

Robert Love



# Jądro Linuksa

Przewodnik programisty

Wnieś swój wkład w rozwój Linuksa!



Tytuł oryginału: Linux Kernel Development (3rd Edition)

Tłumaczenie: Przemysław Szeremiota

ISBN: 978-83-246-4273-1

Authorized translation from the English edition, entitled: LINUX KERNEL DEVELOPMENT, Third Edition; ISBN 0672329468; by Robert Love; published by Pearson Education, Inc, publishing as Addison Wesley.

Copyright © 2010 by Pearson Education, Inc.

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 Pearson Education, Inc.

Polish language edition published by HELION S.A., Copyright © 2014.

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 bierze jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Wydawnictwo HELION nie ponosi również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE  
tel. 32 231 22 19, 32 230 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/jadlin>  
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

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

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

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	<b>17</b>
<b>Wstęp</b> .....	<b>19</b>
<b>Rozdział 1. Jądro systemu Linux — wprowadzenie</b> .....	<b>25</b>
Historia Uniksa .....	25
Wprowadzenie do systemu Linux .....	27
Przegląd systemów operacyjnych .....	29
Jądro Linuxa a jądro klasycznego systemu uniksowego .....	31
Oznaczenia wersji jądra Linuxa .....	34
Społeczność programistów jądra Linuxa .....	35
Zanim zaczniemy .....	36
<b>Rozdział 2. Linux — zaczynamy</b> .....	<b>37</b>
Kod źródłowy jądra .....	37
Git .....	37
Instalowanie źródeł jądra z archiwum .....	38
Aplikowanie łat .....	39
Struktura katalogów kodu źródłowego jądra .....	39
Kompilowanie jądra .....	40
Konfigurowanie jądra .....	41
Minimalizacja szumu podczas kompilacji .....	43
Kompilacja na wielu frontach .....	43
Instalowanie nowego jądra .....	44
Odmienność jądra .....	45
Brak implementacji i nagłówek biblioteki standardowej C .....	45
GNU C .....	47
Brak mechanizmu ochrony pamięci .....	49
Niemożność (łatwego) korzystania z operacji zmiennoprzecinkowych .....	50
Ograniczony co do rozmiaru (i stały) stos .....	50
Synchronizacja i współbieżność .....	50
Znaczenie przenośności .....	51
Podsumowanie .....	51

<b>Rozdział 3. Zarządzanie procesami .....</b>	<b>53</b>
Proces .....	53
Deskryptor procesu i struktura zadania .....	55
Przydział deskryptora procesu .....	55
Przechowywanie deskryptora procesu .....	57
Stan procesu .....	58
Manipulowanie bieżącym stanem procesu .....	59
Kontekst procesu .....	60
Drzewo procesów .....	60
Tworzenie procesu .....	62
Kopiowanie przy zapisie .....	62
Rozwidlanie procesu .....	63
Wywołanie vfork() .....	64
Wątki w systemie Linux .....	65
Tworzenie wątków .....	66
Wątki jądra .....	67
Zakończenie procesu .....	68
Usuwanie deskryptora procesu .....	70
Problem zadań osieroconych .....	71
Podsumowanie .....	73
<b>Rozdział 4. Szeregowanie zadań .....</b>	<b>75</b>
Wielozadaniowość .....	75
Planista zadań w Linuksie .....	77
Strategia postępowania .....	77
Procesy ograniczone wejściem-wyjściem	
a procesy ograniczone procesorem .....	78
Priorytet procesu .....	79
Kwant czasu procesora .....	80
Strategia szeregowania w działaniu .....	81
Algorytm szeregowania zadań w Linuksie .....	82
Klasy szeregowania .....	82
Szeregowanie procesów w systemach klasy Unix .....	82
Sprawiedliwe szeregowanie zadań .....	85
Implementacja szeregowania zadań w Linuksie .....	87
Zliczanie czasu wykonania .....	87
Wybór procesu .....	89
Punkt wejścia do planisty CFS .....	94
Zawieszanie i wybudzanie procesów .....	95
Wywłaszczanie i przelączenie kontekstu .....	99
Wywłaszczanie procesu użytkownika .....	100
Wywłaszczanie jądra .....	101
Szeregowanie czasu rzeczywistego .....	102

