurę na bieżąco sprawdzającą spójność struktur danych i innych informacji. W programach, w których wykorzystywane są skomplikowane struktury danych, warto takie funkcje napisać, **zanim** jeszcze pojawią się problemy, i uczynić je integralną częścią programu. Wówczas w razie kłopotów można je bez przeszkód włączyć. Nie ograniczaj się do korzystania z nich tylko podczas usuwania błędów. Możesz ich używać we wszystkich fazach rozwoju programu, a jeśli nie pochłaniają zbyt dużo zasobów, to nawet warto je pozostawić włączone cały czas. W dużych programach, takich jak systemy komutacyjne w komunikacji, często znaczną część kodu stanowią podprogramy monitorujące przepływające informacje i sprzęt i zgłaszające wszelkie usterki, niekiedy nawet automatycznie je naprawiając.

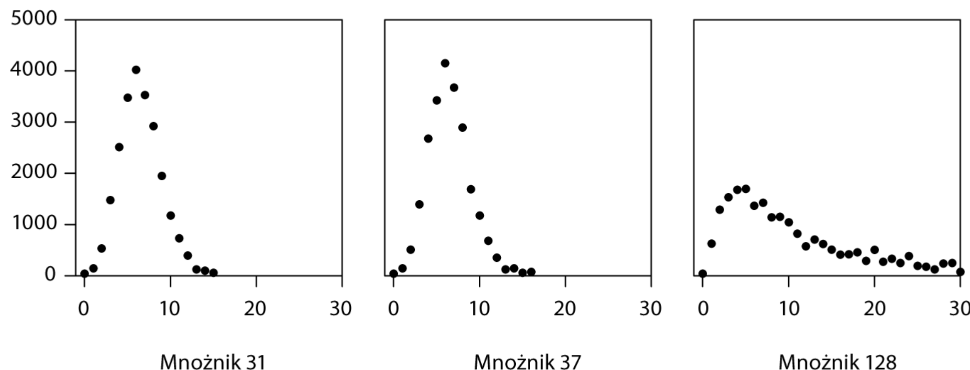
Utwórz dziennik. Kolejnym sposobem jest utworzenie **pliku dziennika**, w którym będą zapisywane dane diagnostyczne w ściśle określonym formacie. W razie wystąpienia awarii w pliku takim powinien znaleźć się zapis tego, co działo się tuż przed tym wydarzeniem. Serwery sieciowe i inne programy działające w sieci utrzymują dzienniki, w których zapisują ogromne ilości informacji o ruchu sieciowym — na ich podstawie kontrolują siebie i swoich klientów. Poniżej przedstawiamy fragment takiego pliku pochodzącego z lokalnego systemu (tekst dopasowany do strony):

```
[Sun Dec 27 16:19:24 1998]
HTTPd: access to /usr/local/httpd/cgi-bin/test.html
    failed for m1.cs.bell-labs.com,
    reason: client denied by server (CGI non-executable)
    from http://m2.cs.bell-labs.com/cgi-bin/test.pl
```

Aby w pliku dziennika pojawiły się rekordy danych, trzeba pamiętać o zapisaniu w nim zawartości buforów wejścia i wyjścia. Funkcje wyjściowe, takie jak `printf`, zwykle buforują swoje wyniki, aby zoptymalizować działanie operacji drukowania. Przy nienormalnym zakończeniu pracy programu informacje te mogą zostać utracone. W języku C zapisanie wszystkich tego typu danych przed zamknięciem programu można wymusić za pomocą funkcji `fflush`. Jej odpowiednikiem w językach C++ i Java jest funkcja `flush` zapisująca dane ze strumieni wyjściowych. Jeżeli nie przeszkadzają Ci dodatkowe koszty wydajnościowe, problem możesz rozwiązać raz na zawsze, wyłączając buforowanie operacji zapisu danych w dzienniku. Służą do tego standardowe funkcje o nazwach `setbuf` i `setvbuf`. Wywołanie funkcji `setbuf(fp, NULL)` spowoduje wyłączenie buforowania w strumieniu `fp`. Standardowe strumienie błędów (`stderr`, `cerr` i `System.err`) mają domyślnie wyłączone buforowanie.

Rysuj obrazy. Czasami w testowaniu i usuwaniu błędów doskonałą pomocą są obrazy. Oczywiście najbardziej pomagają w zrozumieniu struktur danych, o czym przekonaliśmy się w rozdziale 2., i w pisaniu programów graficznych, ale to nie jedyne ich zastosowania. Na wykresie punktowym lepiej widać rozkład wartości niż w kolumnach liczb. Na histogramie można łatwiej wychwycić anomalie w ocenach z egzaminów, losowych liczbach, rozmiarach kubełków alokowanych przez specjalne funkcje i używanych w tablicach mieszania itd.

Jeśli nie rozumiesz, co dzieje się w Twoim programie, spróbuj sobie pomóc, opatrując struktury danych danymi statystycznymi, które dodatkowo przedstaw w postaci wykresu. Poniżej zaprezentowano wykresy sporządzone dla programu Markowa z rozdziału 3. w wersji napisanej w języku C. Na oś x zostały naniesione długości łańcuchów mieszania, a na oś y — liczby elementów w tych łańcuchach. Jako danych wejściowych użyliśmy naszego standardowego tekstu z Księgi Psalmów (42 685 słów, 22 482 przedrostki). Pierwsze dwa wykresy zostały sporządzone dla dobrych mnożników 31 i 37, a trzeci — dla koszmarnej wartości 128. W dwóch pierwszych przypadkach długość żadnego łańcucha nie przekracza 15 lub 16 elementów, a większość łańcuchów składa się z 5 i 6 elementów. W trzecim przypadku dane są bardziej rozproszone, najdłuższy łańcuch ma 187 elementów i występuje bardzo dużo łańcuchów zawierających po 20 i więcej elementów.



Korzystaj z narzędzi. Dobrze użyj narzędzi oferowanych przez swoje środowisko pracy. Na przykład program porównujący pliki, taki jak `diff`, zestawia wyniki programu, którego wykonywanie zakończyło się powodzeniem, i takiego, którego wykonywanie zakończyło się niepowodzeniem, dzięki czemu można przeanalizować różnice. Jeśli program diagnostyczny zwraca duże ilości danych, to przeszukuj je za pomocą takiego programu jak `grep` oraz analizuj przy użyciu edytora. Wstrzymaj się od drukowania na papierze danych diagnostycznych: komputery lepiej radzą sobie z analizą dużych ilości danych niż ludzie. Użyj skryptów powłoki, aby zautomatyzować proces przetwarzania danych diagnostycznych.

Pisz proste programy do weryfikacji hipotez i swojego zrozumienia sposobu działania kodu. Czy można np. zwolnić pusty wskaźnik?

```
int main (void)
{
    free(NULL);
    return 0;
}
```

Programy do kontroli kodu źródłowego, takie jak RCS, umożliwiają rejestrację kolejnych wersji programu, dzięki czemu można sprawdzić, jakie zmiany zostały wprowadzone, i w razie potrzeby przywrócić jedną ze starszych wersji. Oprócz funkcji podglądu najnowszych zmian programy te oferują również możliwość znalezienia najczęściej modyfikowanych fragmentów kodu. W tych miejscach często kryją się rozmaite błędy.

Pisz dokumentację. Jeśli poszukiwania źródła problemów będą się przeciągać, po pewnym czasie zapomnisz, co już zostało sprawdzone, a czego jeszcze nie wiesz. Jeżeli zaczniesz zapisywać wykonane testy i ich wyniki, to będziesz mieć pewność, że niczego nie przeoczysz. Notując informacje o problemie, lepiej zapamiętasz, że kiedyś już coś podobnego widziałeś, a przy okazji będziesz mieć pomoc, gdy zechcesz objaśnić problem komuś innemu.

5.4. Ostatnia deska ratunku

Co robić, jeśli żadna z wymienionych technik nie pomaga? Teraz może nadeszła pora na wykonanie programu krok po kroku w programie diagnostycznym. Jeśli masz kompletnie błędne wyobrażenie o tym, jak coś działa, przez co szukasz problemu w niewłaściwym miejscu albo szukasz tam, gdzie trzeba, lecz go nie widzisz, program diagnostyczny może zmusić Cię do

spojrzenia na sprawy z innej perspektywy. Błędy niedające się wykryć z powodu niewłaściwego rozumienia istoty problemu są najgorsze. W takich przypadkach mechaniczna pomoc jest bezcenna.