Wywołania systemowe związane z szeregowaniem .....	103
Wywołania wpływające na strategię szeregowania i wartości priorytetów .....	104
Wywołania systemowe sterujące kojarzeniem procesów z procesorami .....	105
Odstąpienie procesora .....	105
Podsumowanie .....	106
<b>Rozdział 5. Wywołania systemowe .....</b>	<b>107</b>
Komunikacja z jądrem systemu .....	107
API, POSIX i biblioteka C .....	108
Wywołania systemowe .....	109
Numery wywołań systemowych .....	111
Wydajność wywołania systemowego .....	111
Procedura obsługi wywołań systemowych .....	111
Oznaczenie właściwego wywołania systemowego .....	112
Przekazywanie argumentów .....	113
Implementacja wywołania systemowego .....	113
Implementowanie wywołań systemowych .....	114
Weryfikacja argumentów .....	114
Kontekst wywołania systemowego .....	118
Wiązanie wywołania systemowego .....	119
Inicjowanie wywołania systemowego z przestrzeni użytkownika .....	120
Sześć powodów, aby nie implementować wywołań systemowych .....	121
Podsumowanie .....	122
<b>Rozdział 6. Struktury danych jądra .....</b>	<b>123</b>
Listy .....	123
Listy jedno- i dwukierunkowe .....	124
Listy cykliczne .....	124
Implementacja list w jądrze Linuksa .....	126
Operacje na listach .....	128
Przeglądanie list .....	131
Inne operacje na listach .....	134
Kolejki .....	135
kfifo .....	135
Tworzenie kolejki .....	136
Zakolejkowanie .....	137
Wyciąganie danych .....	137
Określanie rozmiaru kolejki .....	137
Zerowanie i usuwanie kolejki .....	138
Przykład użycia kolejki kfifo .....	138

Mapy .....	139
Inicjalizowanie mapy idr .....	140
Przydział nowego identyfikatora UID .....	140
Odwzorowanie UID na wskaźnik .....	141
Usuwanie UID .....	142
Usuwanie idr .....	142
Drzewa binarne .....	143
Drzewa BST .....	143
Zrównoważone drzewa BST .....	144
Drzewa czerwono-czarne .....	145
rbtree .....	146
Kiedy i jakiej struktury użyć? .....	148
Złożoność obliczeniowa .....	149
Algorytmy .....	149
Notacja O .....	149
Notacja theta .....	150
Złożoność czasowa .....	150
Podsumowanie .....	151
<b>Rozdział 7. Przerwania i procedury obsługi przerwania .....</b>	<b>153</b>
Przerwania .....	154
Procedury obsługi przerwania .....	155
Połówki górne i dolne .....	156
Rejestrowanie procedury obsługi przerwania .....	157
Znaczniki procedury obsługi przerwania .....	158
Przykładowe przerwanie .....	159
Zwalnianie procedury obsługi przerwania .....	160
Tworzenie procedury obsługi przerwania .....	160
Procedury obsługi przerwania współużytkowanych .....	162
Prawdziwa procedura obsługi przerwania .....	163
Kontekst przerwania .....	165
Implementacja obsługi przerwania .....	166
/proc/interrupts .....	168
Kontrola przerwania .....	169
Wyłączanie i włączanie przerwania .....	170
Blokowanie konkretnej linii przerwania .....	172
Stan systemu przerwania .....	173
Podsumowanie .....	174
<b>Rozdział 8. Dolne połówki i czynności odroczone .....</b>	<b>175</b>
Połówki dolne .....	176
Po co dolne połówki? .....	177
Świat dolnych połówek .....	178

Przerwania programowe .....	181
Implementacja przerwania programowych .....	181
Korzystanie z przerwania programowych .....	183
Tasklety .....	186
Implementacja taskletów .....	186
Korzystanie z taskletów .....	189
Wątek jądra ksoftirqd .....	191
Dawny mechanizm BH .....	193
Kolejki prac .....	194
Implementacja kolejek prac .....	195
Korzystanie z kolejek prac .....	199
Dawny mechanizm kolejkowania zadań .....	201
Jak wybrać implementację dolnej połówki? .....	202
Blokowanie pomiędzy dolnymi połówkami .....	204
Wyłączanie dolnych połówek .....	204
Podsumowanie .....	206
<b>Rozdział 9. Wprowadzenie do synchronizacji jądra .....</b>	<b>207</b>
Sekcje krytyczne i przeplot operacji .....	208
Po co ta ochrona? .....	208
Zmienna globalna .....	210
Blokowanie .....	211
Źródła współbieżności .....	213
Co wymaga zabezpieczenia? .....	215
Zakleszczenia .....	216
Rywalizacja a skalowalność .....	218
Podsumowanie .....	220
<b>Rozdział 10. Metody synchronizacji jądra .....</b>	<b>221</b>
Operacje niepodzielne .....	221
Niepodzielne operacje na liczbach całkowitych .....	222
64-bitowe operacje niepodzielne .....	226
Niepodzielne operacje bitowe .....	228
Rygle pętlowe .....	230
Interfejs rygli pętlowych .....	231
Inne metody blokowania ryglami pętlowymi .....	234
Rygle pętlowe a dolne połówki .....	234
Rygle pętlowe R-W .....	235
Semafore .....	238
Semafore binarne i zliczające .....	239
Tworzenie i inicjalizowanie semaforów .....	240
Korzystanie z semaforów .....	240
Semafore R-W .....	241