Czasami błędne przekonanie dotyczy bardzo prostych zagadnień, są to np.: niepoprawna kolejność wykonywania operatorów, użycie niewłaściwego operatora, wcięcia kodu niezgodne z jego strukturą czy błędy zakresu dostępności zmiennych polegające na tym, że zmienna lokalna zasłania zmienną globalną albo zmienna globalna wcina się w zakres lokalny. Programiści często zapominają przykładowo o tym, że operatory & i | stoją dalej w kolejce do wykonania niż operatory == i !=. Dlatego zdarza im się pisać taki kod:

```
?  if (x & 1 == 0)
?      ...
```

i nie mogą zrozumieć, dlaczego ten warunek nigdy nie jest spełniony. Czasami poślizgnie się palec i omyłkowo zamiast jednego znaku równości napiszą się dwa albo odwrotnie:

```
?  while ((c == getchar()) != EOF)
?      if (c = '\n')
?          break;
```

Albo podczas pracy nad programem nie zostanie usunięty niepotrzebny kod:

```
?  for (i = 0; i < n; i++);
?      a[i++] = 0;
```

Niektóre problemy wynikają z pośpiechu:

```
?  switch (c) {
?      case '<':
?          mode = LESS;
?          break;
?      case '>':
?          mode = GREATER;
?          break;
?      defualt:
?          mode = EQUAL;
?          break;
?  }
```

Czasami wpisanie argumentów w niepoprawnej kolejności powoduje błąd, którego nie można wykryć przez mechanizm sprawdzania typów, np.:

```
?  memset(p, n, 0); /* Zapisuje n zer w p */
```

zamiast

```
memset(p, 0, n);    /* Zapisuje n zer w p */
```

Czasami coś zostaje zmienione bez wiedzy programisty, np. nie wiemy, że jakaś procedura może zmieniać pewne globalne lub współużytkowane zmienne.

Nieraz użyty algorytm lub struktura danych zawierają fatalny błąd, którego po prostu nie dostrzegamy. Przygotowując materiały do omówienia list powiązanych, sporządziliśmy pakiet funkcji służących do tworzenia nowych elementów listy oraz dołączania ich na początku i końcu struktury danych itp. (funkcje te można obejrzeć w rozdziale 2.). Oczywiście sprawdziliśmy, czy wszystko jest w porządku za pomocą specjalnie napisanego w tym celu programu testowego. Kilka pierwszych testów zostało zakończonych pomyślnie, ale w pewnym momencie nastąpiła efektowna awaria. Oto kod źródłowy tamtego programu:

```
?  while (scanf("%s %d", name, &value) != EOF) {
?      p = newitem(name, value);
?      list1 = addfront(list1, p);
7      list2 = addend(list2, p);
?  }
?  for (p = list1; p != NULL; p = p->next)
?      printf("%s %d\n", p->name, p->value);
```

Aż trudno uwierzyć, ile kłopotów sprawiło nam dostrzeżenie, że pierwsza pętla umieszczała ten sam węzeł `p` w obu listach, przez co gdy przystępowaliśmy do drukowania, wskaźniki były beznadziejnie pomieszane.

Takie błędy są trudne do wykrycia, ponieważ podświadomie widzimy to, co chcielibyśmy widzieć. Dlatego w takich przypadkach pomocny jest program diagnostyczny, który zmusza nas do zastanowienia się nad innymi możliwościami i prześledzenia **rzeczywistego** działania programu zamiast myślenia o tym, co on powinien robić. Czasami problem wynika z błędu w ogólnej strukturze programu. Aby wykryć coś takiego, trzeba ponownie przejrzeć swoje wstępne założenia.

Zauważmy przy okazji, że w przykładzie dotyczącym list błąd znajdował się w kodzie testującym, co znacznie utrudniało jego znalezienie. To straszne, jak łatwo można zmarnować czas na poszukiwaniu błędów, których nie ma, bo problem tkwi w programie testującym, albo na testowaniu niewłaściwej wersji programu tudzież ponieważ zaniedbało się aktualizację bądź kompilację programu przed wznowieniem testowania.

Jeśli mimo znacznego wysiłku nie uda Ci się znaleźć błędu, to zrób sobie przerwę. Odpocznij i chwilowo zajmij się czymś innym. Porozmawiaj z kolegą i poproś go o pomoc. Rozwiązanie może pojawić się nagle, nie wiadomo skąd, a nawet jeśli nie, po powrocie do pracy nie będziesz już tkwić w tym samym zaułku.

Zdarza się też, choć niezwykle rzadko, że źródłem problemów jest kompilator, biblioteka, system operacyjny, a nawet sprzęt. Można to podejrzewać zwłaszcza wówczas, gdy błąd wystąpił bezpośrednio po wprowadzeniu zmian w środowisku. Nigdy nie należy rozpoczynać szukania błędów od tych miejsc, ale po wykluczeniu wszystkich innych możliwości to może być ostatnie, co nam zostanie. Kiedyś przenosiliśmy duży program do formatowania tekstu z systemu Unix do komputera PC. Kompilacja zakończyła się bez żadnych problemów, ale program działał bardzo dziwnie: opuszczał mniej więcej co drugi znak w danych wejściowych. Pierwszą naszą myślą było to, że ma to jakiś związek z używaniem 16-bitowych liczb całkowitych zamiast 32-bitowych albo z kolejnością bajtów. Jednak po wydrukowaniu znaków, tak jak były przedstawiane pętli głównej, odkryliśmy, że błąd tkwił w standardowym pliku nagłówka *ctype.h* dostarczanym przez producenta kompilatora. Zawierał on implementację funkcji `isprint` w postaci makra funkcyjnego:

```
?  #define isprint(c) ((c) >= 040 && (c) < 0177)
```

a główna pętla pobierania danych była zdefiniowana następująco:

```
? while (isprint(c = getchar()))
?     ...
```

Za każdym razem, gdy na wejściu pojawiała się spacja (o wartości ósemkowej 40, którą stosuje się w złym stylu zamiast zapisu ' ') lub znak o wyższym numerze, funkcja getchar była wywoływana po raz drugi, ponieważ makro ewaluowało swój argument dwa razy, przy czym pierwszy znak znikał bezpowrotnie. Nasz kod źródłowy może nie był szczytem elegancji — warunek pętli mógłby być prostszy — ale plik nagłówkowy od dostawcy kompilatora bez najmniejszych wątpliwości zawierał błąd.

Przykłady tego błędu można spotkać do dziś. Poniższe makro pochodzi z wciąż używanych plików nagłówkowych innego producenta:

```
? #define __iscsym(c) (isalnum(c) || ((c) == '_'))
```

Obfitym źródłem błędów powodujących nienormalne działanie programów są wycieki pamięci, tzn. przypadki nieodzyskania nieużywanych już fragmentów pamięci. Kolejnym jest niezamykanie plików, które prowadzi do zapełnienia tablicy plików otwartych, przez co nie można otwierać następnych. Awarie programów zawierających wycieki pamięci często wyglądają bardzo tajemniczo. Ponieważ do usterki dochodzi po wyczerpaniu pewnych zasobów, nie da się odtworzyć specyficznych zdarzeń.

Z rzadka kłopoty sprawia sprzęt. W procesorze Pentium z 1994 roku występował błąd, który powodował, że niektóre obliczenia na liczbach zmiennoprzecinkowych dawały złe wyniki. Ta szeroko nagłośniona usterka w projekcie urządzenia dużo firmę kosztowała, ale gdy już ją zidentyfikowano, błąd dało się powtarzać. Jeden z najdziwniejszych błędów, jakie widzieliśmy w swojej karierze, znajdował się w starym programie kalkulatora działającym w systemie dwuprocesorowym. Czasami dla wyrażenia 0/5 zwracał wartość 0.5, a niekiedy drukował jakąś inną wartość, typu 0.7432, choć trzeba przyznać, że jak już to robił, to konsekwentnie. Nie dało się w żaden sposób przewidzieć, czy w danym przypadku wynik będzie poprawny, czy nie. W końcu odkryto, iż źródłem problemu jest usterka w jednostce odpowiedzialnej za obliczenia zmiennoprzecinkowe w jednym z procesorów. Ponieważ do wykonywania kalkulatora był losowo wybierany albo jeden, albo drugi procesor, raz wyniki były poprawne, a innym razem niedorzeczne.

Wiele lat temu używaliśmy maszyny, której wewnętrzną temperaturę można było oszacować na podstawie liczby niepoprawnych bitów niskich w obliczeniach zmiennoprzecinkowych. Obluzowała się jedna z kart układu elektronicznego i w miarę jak rosła temperatura, karta ta odchylała się coraz bardziej, co powodowało, że więcej bitów zostawało odciętych od płyty montażowej.

5.5. Błędy niepowtarzalne

Najtrudniejsze do wytropienia są te błędy, które pojawiają się nieregularnie — najczęściej przyczyną ich powstawania nie jest banalne uszkodzenie sprzętu. Jednak cenną wskazówką jest już sam fakt, że tak się zachowują. Można dedukować, że prawdopodobną przyczyną błędu jest nie usterka w algorytmie, lecz raczej to, iż program korzysta z danych, które za każdym razem są inne.