Muteksy .....	243
Muteksy czy semafor? .....	245
Muteksy czy rygle pętlowe? .....	245
Zmienne sygnałowe .....	245
Blokada BKL (Big Kernel Lock) .....	246
Blokady sekwencyjne .....	247
Blokowanie wyłączenia .....	249
Bariery pamięciowe .....	251
Podsumowanie .....	255
<b>Rozdział 11. Liczniki i zarządzanie czasem .....</b>	<b>257</b>
Czas z punktu widzenia jądra .....	258
Częstotliwość taktowania — HZ .....	259
Optymalna wartość HZ .....	260
Zalety wysokich wartości HZ .....	261
Wady wysokich wartości HZ .....	262
Chwilki .....	263
Wewnętrzna reprezentacja zmiennej jiffies .....	264
Zawijanie zmiennej jiffies .....	266
HZ a przestrzeń użytkownika .....	267
Zegary i liczniki sprzętowe .....	268
Zegar czasu rzeczywistego .....	268
Zegar systemowy .....	269
Procedura obsługi przerwania zegarowego .....	269
Data i godzina .....	272
Liczniki .....	274
Korzystanie z liczników .....	275
Liczniki i sytuacje hazardowe .....	277
Implementacja licznika .....	277
Opóźnianie wykonania .....	278
Oczekiwanie w pętli aktywnej .....	278
Krótkie opóźnienia .....	280
Funkcja <code>schedule_timeout()</code> .....	281
Implementacja funkcji <code>schedule_timeout()</code> .....	282
Podsumowanie .....	284
<b>Rozdział 12. Zarządzanie pamięcią .....</b>	<b>285</b>
Strony .....	285
Strefy .....	287
Pozyskiwanie stron pamięci .....	290
Pozyskiwanie czystych stron pamięci .....	291
Zwalnianie stron .....	291
Funkcja <code>kmalloc()</code> .....	292
Znaczniki <code>gfp_mask</code> .....	293
Funkcja <code>kfree()</code> .....	298



Funkcja <code>vmalloc()</code> .....	299
Alokator plastrowy .....	301
Zadania alokatora plastrowego .....	302
Interfejs alokatora plastrowego .....	305
Przydział z pamięci podręcznej .....	307
Statyczne przydziały na stosie .....	309
Jednostronicowy stos procesów jądra .....	309
Ostrożnie ze stosem .....	310
Odwzorowanie pamięci wysokiej .....	310
Odwzorowanie trwałe .....	311
Odwzorowania czasowe .....	311
Przydziały lokalne względem procesora .....	312
Interfejs percpu .....	313
Statyczne dane lokalne względem procesora .....	313
Dynamiczne dane lokalne względem procesora .....	314
Przydatność danych lokalnych względem procesora .....	315
Wybór metody przydziału pamięci w kodzie jądra .....	316
Podsumowanie .....	317
<b>Rozdział 13. Wirtualny system plików .....</b>	<b>319</b>
Wspólny interfejs systemu plików .....	320
Warstwa abstrakcji systemu plików .....	320
Uniksowy system plików .....	322
Obiekty VFS i ich struktury danych .....	323
Obiekt bloku głównego .....	325
Operacje bloku głównego .....	326
Obiekt i-węzła .....	329
Operacje i-węzła .....	331
Obiekt wpisu katalogowego .....	334
Stan wpisu katalogowego .....	335
Bufor wpisów katalogowych .....	336
Operacje na wpisach katalogowych .....	337
Obiekt pliku .....	339
Operacje na plikach .....	340
Struktury danych systemu plików .....	343
Struktury danych procesu .....	345
Podsumowanie .....	347
<b>Rozdział 14. Blokowe urządzenia wejścia-wyjścia .....</b>	<b>349</b>
Anatomia urządzenia blokowego .....	350
Bufory i nagłówki buforów .....	351
Struktura bio .....	354
Wektory wejścia-wyjścia .....	355
Stare a nowe .....	357

Kolejki zleceń .....	357
Zawiadywanie operacjami wejścia-wyjścia .....	358
Zadania planisty operacji wejścia-wyjścia .....	359
Winda Linusa .....	360
Terminowy planista operacji wejścia-wyjścia .....	361
Przewidujący planista operacji wejścia-wyjścia .....	363
Sprawiedliwy planista kolejkowania operacji wejścia-wyjścia ....	364
Nieingerujący planista operacji wejścia-wyjścia .....	365
Wybór planisty operacji wejścia-wyjścia .....	366
Podsumowanie .....	366
<b>Rozdział 15. Przestrzeń adresowa procesu .....</b>	<b>367</b>
Przestrzeń adresowa .....	367
Deskryptor pamięci .....	369
Przydział deskryptora pamięci .....	371
Zwalnianie deskryptora pamięci .....	371
Struktura mm_struct i wątki jądra .....	372
Obszary pamięci wirtualnej .....	372
Znaczniki VMA .....	374
Operacje VMA .....	375
Obszary pamięci na listach i w drzewach .....	376
Obszary pamięci w praktyce .....	377
Manipulowanie obszarami pamięci .....	379
Funkcja find_vma() .....	379
Funkcja find_vma_prev() .....	381
Funkcja find_vma_intersection() .....	381
Tworzenie interwału adresów	
— wywołania mmap() i do_mmap() .....	381
Usuwanie interwału adresów	
— wywołania munmap() i do_munmap() .....	383
Tablice stron .....	384
Podsumowanie .....	386
<b>Rozdział 16. Pamięć podręczna stron i opóźniony zapis stron w tle .....</b>	<b>387</b>
Modele pamięci podręcznych .....	387
Buforowanie zapisów .....	388
Eksmisja z pamięci podręcznej .....	389
Pamięć podręczna stron w Linuksie .....	391
Obiekt address_space .....	391
Operacje na obiektach address_space .....	392
Drzewo pozycyjne .....	395
Tablica skrótów stron .....	395
Pamięć podręczna buforów .....	396

Wątki zapisu w tle .....	396
Tryb laptopowy .....	398
Rys historyczny — bdflush, kupdated i pdflush .....	399
Eliminowanie obciążenia operacjami wejścia-wyjścia .....	400
Podsumowanie .....	401
<b>Rozdział 17. Sterowniki i moduły .....</b>	<b>403</b>
Typy urządzeń .....	403
Moduły .....	404
Hello, world! .....	405
Kompilowanie modułów .....	406
Instalowanie modułów .....	409
Generowanie zależności międzymodułowych .....	409
Ładowanie modułów .....	410
Zarządzanie opcjami konfiguracji jądra .....	411
Parametry modułów .....	413
Symbole eksportowane .....	415
Model sterowników .....	416
Obiekty jądra .....	417
Typy obiektów jądra .....	418
Grupy obiektów jądra .....	419
Powiązania pomiędzy obiektami, typami i grupami obiektów jądra .....	419
Zarządzanie i operowanie obiektami jądra .....	420
Zliczanie odwołań .....	421
System plików sysfs .....	423
Dodawanie i usuwanie obiektów jądra w sysfs .....	426
Dodawanie plików do sysfs .....	427
Kernel Event Layer .....	430
Podsumowanie .....	431
<b>Rozdział 18. Diagnostyka błędów jądra .....</b>	<b>433</b>
Od czego zacząć? .....	433
Błędy w jądrze .....	434
Diagnostyka komunikatami .....	435
Niezawodność printk() .....	435
Poziomy diagnostyczne .....	436
Bufor komunikatów .....	437
Demony syslogd i klogd .....	438
printf(), printk() — łatwo o pomyłkę .....	438
Błąd oops .....	438
Polecenie ksyoops .....	440
kallsyms .....	441
Opcje diagnostyczne jądra .....	441

Asercje i wypisywanie informacji o błędach .....	442
Funkcja Magic SysRq Key .....	443
Saga debugera jądra .....	444
gdb .....	445
kgdb .....	446
Stymulowanie i sondowanie systemu .....	446
Uzależnianie wykonania kodu od identyfikatora UID .....	446
Korzystanie ze zmiennych warunkowych .....	447
Korzystanie ze statystyk .....	447
Ograniczanie częstotliwości i liczby komunikatów diagnostycznych .....	448
Szukanie winowajcy — wyszukiwanie binarne .....	449
Binarne wyszukiwanie wersji za pomocą Gita .....	450
Koledzy — kiedy wszystko inne zawiedzie .....	451
Podsumowanie .....	451
<b>Rozdział 19. Przenośność .....</b>	<b>453</b>
Przenośne systemy operacyjne .....	453
Historia przenośności systemu Linux .....	455
Rozmiar słowa i typy danych .....	456
Typy nieprzejrzyste .....	459
Typy specjalne .....	459
Typy o zadanych rozmiarach .....	460
Znak typu char .....	461
Wyrównanie danych .....	462
Unikanie problemów wyrównywania .....	462
Wyrównanie typów niestandardowych .....	463
Dopełnienie struktury .....	463
Wzajemny porządek bajtów .....	465
Pomiar upływu czasu .....	467
Rozmiar strony .....	468
Kolejność wykonywania instrukcji .....	469
Tryb SMP, wyłączenie jądra i pamięć wysoka .....	469
Podsumowanie .....	470
<b>Rozdział 20. Kodowanie, łąty i społeczność .....</b>	<b>471</b>
Społeczność .....	471
Obowiązujący styl kodowania .....	472
Wcięcia .....	472
Instrukcje switch .....	473
Odstępy .....	473
Nawiasy klamrowe .....	475
Długość wiersza kodu .....	476
Nazewnictwo .....	476