Sprawdź, czy wszystkie zmienne są zainicjalizowane. Możliwe, że któraś z nich otrzymuje losową wartość odpowiadającą temu, co było ostatnio zapisane w przypisywanym jej obszarze

pamięci. W językach C i C++ najczęstszymi sprawcami są zmienne lokalne funkcji i pamięć uzyskiwana za pomocą funkcji alokujących. Wszystkim zmiennym przypisz konkretne wartości. Jeśli w programie używana jest wartość początkowa generatora liczb losowych, której często nadaje się wartość na podstawie aktualnej daty, to przypisz jej jakąś stałą wartość, np. `0`.

Jeżeli dodanie kodu diagnostycznego powoduje zmianę zachowania lub wręcz zniknięcie błędu, to można podejrzewać nieprawidłowość przy alokacji pamięci — jakaś instrukcja zapisuje dane poza przydzielonym obszarem i dodanie kodu diagnostycznego wprowadza modyfikację rozmieszczenia elementów w pamięci, której skutkiem jest zmiana efektu wywoływanego przez błąd. Większość funkcji wyjściowych, od `printf` po funkcje okien dialogowych, alokuje pamięć samodzielnie, co dodatkowo zaciemnia obraz.

Jeśli miejsce awarii wydaje się odległe od wszystkiego, co mogłoby być zepsute, to najbardziej prawdopodobną przyczyną problemu jest błędne zmienienie zawartości obszaru pamięci w miejscu, które jest używane dopiero później. Czasami problem dotyczy tzw. wiszącego wskaźnika, czyli omyłkowego zwrócenia przez funkcję wskaźnika na zmienną lokalną i późniejszego jego użycia. Środkiem profilaktycznym przed taką odroczoną katastrofą jest zwrócenie adresu zmiennej lokalnej:

```
? char *msg(int n, char *s)
? {
?     char buf[100];
?
?     sprintf (buf, "Błąd %d: %s\n", n, s);
?     return buf;
? }
```

Zanim wskaźnik zwrócony przez funkcję `msg` zostanie użyty, będzie już wskazywał nic nieznaczące miejsce w pamięci. Musisz przydzielić pamięć za pomocą funkcji `malloc`, użyć statycznej tablicy albo zażądać, aby wywołujący dostarczył pamięć.

Użycie dynamicznie alokowanej wartości już po jej zwolnieniu objawia się w podobny sposób. Wspominaliśmy o tym w rozdziale 2., przy okazji omawiania funkcji `freeall`. Poniższy kod zawiera błąd:

```
? for (p = listp; p != NULL; p = p->next)
?     free (p);
```

Pamięci, która została zwolniona, nie wolno używać, ponieważ jej zawartość mogła się zmienić i nie ma pewności, że instrukcja `p->next` wciąż wskazuje właściwe miejsce w pamięci.

W niektórych implementacjach funkcji `malloc` i `free` dwukrotne zwolnienie elementu powoduje uszkodzenie wewnętrznych struktur danych, ale nie wywołuje to żadnych kłopotów przez dłuższy czas, dopóki kolejne wywołanie nie wywróci się na tym bałaganie. Pewne funkcje alokacyjne mają opcje diagnostyczne, za pomocą których można sprawdzić spójność pola działań przed każdym wywołaniem. Włącz je, jeśli próbujesz wytropić nieregularnie zachowujący się błąd. Jeżeli w ten sposób nic nie wskórasz, możesz napisać własną funkcję alokującą, która mogłaby sprawdzać niespójność swoich własnych zachowań albo zapisywać w dzienniku wszystkie wywołania, aby można je było później przeanalizować. Napisanie funkcji alokującej pamięć, gdy nie zależy nam bardzo na szybkości działania, jest łatwe, a więc strategię tę można wykonać, jeżeli problem jest poważny. Istnieją też świetne komercyjne narzędzia służące do sprawdzania zarządzania pamięcią oraz wykrywające błędy i wycieki pamięci. Jeśli nie masz do nich dostępu, możesz wykorzystać niektóre z ich zalet, pisząc własne funkcje `malloc` i `free`.

Jeżeli jedna osoba nie ma problemów z programem, a inna ma, to znaczy, że istnieje jakaś usterka, która ujawnia się tylko w określonych warunkach. Odpowiedzialne za to mogą być jakieś pliki wczytane przez program, prawa dostępu do plików, zmienne środowiskowe, ścieżki dostępu poleceń, ustawienia domyślne lub pliki używane podczas uruchamiania programu. Trudno cokolwiek w takich sytuacjach doradzić, ponieważ aby odtworzyć środowisko, w którym program zawodzi, trzeba być tą drugą osobą.

Ćwiczenie 5.1. Napisz własne wersje funkcji `malloc` i `free`, których będzie można użyć do rozwiązywania problemów z zarządzaniem pamięcią. Jednym z rozwiązań może być sprawdzanie w każdym wywołaniu całej przestrzeni roboczej. Odmiennym podejściem jest zapisywanie danych diagnostycznych w dzienniku, aby mogły zostać przetworzone przez inny program. Bez względu na to, którą metodę wybierzesz, na początku i końcu każdego alokowanego bloku dodaj znaczniki, by ujawnić ewentualne przypadki przekroczenia zakresu z obu stron.

5.6. Narzędzia diagnostyczne

W znajdowaniu błędów pomocne są nie tylko programy diagnostyczne. Istnieje wiele innych narzędzi, które mogą nam pomóc dotrzeć do ważnych informacji w wielkich zbiorach danych, znaleźć anomalie lub tak zmienić układ danych, aby łatwiej można było zobaczyć, co się dzieje. Wiele z nich znajduje się w standardowym wyposażeniu warsztatu. Niektóre zostały napisane w celu znalezienia konkretnego błędu lub przeanalizowania specyficznego problemu.

W tym podrozdziale omówimy prosty program o nazwie `strings`, który jest szczególnie pomocny w przeglądaniu plików składających się głównie ze znaków niedrukowalnych, a więc np. plików wykonywalnych i tajemniczych formatów binarnych używanych przez niektóre edytory tekstu. We wnętrzu często kryją się różne cenne informacje, takie jak tekst dokumentu, komunikaty o błędach i nieudokumentowanych opcjach, nazwy plików i katalogów, a także nazwy funkcji, które mogły być wywołane przez program.

Programu `strings` używamy również do znajdowania tekstu w innych plikach binarnych. Wiele plików graficznych zawiera znaki ASCII opisujące program, w którym zostały utworzone, a pliki skompresowane i archiwa (np. ZIP) mogą zawierać nazwy plików. Wszystkie te informacje można odkryć za pomocą programu `strings`.

W systemach uniksowych istnieje już implementacja programu `strings`, chociaż nieco inna od tej, którą przedstawimy tutaj. Rozpoznaje ona programy na wejściu i bada tylko tekst i segmenty danych, ignorując tablicę symboli. Za pomocą opcji `-a` można ją zmusić do zbadania całego pliku.

Program `strings` pobiera tekst ASCII z plików binarnych, tak że można go później wczytać lub przetworzyć przez inne programy. Jeśli znaleziony komunikat o błędzie nie ma żadnego identyfikatora, to może być trudno odgadnąć, jaki program go zgłosił, nie mówiąc już, dlaczego to zrobił. Wówczas może pomóc przeszukanie podejrzanych katalogów przy użyciu polecenia zbliżonego do zapisanego niżej:

```
% strings *.exe *.dll | grep 'Tajemniczy komunikat'
```

Funkcja `strings` wczytuje plik i drukuje wszystkie łańcuchy składające się przynajmniej z `MINLEN = 6` drukowalnych znaków.

```
/* strings: pobiera znaki drukowalne ze strumienia */
void strings(char *name, FILE *fin)
{
    int c, i;
    char buf[BUFSIZ];

    do {    /* Jeden raz dla każdego łańcucha */
        for (i = 0; (c = getc(fin)) != EOF; ) {
            if (!isprint(c))
                break;
            buf[i++] = c;
            if (i >= BUFSIZ)
                break;
        }
        if (i >= MINLEN) /* Drukuje, jeśli łańcuch jest wystarczająco długi */
            printf("%s:%.*s\n", name, i, buf);
    } while (c != EOF);
}
```

Łańcuch formatu `%.*s` użyty w wywołaniu funkcji `printf` pobiera długość łańcucha z następnego argumentu (`i`), ponieważ łańcuch (`buf`) nie jest zakończony zerem.

Pętla `do-while` znajduje i drukuje każdy łańcuch, a działanie kończy, gdy napotka znak końca pliku. Dzięki temu, że na końcu funkcji znajduje się sprawdzenie końca pliku, funkcja `getc` oraz pętle łańcuchowe mogą mieć wspólny warunek zakończenia i jedno wywołanie funkcji `printf` może obsługiwać koniec łańcucha, koniec pliku oraz zbyt długie łańcuchy.