Funkcje .....	477
Komentarze .....	477
Definicje typów .....	478
Korzystanie z gotowców .....	478
Unikanie definicji ifdef w ciele funkcji .....	478
Inicjalizacja struktur .....	479
Poprawianie złego stylu .....	479
Łańcuch poleceń .....	480
Przesyłanie raportów o błędach .....	480
Łaty .....	481
Generowanie łat .....	481
Generowanie łat za pomocą Gita .....	482
Rozsyłanie łat .....	483
Podsumowanie .....	484
<b>Dodatek A Bibliografia .....</b>	<b>485</b>
Książki o projektowaniu systemów operacyjnych .....	485
Książki o jądrze systemu Unix .....	486
Książki o jądrze systemu Linux .....	486
Książki o jądrach innych systemów operacyjnych .....	487
Książki o interfejsie programowym Uniksa .....	487
Książki o programowaniu w języku C .....	487
Inne książki .....	488
Witryny WWW .....	488
<b>Skorowidz .....</b>	<b>489</b>



# Diagnostyka błędów jądra

Jedną z podstawowych miar odróżniających programowanie jądra od programowania przestrzeni użytkownika jest stopień trudności diagnostyki błędów. Diagnostyka jądra nie jest łatwa, zwłaszcza w porównaniu z przestrzenią użytkownika. Problem komplikuje jeszcze wysokość stawki — błąd w jądrze może załamać cały system komputerowy.

Rosnąca umiejętność diagnozowania błędów w jądrze — a co za tym idzie, coraz większa swoboda programowania jądra — jest w dużej mierze funkcją doświadczenia i stopnia zrozumienia systemu operacyjnego. Podziałać mogą zapewne również zaklęcia i czary, ale do udanej diagnostyki jądra konieczna jest jego pełna znajomość. Niniejszy rozdział poświęcony będzie właśnie zagadnieniom związanym z diagnostyką błędów jądra.

## Od czego zacząć?

Diagnostyka błędów w jądrze bywa uciążliwym i żmudnym procesem. Niektóre z błędów całymi miesiącami myliły tropy, choć śledzone były przez wielu programistów. Na szczęście na dosłownie każdy tak pracochłonny błąd przypada wiele błędów bardziej oczywistych, z równie oczywistymi poprawkami. Przy odrobinie szczęścia wszystkie błędy, jakie popełnimy, będą błędami prostymi. Tego jednak przed rozpoczęciem poszukiwań nie będzie wiadomo na pewno. Dlatego warto zaopatrzyć się w:

- Błąd. To może brzmieć śmiesznie, ale potrzebny będzie dobrze zdefiniowany i bardzo konkretny błąd. Dobrze, jeżeli jest to błąd powtarzalny, który można sprowokować w określonych warunkach. Niestety, błędy rzadko bywają stabilne i powtarzalne.
- Wersję jądra, w której występuje rzeczony błąd (na przykład najnowszą wersję, bo inaczej nikt nie zawracałby sobie głowy błędem). Najlepiej, jeżeli uda się wytypować najwcześniejszą wersję jądra, w której pojawił się błąd. W rozdziale będzie omawiana technika polowania na popsutą wersję jądra.
- Znajomość odpowiedniej części jądra albo szczęście. Diagnozowanie błędów jądra jest śledztwem, które daje tym lepsze wyniki, im lepsza jest znajomość otoczenia.

Większość bieżącego rozdziału będzie poświęcona technikom reprodukcji błędów. Skuteczność w ich poprawianiu jest bowiem wypadkową umiejętności prowokowania wystąpienia błędu. Niemożność sprowokowania błędu ogranicza możliwości jego usunięcia, zmuszając do jedynie koncepcyjnego określenia problemu i odnalezienia odpowiadającej mu luki w kodzie źródłowym. Często zdarza się zresztą i tak, ale szansa powodzenia jest znacznie większa przy możliwości obserwacji błędu.

Istnienie błędu, którego wpływu na system nie da się ujawnić, może być nieco wątpliwe. W programach przestrzeni użytkownika błędy są najczęściej bardziej dokuczliwe — na przykład „wywołanie funkcji `bla()` w takim a takim kroku pętli powoduje awaryjne zamknięcie programu”. W kodzie jądra sprawy są zazwyczaj znacznie bardziej zagmatwane. Interakcje pomiędzy jądrem, przestrzenią użytkownika i sprzętem potrafią być bardzo delikatne. Niekiedy będące przyczyną błędu sytuacje hazardowe pojawiają się raz na milion iteracji jakiegoś algorytmu. Słabo zaprojektowany albo nawet źle skompilowany kod może dawać w niektórych systemach oczekiwane rezultaty, pogarszając wydajność systemów o innych konfiguracjach. Niejednokrotnie zdarza się wywołać błąd jedynie w określonej konfiguracji jądra, na pewnej przypadkowej maszynie, przy obciążeniu systemu nietypowymi operacjami itd. Dlatego kluczowe znaczenie ma ilość informacji o środowisku, w jakim wystąpił błąd. Zazwyczaj jednak możliwość powtórnego sprowokowania błędu to więcej niż połowa sukcesu.

## Błędy w jądrze

Błędy w jądrze bywają bardzo różnorodne. Zdarzają się one z niezliczonych powodów i objawiają się w równie niezliczonych formach. Błędy od jawnie błędnego kodu (na przykład niezachowania poprawnej wartości w odpowiednim miejscu), przez błędy synchronizacji (wynikające z braku właściwego blokowania dostępu do współdzielonej zmiennej), po nieprawidłowe zarządzanie sprzętem (wysyłanie nieprawidłowej wartości do nieodpowiedniego rejestru sterującego) objawiają się pod wszelkimi postaciami, od niezadowolającej wydajności systemu po jego niewłaściwe działanie w skrajnych przypadkach powodujące utratę danych albo zawieszanie systemu.

Błąd w postaci objawiającej się użytkownikowi nieraz może dzielić od jego przyczyny tkwiącej w kodzie jądra długi łańcuch zdarzeń. Na przykład współużytkowana struktura pozbawiona licznika odwołań może prowokować sytuacje hazardowe. Wobec braku poprawnego zliczania odwołań może dojść do zwolnienia przez jeden proces struktury używanej jeszcze przez inny proces. Ów inny proces może próbować odwołać się do zwolnionej już struktury za pośrednictwem przetrzymywanego lokalnie, nieprawidłowego już wskaźnika. Może to zaowocować wyłusaniem wskaźnika pustego, odczytem „śmieci” czy też czymś zupełnie niewinnym (kiedy obszar zwolnionej struktury nie został jeszcze niczym nadpisany). Wyłuskanie wskaźnika pustego daje w efekcie błąd „oops”, podczas gdy odwołanie do przypadkowych danych („śmieci”) w pamięci może prowadzić do naruszenia spójności danych (a w jej wyniku do niewłaściwego zachowania



programu, a w dalekiej konsekwencji do błędu „oops”). Użytkownik zgłasza więc albo błąd „oops”, albo wyłącznie niepoprawne działanie systemu. Programista jądra musi wysledzić przyczynę błędu, wykrzyć, że nastąpił dostęp do zwolnionych wcześniej danych, że wcześniej niewłaściwie współużytkowana była zawierająca te dane struktura i wreszcie zaaplikować łatę w postaci poprawnego zliczania odwołań do współużytkowanej struktury (i być może jakiegoś rygla chroniącego ją przed współbieżnym dostępem).

Diagnostyka błędów jądra może sprawiać wrażenie zadania dla magików, ale w rzeczywistości jądro systemu nie różni się niczym od innych dużych projektów programowych. Co prawda w jądrze należy brać pod uwagę elementy specyficzne, takie jak ograniczenia czasowe wykonania kodu czy sytuacje hazardowe będące konsekwencją działania wielu wątków w ramach jądra.

## Diagnostyka komunikatami

Funkcja jądra `printk()` działa niemal identycznie jak podobnie nazwana funkcja biblioteczna języka C, `printf()`. Podobieństwo działania jest tak duże, że jak na razie w książce nie wystąpiło zastosowanie funkcji `printk()` znacząco odbiegające od zastosowań `printf()`. Tak więc `printk()` to nazwa funkcji jądra generującej sformatowany wydruk znakowy. Nie jest to jednak tak do końca zwykła funkcja formatująca.

### Niezawodność `printk()`

Jedną z tych właściwości wywołania `printk()`, które szybko przyjmuje się za oczywistość, jest jej *niezawodność* i *wszechstronność*. Funkcja `printk()` daje się wywołać z dowolnego miejsca jądra w dowolnym momencie jego wykonania. Można ją wywołać z kontekstu procesu i kontekstu przerwania. Można ją wywoływać, przetrzymując równocześnie blokadę dowolnego rodzaju. Można też wywoływać ją współbieżnie na wielu procesorach, przy czym wywołujący nie musi pozyskiwać żadnej blokady.

To funkcja naprawdę nie do zdarcia. To bardzo ważne, ponieważ przydatność funkcji `printk()` wynika w dużej mierze właśnie z możliwości jej wywołania dosłownie zewsząd i z gwarancji jej działania w każdych warunkach.