W standardowej pętli zewnętrznej ze sprawdzeniem warunku na początku lub pojedynczej pętli z funkcją `getc` i bardziej skomplikowanym kodem źródłowym konieczne by było dwukrotne wywołanie funkcji `printf`. Takie rozwiązanie zastosowaliśmy na początku, ale zrobiliśmy błąd w instrukcji wywołującej funkcję `printf`. Poprawiliśmy go w jednym miejscu, lecz zapomnieliśmy o jeszcze dwóch innych („Czy popełniłem ten sam błąd jeszcze gdzieś indziej?”). Wówczas stało się jasne, że program trzeba napisać ponownie, aby było w nim mniej powtórzeń kodu. Tak doszliśmy do pętli `do-while`.

Funkcja `main` programu `strings` wywołuje funkcję `strings` dla każdego pliku przekazanego jej jako argument:

```
/* main: znajduje znaki drukowalne w plikach */
int main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    FILE *fin;

    setprogname("strings");
    if (argc == 1)
        eprintf("Sposób użycia: nazwy plików");
    else {
        for (i = 1; i < argc; i++) {
            if ((fin = fopen(argv[i], "rb")) == NULL)
                weprintf("Nie można otworzyć pliku %s:", argv[i]);
            else {
                strings(argv[i], fin);
                fclose(fin);
            }
        }
```

```
    }
    return 0;
}
```

Może się dziwisz, że funkcja `strings` nie pobiera danych ze swojego standardowego strumienia wejściowego, gdy nie zostaną podane żadne pliki. Początkowo to robiła. Aby wyjaśnić, dlaczego teraz tego nie robi, musimy opowiedzieć historię pewnego błędu.

Oczywistym testem, za pomocą którego można sprawdzić program `strings`, jest uruchomienie go na nim samym. Program działał prawidłowo w systemie Unix, ale w systemie Windows 95 polecenie

```
C:\> strings <strings.exe
```

zwróciło dokładnie pięć wierszy danych:

```
!This program cannot be run in DOS mode
'.rdata
@.data
.idata
.reloc
```

Pierwszy wiersz wygląda jak komunikat o błędzie, przez co zmarnowaliśmy trochę czasu na dowiedzenie się, że jest to łańcuch zapisany w programie, a dane wyjściowe są poprawne, przynajmniej jak na razie. Czasami zdarza się, iż sesja diagnostyczna zostaje przerwana z powodu niezrozumienia źródła pochodzenia komunikatu.

Ale danych wyjściowych powinno być więcej, więc gdzie się podziały? Wreszcie którejś nocy oświeciło mnie („Gdzieś już to widziałem!”). Jest to problem z przenośnością, o którym szerzej piszemy w rozdziale 8. Pierwsza wersja programu wczytywała dane tylko ze standardowego wejścia i używała do tego celu funkcji `getchar`. Ale w systemie Windows funkcja ta zwraca znak końca pliku, jeśli w danych tekstowych napotka konkretny bajt (`0x1A`, czyli znak *Ctrl+Z*). To powodowało przedwczesne kończenie pracy programu.

Jest to całkowicie poprawne zachowanie, ale nie tego oczekiwaliśmy, biorąc pod uwagę nasze doświadczenia z używania programu w systemie Unix. Rozwiązaniem jest otwarcie pliku w trybie binarnym przy użyciu trybu „rb”. Ale strumień `stdin` jest już otwarty i nie da się zmienić jego trybu w żaden standardowy sposób (można by było użyć funkcji takich jak `fdopen` i `setmode`, ale nie należą one do standardu języka C).W efekcie stajemy przed wyborem jednej z kilku nieprzyjemnych możliwości: zmusić użytkownika do podania nazwy pliku, dzięki czemu program będzie dobrze działał w systemie Windows, choć jest to nietypowe rozwiązanie dla systemu Unix; po cichu tworzyć niepoprawne odpowiedzi, gdy użytkownik systemu Windows usiłuje wczytać dane ze standardowego wejścia; albo zastosować kompilację warunkową, by dostosować zachowanie programu do różnych systemów, co zmniejsza jego przenośność. Zdecydowaliśmy się na pierwszą z wymienionych możliwości, ponieważ dzięki temu program wszędzie będzie działał tak samo.

Ćwiczenie 5.2. Program `strings` drukuje łańcuchy zawierające przynajmniej `MINLEN` znaków, co czasami powoduje zwrócenie większej ilości danych, niż potrzeba. Zmodyfikuj program `strings` tak, aby przyjmował opcjonalny argument służący do określania minimalnej długości łańcucha.

Ćwiczenie 5.3. Napisz funkcję `vis` kopiującą dane wejściowe na wyjście i zamieniającą bajty niedrukowalne, takie jak znak *Backspace*, znaki sterujące i znaki nienależące do zestawu ASCII na symbole w formacie `\Xhh`, przy czym `hh` oznacza szesnastkową reprezentację danego znaku. W przeciwieństwie do `strings` funkcja `vis` jest najbardziej przydatna przy analizowaniu danych zawierających niewielką liczbę znaków niedrukowalnych.

Ćwiczenie 5.4. Jaki wynik zwróci funkcja `vis`, jeśli na **wejściu** otrzyma łańcuch `\X0A`? Co można zrobić, aby funkcja `vis` zwracała niedwuznaczne wyniki?

Ćwiczenie 5.5. Rozszerz zakres działania funkcji, tak aby przetwarzała sekwencje plików, łamała długie wiersze w dowolnym miejscu i usuwała wszystkie niedrukowalne znaki. Jakie jeszcze inne zadania zgodne z przeznaczeniem programu mogłaby spełniać ta funkcja?

5.7. Błędy popełnione przez innych

Niewielu programistów ma przyjemność tworzyć nowy system od podstaw. Znacznie częściej używają, modyfikują, a więc i poprawiają, kod napisany przez innych programistów.

Wszystko, co napisaliśmy do tej pory na temat znajdowania i eliminowania błędów, ma zastosowanie także do błędów popełnionych przez kogoś innego. Przed przystąpieniem do pracy konieczne jest jednak zbadanie organizacji programu oraz zrozumienie sposobu myślenia i pracy poprzednika. W pewnym bardzo dużym projekcie programistycznym użyto określenia „odkrycie", stanowiącego całkiem dobrą przenośnię. Zadanie polega na odkryciu, o co chodzi w kodzie, którego my nie napisaliśmy.

W takich przypadkach bardzo pomocne są różne narzędzia. Używając programów do przeszukiwania tekstu, takich jak `grep`, można znaleźć wszystkie wystąpienia wybranej nazwy. Generatory odsyłaczy:g (ang. *cross-referencer*) pozwalają zapoznać się ze strukturą programu. Wykres przedstawiający wywołania funkcji jest pomocny, jeśli nie jest zbyt duży. Wykonywanie kodu po jednej instrukcji za pomocą programu diagnostycznego pozwala odkryć kolejność zdarzeń. Zaglądając do historii wersji programu, można dowiedzieć się, jak program rozwijał się w czasie. Częste zmiany oznaczają, że kod jest słabo zrozumiany albo podlega zmieniającym się wymaganiom, a więc może stanowić potencjalne źródło błędów.

Czasami musisz szukać błędów w oprogramowaniu, za które nie odpowiadasz i którego kod źródłowy nie jest dostępny. W takich przypadkach musisz zidentyfikować i scharakteryzować błąd na tyle dobrze, aby móc go precyzyjnie omówić w raporcie i przy okazji opracować jakieś dobre „obejście" pozwalające go wyeliminować.

Kiedy wyda Ci się, że znalazłeś błąd w nie swoim programie, przede wszystkim upewnij się, iż to na pewno jest błąd, aby nie marnować czasu autora i nie narazić się na utratę reputacji.

Gdy znajdziesz błąd w kompilatorze, również upewnij się, że to rzeczywiście błąd kompilatora, a nie Twojego programu. Przykładowo w językach Ci C++ nie określono, czy operacja bitowego przesunięcia w prawo powinna wstawiać bity zerowe (przesunięcie logiczne), czy powielać bit znaku (przesunięcie arytmetyczne). Z tego powodu niektórzy początkujący programiści myślą, że konstrukcje typu

```
? i = -1;
? printf ("%d\n", i >> 1);
```

są błędne, jeśli nie zwrócą oczekiwanego wyniku. Jest to jednak kwestia przenośności, gdyż powyższy kod może różnie się zachowywać w rozmaitych systemach i nie będzie to oznaczało błędu. Sprawdź swój test w różnych systemach i upewnij się, że dobrze rozumiesz, co się dzieje. Najlepiej skontroluj też definicję języka.

Sprawdź, czy błąd nie jest znany. Czy masz najnowszą wersję programu? Czy istnieje lista poprawionych błędów? Większość programów jest wydawana w wielu różnych wersjach. Jeśli znajdziesz usterkę w wersji 4.0b1, to wcale nie musi jej być w wersji 4.04b2 albo może w jej miejsce powstać nowa. W każdym razie niewielu programistów pasjonuje się poprawianiem błędów w starszych wersjach programów.