Istnieje jednak luka we wszechstronności wywołania `printk()`. Nie da się jej bowiem zastosować przed określonym momentem rozruchu jądra, a ściślej mówiąc, przed momentem zainicjowania konsoli. To oczywiste, bo gdzie niby miałyby być wcześniej kierowane komunikaty? Zwykle nie jest to problemem, chyba że chodzi o diagnozowanie bardzo wczesnej fazy rozruchu (na przykład diagnostykę błędów działania funkcji `setup_arch()` odpowiedzialnej za operacje inicjalizacji zależne od architektury systemu). Taka diagnostyka to prawdziwe wyzwanie — a brak jakichkolwiek narzędzi wyprowadzania komunikatów dodatkowo je komplikuje.

Nawet diagnostyka wczesnych faz rozruchu daje jednak pewne możliwości. Niektórzy programiści wykorzystują do wyprowadzania komunikatów sprzęt, który działa zawsze,

na przykład port szeregowy. Nie jest to jednak przyjemna zabawa. Rozwiązaniem jest wariant wywołania `printk()` przystosowany do wyprowadzania komunikatów na konsolę we wczesnych fazach rozruchu — `early_printk()`. Działa ona identycznie jak `printk()` — funkcje te różnią się wyłącznie nazwami i możliwością operowania w pierwszych fazach rozruchu. Nie jest to jednak rozwiązanie przenośne, gdyż funkcja `early_printk()` nie jest implementowana we wszystkich architekturach. Dobrze, żeby diagnozowana architektura ją posiadała — a większość (z architekturą x86 na czele) posiada.

Podsumowując, o ile nie zachodzi potrzeba sygnalizacji na bardzo wczesnym etapie rozruchu, można polegać na wszechstronności i niezawodności funkcji `printk()`.

## Poziomy diagnostyczne

Główna różnica pomiędzy wywołaniami `printk()` i `printf()` tkwi w zdolności tej pierwszej do określania tak zwanego *poziomu diagnostycznego* (ang. *loglevel*). Jądro określa poziom diagnostyczny, decydując tym samym, czy komunikat powinien zostać wyświetlony na konsoli czy też przekierowany gdzieś indziej. Jądro wyświetla na konsoli wszystkie komunikaty o poziomie diagnostycznym ustalonym na poziomie niższym od pewnego progu.

Poziom diagnostyczny określa się następująco:

```
printk(KERN_WARNING "To jest ostrzezenie!\n");
printk(KERN_DEBUG "To jest komunikat diagnostyczny!\n");
printk("Brak określenia poziomu diagnostycznego!\n");
```

Ciągi `KERN_WARNING` i `KERN_DEBUG` to po prostu definicje występujące w pliku `<linux/printk.h>`. Rozwijane są one odpowiednio do ciągów `<4>` i `<7>` i dołączane na początek komunikatu przekazywanego do `printk()`. Jądro na podstawie tych przedrostków decyduje o tym, które z komunikatów powinny być wyświetlane na konsoli, porównując określony poziom diagnostyczny z bieżącym poziomem diagnostycznym konsoli określonym parametrem `console_loglevel`. Pełny wykaz dostępnych poziomów diagnostycznych funkcji `printk()` został przedstawiony w tabeli 18.1.

Tabela 18.1. Poziomy diagnostyczne funkcji `printk()`

Poziom diagnostyczny	Opis
<code>KERN_EMERG</code>	Sytuacja awaryjna.
<code>KERN_ALERT</code>	Problem wymagający natychmiastowej interwencji.
<code>KERN_CRIT</code>	Sytuacja krytyczna.
<code>KERN_ERR</code>	Błąd.
<code>KERN_WARNING</code>	Ostrzeżenie.
<code>KERN_NOTICE</code>	Sytuacja normalna, ale warta odnotowania.
<code>KERN_INFO</code>	Komunikat informacyjny.
<code>KERN_DEBUG</code>	Komunikat diagnostyczny — najprawdopodobniej zbyteczny.

W przypadku nieokreślenia poziomu rejestrowania jego wartość jest przyjmowana przez domniemanie jako `DEFAULT_MESSAGE_LOGLEVEL`, która to stała jest z kolei rozwijana do stałej `KERN_WARNING`. Jednak z uwagi na to, że ustawienie domyślne może w kolejnych wersjach jądra ulec zmianie, warto jawnie opatrywać komunikaty stałymi poziomów rejestrowania.