Wreszcie postaw się w roli osoby, która otrzyma Twój raport. Na pewno chcesz dostarczyć właścicielowi programu jak najlepszy przypadek testowy. Nie będziesz zbyt pomocny, jeśli błąd uda Ci się ujawnić tylko przy dużych ilościach danych wejściowych, w wyszukanym środowisku albo przy zastosowaniu wielu plików pomocniczych. Postaraj się ograniczyć test do jak najmniejszego samodzielnego pakietu. Dołącz wszystkie mogące się przydać informacje, takie jak wersja programu, rodzaj użytego kompilatora, system operacyjny czy opis sprzętu. Dla błędnej wersji funkcji `isprint` z podrozdziału 5.4 moglibyśmy dostarczyć poniższy program testowy:

```
/* Program testowy ujawniający błąd w funkcji isprint */
int main(void)
{
    int c;
    while (isprint(c = getchar()) || c != EOF)
        printf ("%c", c);
    return 0;
}
```

Jako przypadek testowy może posłużyć dowolny wiersz tekstu zawierający drukowalne znaki, ponieważ na wyjściu pojawi się tylko połowa danych wejściowych:

```
% echo 1234567890 | isprint_test
24680
%
```

Najlepsze powiadomienia o błędach to takie, które do zademonstrowania błędu wymagają użycia jednego lub najwyżej dwóch wierszy danych wejściowych w świeżym systemie i zawierają rozwiązanie. Wysyłaj takie powiadomienia o błędach, jakie sam chciałbyś otrzymywać.

5.8. Podsumowanie

Przy odrobinie dobrych chęci usuwanie błędów może być dobrą rozrywką, jak rozwiązywanie łamigłówek. Jednak bez względu na to, czy nam się to podoba, czy nie, sztukę tę będziemy uprawiać często i regularnie. Ponieważ fajnie by było, gdyby błędy nie istniały, staramy się pisać jak najlepszy kod od samego początku. W dobrze napisanym kodzie nie tylko jest mniej błędów, lecz także łatwiej je znaleźć, jeśli już się pojawią.

Po zauważeniu błędu w programie należy najpierw zastanowić się, co można wywnioskować z jego cech szczególnych. Skąd mógł się wziąć? Czy wygląda znajomo? Czy zmieniło się coś w programie? Czy w danych, które spowodowały jego wystąpienie, jest coś szczególnego? Czasami wystarczy kilka dobrze dobranych przypadków testowych i kilka instrukcji drukujących.

Jeśli nie ma żadnych tropów, to i tak najlepiej jest zacząć od dokładnego przemyślenia sprawy i próby zawężenia liczby podejrzanych miejsc. Jedną z możliwości jest stopniowe ograniczanie zbioru danych wejściowych, aby uzyskać niewielki zestaw powodujący awarię. Inną możliwością jest usuwanie po kolei fragmentów kodu źródłowego, które nie powinny mieć z tym nic wspólnego. Można do programu dodać kod sprawdzający, który włącza się dopiero po wykonaniu przez program określonej liczby działań. Wszystkie wymienione techniki to elementy ogólnej strategii „dziel i rządź", która równie dobrze sprawdza się zarówno w diagnozowaniu programów, jak i w polityce i działaniach wojennych.

Korzystaj także z innych pomocy. Niezwykle przydatne bywa objaśnienie działania kodu komuś innemu (choćby pluszowemu misiowi). Posłuż się programem diagnostycznym do sprawdzenia zawartości stosu wywołań. Użyj któregoś z komercyjnych narzędzi do wykrywania wycieków pamięci, przypadków naruszenia granic tablic, podejrzanego kodu itp. Z możliwości wykonywania kodu po jednej instrukcji skorzystaj wówczas, gdy stanie się jasne, że źle rozumiesz, jak działa kod.

Poznaj siebie i rodzaje błędów, które popełniasz. Kiedy znajdziesz i usuniesz jakiś błąd, sprawdź, czy w innych miejscach programu nie ma jeszcze podobnych usterek. Zastanów się, co się stało, aby móc w przyszłości uniknąć powtórzenia tej sytuacji.

Lektura uzupełniająca

Mnóstwo cennych informacji na temat usuwania błędów można znaleźć w książkach Steve'a Maguire'a *Writing Solid Code* (Microsoft Press, 1993) i Steve'a McConella *Kod doskonały* (Helion, 2010).

Skorowidz

Kobieta: Czy jest tu moja ciotka Minnie?

Driftwood: Cóż, możesz wejść i poszukać, jeżeli chcesz.
Jeśli jej tu nie ma, to zapewne możesz znaleźć kogoś równie dobrego.

Bracia Marx, *Noc w operze*

- #define, 31
- #ifdef, 207
- %f, 128
- %lf, 128
- &, 17
- .length, 32
- ?, 12, 18
- |, 17
- ++, 19, 22
- +=, 109
- <=, 24
- ==, 17
- 0, 31

A

- abstrakcja, 112, 208
- addfront, 55
- aktualizacja komentarza, 35
- algorytm, 8, 193
  - czas działania, 50
  - dane wejściowe, 44
  - jasny, 86
  - Markowa, 70, 72, 79, 90
    - test, 168
  - podstawowy, 39, 83
  - porównywanie czasu działania, 50
  - przeszukiwania,
    - binarnego, 41
    - sekwencyjnego, 40
  - przyspieszanie, 181
  - rola, 39
  - sortowania, 42, 47
  - tworzenia,
    - łańcuchów elementów, 166
    - tekstu, 85
  - usuwania nieużytków, 116
  - wybór, 68, 182
  - wymagania pamięciowe, 50
  - wyszukiwania binarnego, 42
  - zakończenie, 77
  - złożoność,
    - oczekiwana, 50
    - pesymistyczna, 50
- alokacja, 116
  - pamięci, 24, 166, 186, 192
- analiza
  - projektu, 8
  - składniowa drzewa, 63
- ANSI, 202
  - C, 46, 53, 202, 204
    - standard, 24
- API, 113, 204
- application programming interface, 113
- argumenty makra, 29
- Ariane 5, 165
- arytmetyczne
  - przesunięcie, 200
- asembler, 188
- asercja, 150

asocjacyjna
  tablica, 86
associative array, 86
atexit, 116
automatyzacja, 7, 254
  testów, 157
Awk, 9, 86, 87, 90, 158, 180, 193, 235, 237, 245

B

backwards compatibility, 215
bajty
  kolejność, 201
  porządek, 211
balanced tree, 61
B-drzewo, 63
Beta wersja, 168
bezwzględna
  wartość, 49
biała skrzynka, 167
biblioteka, 202
big-endian, 218
binarne
  przeszukiwanie, 46
  drzewo poszukiwań, 59, 60
bitowy
  operator, 17
  pole, 201
błąd
  asercja, 150
  błędne przekonanie, 136
  cechy usterki, 132
  diagnostyka, 127
  dodanie instrukcji wyświetlających informacje, 132
  dziennik, 134
  informacja, 151
  innych programistów, 143
  kompilatora, 143
  komunikat, 118
  minimalny zestaw danych wejściowych, 132
  na żądanie, 131
  nieregularny, 138
  nowy, 129
  obsługa, 99, 101, 117
  po zmianie, 129
  porównywanie plików, 135
  powielenie, 129
  przepełnienia bufora, 164
  roku 2000, 188
  rozmowa z pluszowym misiem, 131
  rzeczywiste działanie programu, 137
  składni, 21
  skutki lekceważenia, 130
  sprzętu, 138
  strumień, 134
  u jednej osoby, 140
  usuwanie, 125, 147
  uważne przeczytanie kodu, 131
  wykres, 134
  wykrywanie, 9
  wymuszanie powtarzalności, 131
  zasada obsługi, 119
  znajdowanie, 147
  znany, 144
boundary condition testing, 148
Bourne, 166
break, 27
Brooks, 69, 95
bsearch, 46
bucket, 64
bufor
  błąd przepełnienia, 164
  danych,
    wejściowych, 187
    wyjściowych, 187
  rozmiar, 76
bug, 125
build, 76

C

C, 9, 10, 17, 19, 22, 24, 27, 28, 31, 32, 40, 44, 48, 53, 54, 64, 66, 73, 81, 83, 89, 96, 103, 107, 114, 116, 121, 134, 139, 160, 177, 182, 184, 188, 189, 191, 196, 197, 199, 201, 202, 203, 213, 217, 231, 243
  wada, 79
  zaleta, 79
C++, 9, 14, 17, 19, 22, 24, 27, 28, 29, 31, 32, 40, 44, 47, 51, 53, 54, 59, 64, 66, 83, 89, 108, 110, 111, 113, 115, 116, 134, 139, 160, 163, 177, 182, 184, 188, 189, 191, 196, 198, 199, 201, 202, 213, 217, 243
case, 26
cel testowania, 167
cerr, 134
Chain, 80
char, 200
char **array, 40
clock, 177
Cohen, 218
comma-separated values, 94
Comparable, 47
const, 31
cost model, 191
cross-referencer, 143
CSV, 94, 95, 96, 108, 112
csvgetline, 96
ctime, 36, 153
ctype, 28
cyclic redundancy check, 67
cykliczna kontrola nadmiarowa, 67
czarna skrzynka, 167

czas
działania algorytmu, 50
mierzenie, 172, 177
pracy procesora, 178
użycia procesora, 177
wykonywania programu, 177
czytelne formatowanie, 16

D

dane, 64, 155
globalne, 34
na wyjściu, 155
najmniejszy typ, 189
oznaczanie końca, 77
statyczne, 54
struktura, 8, 39, 59
szkodliwe, 164
typ źle dobrany, 128
wejściowe, 187
wybór struktur, 89
wyjściowe, 187
wymiana, 209, 212
Date, 178
debugging, 125
debugowanie, 126, 256
decyzje
wielokierunkowe, 25
defensive programming, 122
defensywne programowanie, 122, 151
definicja,
pakietów, 202
pola, 99
dekrementacja, 19
deque, 84
design patterns, 91
deskryptywna
nazwa, 13
destruktor, 116
diagnostyka
błędów, 127
instrukcji, 127
kodu, 9
programu, 126, 140
diff, 135
Dijkstra, 147
długość słów, 85
dobry
interfejs, 112
kod, 37
technika sortowania, 63
zestaw testów, 161
domyślny rozmiar tablicy, 73
doświadczenia, 253
double, 187
do-while, 23
drukowanie elementów listy, 56
drzewo, 59
analiza składniowa, 63
korzeń, 59
niezrównoważone, 61
poszukiwań binarne, 59, 60
przeglądanie poprzeczne, 62
zrównoważone, 61
dublowanie elementów, 61
dwuznaczności unikanie, 16
dzieci węzeł, 60
dzielenie, 59
dziennik
błąd, 134

E

efekty uboczne, 19
efektywność wykorzystania pamięci, 190
elastyczność, 108
element
dostęp swobodny, 59
dublowanie, 61
grupowanie, 16
liczenie, 57
o zmiennym rozmiarze, 59
powiązany, 14, 64
przesuwanie, 53
wstawianie, 59
else, 25, 26
else-if, 25, 26
Ellis, 89
endian, 218
endprintf, 117
enum, 31
EOF, 200
estrdup, 118
ewaluacja, 19, 29
exception, 120

F

fall-through, 26
fclose, 151
fflush, 134
fgets, 24, 148
filtr spamu, 176
final, 31
find, 40
Flandren, 194
float, 187
flush, 134
flushcaches, 249
fopen, 151
for, 22, 23

format
  CSV, 94, 95, 96
  pętla, 22
formatowanie
  czytelne, 16
  wyrażenia, 16
fprintf, 151
fragment niejasny, 11
fread, 151
free, 192
funkcja
  generująca, 81
  komentarz, 34
  logiczna, 14
  łańcuchowa, 114
  mieszająca, 64, 67, 74, 75
  nazwa, 13, 14
  sortująca, 44
fwrite, 151

G

garbage collection, 116
generate, 242
generator
  liczb losowych, 49
  odsyłaczy, 143
  tekstu, 77
getchar, 23, 28
gets, 24, 164
getTime, 178
GIF, 190
globalne
  dane, 34
  optymalizator, 182
  zmiennne, 112
głowa, 54
główny nurt języka, 197
gorący punkt, 178, 184, 186
graficzne operacje, 188
gramatyka, 238
granice tabeli, 166
grep, 143, 172, 229, 234
grupowanie elementów, 16

H

Hashtable, 79, 83
head, 54
hermetyzacja, 112
hierarchiczna struktura danych, 59
Hoare, 42, 47

I

IBM 7094, 248
idealny komentarz, 33
idiom, 22, 24
idiomatyczny kod, 36
if, 20, 21, 25
if...else, 19, 25
implementacja,
  niezależne wyniki, 156
  programu, 8
indeksowania operator, 85
indexOf, 40
Inferno, 187
informacja
  o błędzie, 151
  ukrywanie, 99, 100, 112
inicjalizacja, 114
  statyczna, 115
  tablica, 167
  zmienna, 167
inkrementacja, 16, 19
in-order traversal, 62
insert, 62
instrukcja, 16
  diagnostyczna, 127
  sprawdzająca, 26
Integer, 48
interaktywnego programu test, 168
interfejs, 8, 47, 96, 99, 112, 208, 254, 256
  CSV, 112
  do tablic rozproszonych, 64
  dobry, 112
  duży, 113
  łatwy w użyciu, 123
  poprawny, 150
  programistyczny, 113
  publiczny, 80, 108
  użytkownika, 9, 121
  zasady tworzenia, 112
  zwięzły, 113
internacjonalizacja, 216
internationalization, 216
internetowy robak, 165
interpreter, 237
  poleceń, 234
isspam, 179
isupper, 28

J

jasny algorytm, 86
Java, 9, 14, 17, 22, 24, 27, 28, 31, 40, 47, 48, 51, 54, 58, 64, 79, 83, 89, 113, 115, 116, 121, 134, 178, 188, 199, 213
Java Virtual Machine, 242
jednokierunkowa lista, 54

jednolitość, 123
język
  mały, 222
  niskiego poziomu, 9, 188
  nurt główny, 197
  programowania, 9
  skryptowy, 236
  standard, 196
  wybór, 221
  wysokiego poziomu, 9
JIT, 247
just in time compilation, 247
JVM, 242

K

klamry, 27
klarowność, 26, 253
klasa, 201
  globalna, 13
  kontenerowa, 79
klucze, 64
Knuth, 167, 178, 194
kod
  diagnostyka, 9
  dobry, 37
  generowanie za pomocą makr, 246
  idiomatyczny, 36
  klarowny, 19, 36
  łatwość czytania, 12
  nizany, 240
  optymalizacja, 182
  pokrycie testami, 156
  przejrzysty, 18
  regulacja, 183
  samosprawdzający, 133
  spójny, 12
  sprytny, 18
  struktura, 16
    uwypuklenie, 20
  testowanie w czasie pisania, 151
  wolny od błędów, 147
  wyższej jakości, 151
  zależny od maszyny, 188
  zwięzły, 19, 86
  źródłowy, 12
Koenig, 245
kolejka, 14
  dwukierunkowa, 84
kolejność,
  bajtów, 201
  wykonywania obliczeń, 199
kolizja, 67
komentarz, 33, 34
  aktualizacja, 35
  cel stosowania, 37
  funkcja, 34
  idealny, 33
  niejasny, 37
kompilacja
  na czas, 247
  w locie, 247
  warunkowa, 205
kompilator, 166, 182, 184, 195, 197, 243, 250
  błąd, 143
  optymalizacji kodu, 182
  testowanie, 155, 201
komputer zasady korzystania, 7
komunikat, 217
  o błędzie, 118
konflikt nazw, 113
konstruktor, 115, 116
kontener, 83
konwencje, 12
konwersji współczynnik, 29
końcowy warunek, 149
kopiowanie, 59, 114
korzeń drzewa, 59
kosztów model, 191
krotka, 120
kubełek, 64

L

last-in-first-out, 59
liczba, 29, 31
  0, 31
  całkowita, 45, 191
  double, 128
  losowa, 49
  zmiennoprzecinkowa, 191
liczenie elementów, 57
licznik odniesień, 116
LIFO, 59
liniowe przeszukiwanie, 40
lista, 54, 83
  drukowanie elementów, 56
  jednokierunkowa, 54
  modyfikacja, 55
  pamięć wolna, 186
  tworzenie, 55
  usuwanie, 57, 58
liść, 61
literate programming, 245
little languages, 222
locality, 186
Locanthi, 246
logiczne przesunięcie, 200
lokalności zasada, 186
lookup, 62
losowa liczba, 49

Ł

łańcuch
 algorytm tworzenia, 166
 nazwa, 13
 Markowa , 70, 79
łańcuchowa funkcja, 114
łatwy w użyciu interfejs, 123

M

mainstream, 197
makro, 28, 31, 32
 argumenty, 29
 generowanie kodu, 246
 problem, 28
malloc, 24, 129, 192
małe języki, 222
map, 79, 84, 85
markov, 70, 91, 163, 170
maszyna,
 stosowa, 240
 wirtualna, 237
Math.abs, 49
mechanizm wyjątków, 120
memcmp, 179, 183
memcopy, 53
memcpy, 113
memmove, 53, 113, 188
memset, 161, 188
metacharacters, 228
metaznaki, 228
Microsoft Visual C++ 5.0, 163
mierzenie czasu, 172, 177
mieszająca funkcja, 74
Mitchell, 89
mocy zmniejszenie, 184
model,
 kosztów, 191
 statystyczny tekstu, 70
Modula-3, 243
modularyzacja, 112

N

nadmiarowa kontrola cykliczna, 67
najmniejsze typy danych, 189
najprostsza struktura danych, 53
najwspanialsze osiągnięcie informatyki, 64
Nameval, 51
NaN, 120
nawiasy, 16
 klamrowe, 20
nazwa, 13
 deskryptywna, 13
 elementy powiązane, 14
 funkcja, 14
  logiczna, 14
 klasa globalna, 13
 konflikt, 113
 łańcuch, 13
 niespójna, 14
 prywatna, 113
 stała, 13
 struktura globalna, 13
 wskaźnik, 13
 zmienna,
  globalna, 13
  lokalna, 13
  pętlowa, 13
negacja, 35
new, 129
niedorzeczne wartości, 128
niejasny
 fragment, 11
 komentarz, 37
niepoprawne dane wejściowe, 122
nieprzezroczysty typ, 112
niesłychanie duża wartość, 128
niespójna nazwa, 14
nietypowe sytuacje, 120
niezależne implementacje, 156
niezamykanie plików, 138
niezrównoważone drzewo, 61
niskopoziomowy język, 9
nizany kod, 240
not a number, 120
notacja, 221, 254
 O, 50
 programowanie, 9
nowy węzeł, 61
null, 32
numerycznego programu test, 155
nurt główny języka, 197
nvcmp, 46

O

obciążeniowe testy, 9
obiektu rozmiar, 32
Object, 47, 48
obliczenia
 kolejność wykonywania, 199
 zawczasu, 187
obsługa błędów, 99, 101, 117
 zasada, 119
oczekiwana złożoność algorytmu, 50
odsyłaczy generator, 143
odzyskiwanie zasobów, 116
ogonowa rekurencja, 62
ogólność, 253
 programowania, 7

on the fly compilation, 247
O-notation, 50
operacja
 graficzna, 188
 wejścia, 19
 wyjścia, 19
operator, 16
 bitowy, 17
 indeksowania, 85
 logiczny, 17
 priorytet, 17
 przeciążanie, 189
 przypisania, 17
 relacji, 17, 24
opóźnienia w dostarczaniu poczty, 172
optymalizacja, 184, 193
 gospodarowania pamięcią, 189
 kodu kompilatora, 182
 wykorzystania zasobów, 9
 zasada, 171
optymalizator globalny, 182
oszczędzanie pamięci, 190
oznaczanie końca danych, 77

P

pair, 120
pakietów definicja, 202
pamięć, 114
 alokowanie, 24, 166, 186, 192
 efektywność wykorzystania, 190
 optymalne gospodarowanie, 189
 oszczędzanie, 190
 podręczna, 186
 wolna, 186
 wyciek, 138
 zwalnianie, 192
Pathfinder, 130
Perl, 9, 86, 87, 90, 237
pesymistyczna złożoność algorytmu, 50
pętla, 16, 21, 22, 23, 24, 148
 eliminacja, 185
 format, 22
pierwsze wystąpienie znaku, 40
pisanie kodu, 151
piśmienne programowanie, 245
plik
 dziennika, 134
 nagłówkowy, 202
 niezamykanie, 138
poczty opóźnienia w dostarczaniu, 172
podręczna pamięć, 186
podstawowe algorytmy, 39, 83
pole
 bitowe, 201
 definicja, 99
pomiary, 193
 wykonywanie, 172
poprawa wydajności, 175
poprawność interfejsu, 150
porównywanie
 czasu działania algorytmów, 50
 liczb całkowitych, 45
portability, 195
Portable Operating System Interface, 218
porządek bajtów, 211
POSIX, 204, 218
post-order traversal, 63
PostScript, 245
potok, 249
potomek, 60, 61
powiązane elementy, 64
pozycja znaku, 29
PPM, 190
praktyka programowania, 7, 12
Prefix, 81, 82
pre-order traversal, 63
printf, 97, 128, 222
priorytetu operator, 17
problemu rozmiar, 50
procedura przeszukująca, 40
procesor, 195
prof, 178
profil, 172, 173, 178
program
 diagnostyczny, 126, 140
  wady, 127
  zalety, 126
 do powszechnego użytku, 90
 generujący tekst, 69
 graficzny, 155
 implementacja, 8
 interaktywny, 168
 jak napisać, 12
 numeryczny, 155
 odporny na niepoprawne dane wejściowe, 122
 pisze programy, 242
 profilujący, 172, 173,178
 prototyp, 98
 przekazanie do użytku, 166
 przenośny, 9, 195
 przyspieszanie działania, 183
 rzeczywiste działanie, 137
 spowolnienie, 189
 struktura, 143
 włamanie, 164
 wydajność, 88, 188
 złożoność obliczeniowa, 181
programowanie
 defensywne, 122, 151
 notacja, 9
 ogólność, 7

programowanie
  piśmienne, 245
  praktyka, 7, 12
  prostota, 7
  przejrzystość, 7
  styl, 8, 38
  zasady, 12
projektu analiza, 8
prostota programowania, 7, 253
prototyp, 197
  programu, 98
prywatna nazwa, 113
przechowywanie elementów o zmiennym rozmiarze, 59
przeciążanie operatorów, 189
przeglądanie
  poprzeczne, 62
  wsteczne, 63
  wzdłużne, 63
przejrzystość, 13
  programowanie, 7
przekazanie programu do użytku, 166
przenośność programów, 9, 142, 195, 214, 257
przepełnienie, 46
  bufora, 164
przesunięcie
  arytmetyczne, 200
  elementu, 53
  logiczne, 200
przeszukiwanie
  binarne, 41, 46
  liniowe, 40
  procedura, 40
  sekwencyjne, 40
  tablicy, 154
  tekstu, 143
przydzielanie pamięci, 114
przypisanie, 16
  operator, 17
  wstawianie do warunku pętli, 23
przyspieszanie
  algorytmu, 181
  działania programu, 174, 183
  struktury danych, 181
publiczny interfejs, 80, 108
pułapki językowe, 198
punkt gorący, 184, 186
putchar, 23

Q

qsort, 44, 45, 46
queue, 14
quicksort, 42, 49

R

rama testowa, 154, 159, 162, 193
rand, 49
RCS, 135
real, 177
realloc, 129
reduction in strength, 184
reentrant, 116
reference count, 116
referencja, 115
regression testing, 157
regresywne testowanie, 157, 180, 184
regulacja kodu, 183
regular expressions, 228
regularne wyrażenia, 228
rekurencja, 47
  ogonowa, 62
relacji operator, 17, 24
reputacji utrata, 143
rgen, 49
robak internetowy, 165
rozmiar
  bufora, 76
  obiektu, 32
  problemu, 50
  tablicy, 29, 33, 66, 104
  typów danych, 198
rozszerzalna tablica, 51
rozwój, 253
rzutowanie, 53

S

samodzielne testy, 158
samosprawdzający się kod, 133
scalanie, 59
scanf, 96, 128, 151
scmp, 45
sekwencyjne wyszukiwanie, 40
sentinel, 77
shaney, 91
sizeof, 32
składni błędy, 21
skrócenie czasu usuwania usterek, 125
skrypt testowy, 158
skryptowy język, 236
słowa, 73, 85
słownik, 84, 87
  struktura danych, 79
sort, 47, 49
sortowanie
  algorytm, 42, 47
  dobra technika, 63
  funkcja, 44
  szybkie, 42
  tablic łańcuchów, 45

spam, 172
  filtr, 176
specyfikacja, 101
  zawartość, 101
split, 103, 105, 109
sposoby doboru testów, 154
spójność, 20, 22, 114
  kodu, 12
  zewnętrzna, 114
sprzętu błąd, 138
stała, 19, 31
  całkowitoliczbowa, 31
  nazwa, 13
  znakowa, 31
stanu utrzymywanie, 114
standard, 197, 202
  ANSI C, 24, 202, 222, 225
  ANSI/ISO języka C, 196
  ISO języka C++, 196
  języka, 196
Standard Template Library, 83
State, 73
statyczna inicjalizacja, 115
statyczne dane, 54
stderr, 134
stdout, 113
STL, 59, 83, 90, 120, 163
stos, 59, 186
  wywołań, 126, 130
strchr, 40, 179
strcmp, 36, 45
strcpy, 24
strdup, 24
StreamTokenizer, 80
strerror, 120
String, 40, 48
strings, 140
strlen, 24, 179
strncmp, 179
stronicowanie, 189
strstr, 40, 173, 176, 179
strtok, 96, 105, 113
struktura
  danych, 8, 39, 201
    najprostsza, 53
    słownik, 79
  globalna nazwa, 13
  kodu, 16
  programu, 143
strumienie błędów, 134
styl, 12, 255
  funkcja, 12
  programowania, 8, 38
swap, 49
Swift, 218
swobodny dostęp do elementów, 59
symbole,
  tablica, 64
  wieloznaczne, 228
SYS, 177
system
  zależności, 208
  operacyjny, 195
System.err, 134
systematyczne testowanie niewielkich przypadków, 154
sytuacje nietypowe, 120
szkodliwe dane wejściowe, 164
szybkie sortowanie, 42

T

tabela
  granice, 166
tablica, 40, 53
  asocjacyjna, 86
  domyślny rozmiar, 73
  inicjalizacja, 167
  łańcuchów, 45
  mieszająca, 51, 64, 80
    funkcja tworząca, 75
  przeszukanie, 154
  rozmiar, 29, 33, 66, 104
  rozproszona, 64
  rozszerzalna, 51
  słowa, 73
  symboli, 64
  znaków, 108
tail recursion, 62
Tcl/Tk, 9
technika usuwania błędów, 125
tekst
  algorytm tworzenia, 85
  generowanie, 77
  model statystyczny, 70
  przeszukiwanie, 143
test, 9, 147, 153, 193, 256
  algorytm Markowa, 168
  automatyzacja, 157
  białej skrzynki, 167
  cel, 167
  czarnej skrzynki, 167
  dobry zestaw, 161
  duża ilości danych, 163
  kompilator, 155
  obciążeniowy, 9
  pokrycia kodu, 156
  programu,
    graficznego, 155
    interaktywnego, 168
    numerycznego, 155
  przeciążeniowy, 163
  rama, 154, 159, 162

test
- regresywny, 157, 180, 184
- samodzielny, 158
- sposoby doboru, 154
- stopniowy, 153
- systematyczny, 153
- testu, 168
- ustawienia parametrów wejściowych, 167
- w czasie pisania kodu, 151
- wartości brzegowych, 9, 148
  - rozszerzenie metody, 154
- wzorcowy, 194
- zautomatyzowanie, 154
- zestaw, 153, 167, 174

TEX, 167
Thompson, 194, 248
threaded code, 240
time, 177
tuple, 120
tworzenie listy, 55
typ danych
- najmniejszych, 189
- nieprzezroczysty, 112
- rozmiar, 198
- źle dobrany, 128

U

uboczne efekty, 19
ukrywanie informacji, 99, 100, 112
unia, 201
Unicode, 216
unikanie dwuznaczność, 16
unquote, 96
unsigned char, 66
ustawianie wartości początkowych, 115
usterki czas usuwania, 125
usuwanie
- błędów, 147
- listy, 57, 58
- usterek, 125

UTF-8, 217
utrata reputacji, 143
utrzymywanie stanu, 114
użytkownika interfejs, 9, 121

V

Vector, 79, 83, 84, 108
Visual Basic, 9, 243
void*, 44, 53

W

wartości
- bezwzględne, 49
- brzegowych testowanie, 9
- niedorzeczne, 128
- niesłychanie duże, 128
- oddzielane przecinkami, 94
- początkowych ustawianie, 115
- zmiennej modyfikacja, 19

wartownik, 77
warunek, 25
- brzegowy, 148
- końcowy, 149
- pętli, 23
- wstępny, 149

warunkowa,
- kompilacja, 205
- wyrażenie, 19

wcięcia, 16, 20, 21
wczytywanie liczb typu double, 128
wejście, 19
wektor, 83
weprintf, 61, 117
wersja beta, 168
węzeł
- dzieci, 60
- nowy, 61

while, 23, 26
wielokierunkowe decyzje, 25
wielowejściowy program, 116
wildcards, 228
wiszący wskaźnik, 139
włamanie do programu, 164
właściwości danych wejściowych, 155
wprintf, 203
wskaźnik
- brakującego potomka, 60
- nazwy, 13
- wiszący, 139

współczynnik konwersji, 29
współdzielenie, 114
wstawianie elementu, 59
wsteczna zgodność, 215
wstępny warunek, 149
wybór
- algorytmu, 68, 182
- języka, 9, 221
- struktur danych, 89

wycieki pamięci, 138
wydajność, 171, 257
- analiza graficzna, 180
- poprawa, 175
- program, 88, 188

wyjątek, 120
wyjście, 19

wykładnicza złożoność obliczeniowa, 51
wykonywanie pomiarów, 172
wykorzystania zasobów optymalizacja, 9
wykres błędów, 134
wykrywanie błędów, 9
wymagania pamięciowe algorytmu, 50
wymiana danych, 209, 212
wyniki niezależnych implementacji, 156
wyrażenia, 16
    formatowanie, 16
    regularne, 228
    skomplikowane, 17
    warunkowe, 19
wysokiego poziomu język, 9
wyszukiwanie
    binarne, 42
    sekwencyjne, 40
wywołanie
    stos, 126, 130
wzorzec projektowy, 91

Y

Yorktown, 150, 151

Z

zależności systemowe, 208
zarządzanie zasobami, 58, 99, 100, 114
zasada
    korzystania z komputera, 7
    lokalności, 186
    obsługi błędów, 119
    optymalizacji, 171
    programowania, 12
zasoby
    odzyskiwanie, 116
    zarządzanie, 58, 99, 100, 114
zautomatyzowanie testowania, 154
zbiór, 83
    klas kontenerowych, 79
zero, 31
zestaw
    testów, 153, 167, 174
    znaków, 216
zewnętrzna spójność, 114
zgodność wsteczna, 215
złożoność obliczeniowa, 50, 56, 181
    wykładnicza, 51
zmienna, 103
    globalna, 13, 112
    inicjalizacja, 167
    lokalna, 13
    modyfikacja wartości, 19
    nazwa, 13
    pętlowa, 13
    wewnętrzna, 103
zmniejszenie mocy, 184
znak
    pierwsze wystąpienie, 40
    pozycja, 29
    tablica, 108
    zapytania, 12
    zestaw, 216
zrównoważone drzewo, 61
zwalnianie pamieci, 114, 192
zwiększenie wydajności programu, 188
zwięzłość, 13
    kodu, 86

LEKCJA PROGRAMOWANIA

Najlepsze praktyki

KANON INFORMATYKI

Czy zdarzyło Ci się kiedykolwiek…

- **pominąć oczywisty błąd w programie i spędzić cały dzień na szukaniu go?**
- **próbować wprowadzić sensowne zmiany w programie napisanym przez kogoś innego?**
- **przepisać program od nowa, bo nie dało się go zrozumieć?**

Jeśli tak, w przyszłości na pewno chciałbyś tego uniknąć! Takie problemy dla zbyt wielu programistów są niestety chlebem powszednim. Dzieje się tak między innymi dlatego, że testowanie, diagnostyka, przenośność, wydajność czy styl programowania są często traktowane po macoszemu przez osoby tworzące oprogramowanie. A świat rządzony przez olbrzymie interfejsy, wciąż zmieniające się narzędzia, języki czy systemy nie sprzyja podstawowym zasadom tworzenia dobrego kodu – **prostocie, ogólności i przejrzystości**.

Programowanie to coś więcej niż samo pisanie kodu. W książce „Lekcja programowania. Najlepsze praktyki" znajdziesz opis wszystkich zagadnień, z którymi styka się programista – od projektowania, poprzez usuwanie usterek, testowanie kodu czy poprawę jego wydajności, po problemy związane z poprawianiem oprogramowania napisanego przez innych. Wszystko zostało oparte na zaczerpniętych z realnych projektów przykładach, napisanych w językach C, C++, Java i innych.

Stwórz swój własny kod w najlepszym stylu!

Brian W. Kernighan i **Rob Pike** pracują w Computing Science Research Center w Bell Laboratories, Lucent Technologies. Brian Kernighan pracuje także dla wydawnictwa Addison-Wesley jako konsultant serii książek „Professional Computing"; napisał też wraz z Dennisem Ritchie książkę „Język ANSI C".

Rob Pike jest głównym architektem i programistą systemów operacyjnych Plan 9 oraz Inferno. W swojej pracy badawczej interesuje się tworzeniem oprogramowania, które pomaga ludziom pisać ich własne programy.

Tylko tutaj znajdziesz omówienie następujących zagadnień:

- **Styl:**
  pisanie kodu, który dobrze działa i przyjemnie się czyta
- **Projektowanie:**
  wybór algorytmów i struktur danych najlepiej nadających się do określonego zadania
- **Interfejsy:**
  kontrolowanie relacji między składnikami programów
- **Usuwanie błędów:**
  szybkie i metodyczne wyszukiwanie błędów
- **Testowanie:**
  zapewnianie niezawodności i poprawności oprogramowania
- **Wydajność:**
  maksymalizowanie szybkości działania programów
- **Przenośność:**
  pisanie programów, które działają wszędzie bez żadnych zmian
- **Notacja:**
  wybór języków i narzędzi, które pozwalają maszynie zrobić więcej

helion.pl księgarnia internetowa

Helion

Sprawdź najnowsze promocje:
http://helion.pl/promocje
Książki najchętniej czytane:
http://helion.pl/bestsellery
Zamów informacje o nowościach:
http://helion.pl/nowosci

Nr katalogowy: 6625

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
http://helion.pl

Cena 47,00 zł
ISBN 978-83-246-3226-8

Informatyka w najlepszym wydaniu