Najwyższy poziom rejestrowania definiuje stała `KERN_EMERG` rozwijana do literału znakowego `<0>`. Poziom najniższy określa zaś stała `KERN_DEBUG` rozwijana do ciągu `<7>`. Na przykład po zakończeniu fazy przetwarzania pliku kodu źródłowego przez preprocesor zamieszczone wcześniej wywołania będą miały postać:

```
printk("<4>To jest ostrzezenie!\n");
printk("<7>To jest komunikat diagnostyczny!\n");
printk("<4>Brak okreslenia poziomu diagnostycznego!\n");
```

Strategia przyjmowania poziomów rejestrowania w różnych sytuacjach leży całkowicie w gestii programisty. Rzecz jasna, zwykle komunikaty należałoby opatrywać odpowiednim dla nich poziomem rejestrowania. Ale już komunikaty, którymi szpikuje się kod w poszukiwaniu źródła problemu — wypada się do tego przyznać, wszyscy tak robią — można opatrywać dowolnym poziomem rejestrowania. Jedną z możliwości jest pozostawienie w spokoju domyślnego poziomu rejestrowania konsoli i generowania wszystkich komunikatów diagnostycznych z poziomem `KERN_CRIT` lub wyższym. Można też generować komunikaty na poziomie `KERN_DEBUG` i w zamian zmodyfikować poziom rejestrowania konsoli, tak aby komunikaty były widoczne. Każda z metod ma swoje wady i zalety. Decyzję pozostawiam Czytelnikowi.

## Bufor komunikatów

Komunikaty jądra umieszczone są w cyklicznym buforze o rozmiarze `LOG_BUF_LEN`. Rozmiar ten daje się konfigurować na etapie kompilacji przez ustawienie opcji `CONFIG_LOG_BUF_SHIFT`. Domyślny rozmiar bufora dla komputerów jednoprocessorowych to 16 kB. Innymi słowy, jądro może przechowywać do 16 kB komunikatów jądra. Jeżeli kolejka komunikatów jest zapełniona i dojdzie do kolejnego wywołania `printk()`, nowy komunikat nadpisze najstarszy z komunikatów w buforze. Bufor komunikatów nosi nazwę *cyklicznego*, ponieważ jego zapis i odczyt następują w sposób cykliczny.

Korzystanie z bufora cyklicznego ma szereg zalet. Z racji dużej łatwości równoczesnego zapisywania i odczytywania z takiego bufora funkcja `printk()` może być wywoływana nawet w poziomie kontekstu. Co więcej, cykliczność upraszcza zarządzanie buforem. W obliczu zbyt dużej liczby komunikatów najstarsze komunikaty są po prostu zastępowane nowymi. Jeżeli zdarzy się problem, w wyniku którego wygenerowana zostanie większa liczba komunikatów, cykliczność obsługi bufora wyeliminuje część z nich, nie dopuszczając do zwiększenia zapotrzebowania na pamięć. Jedyną wadą takiego rozwiązania jest prawdopodobieństwo utraty komunikatów, ale jest to niewielka cena za wszechstronność bufora.

## Demony `syslogd` i `klogd`

W klasycznym systemie Linux za pobieranie komunikatów jądra z bufora odpowiedzialny jest demon przestrzeni użytkownika o nazwie `klogd` — demon ten wypełnia pobieranymi komunikatami systemowy plik dziennika, korzystając przy tym z pomocy demona `syslogd`. W celu odczytu rejestru komunikatów `klogd` może odczytywać plik `/proc/kmsg` bądź korzystać z wywołania systemowego `syslog()`. Domyślnie wykorzystuje jednak system plików `/proc`. Niezależnie od sposobu odczytywania komunikatów `klogd` ulega zawieszeniu aż do momentu pojawienia się nowych komunikatów. W obliczu zgłoszenia nowych komunikatów demon jest pobudzany, odczytuje nowe komunikaty i przetwarza je. Domyślnie przetwarzanie to polega na przekazaniu ich do demona `syslogd`.

Demon `syslogd` dołącza otrzymywane komunikaty do pliku, którym przez domniemanie jest plik `/var/log/messages`. Działanie demona da się konfigurować za pośrednictwem pliku `/etc/syslog.conf`.

Za pośrednictwem demona `klogd` można zmieniać poziom rejestrowania konsoli — wystarczy w wywołaniu demona określić argument `-c`.

## `printf()`, `printk()` — łatwo o pomyłkę

Każdemu początkującemu programiście jądra zdarza się mylić wywołania `printk()` z wywołaniami `printf()`. To całkiem naturalne, ponieważ nie sposób zignorować lata doświadczeń i nawyku wykorzystywania funkcji `printf()` w programach przestrzeni użytkownika. Na szczęście takie pomyłki są szybko wychwytywane, jako że powodują przy kompilacji zalew komunikatami z protestami ze strony konsolidatora.

Pewnego dnia być może zdarzy się Czytelnikowi zastosować w wyniku wyniesionych z programowania jądra nawyków wywołanie `printk()` w programie przestrzeni użytkownika. Wtedy będzie on mógł o sobie powiedzieć, że jest prawdziwym hakerem jądra.

## Błąd `oops`

Błąd `oops` to normalny sposób powiadamiania użytkownika o nieprawidłowościach działania jądra. Jako że jądro to nadzorca całego systemu, nie ma możliwości samodzielnego usunięcia usterki czy wykonania samounicestwienia, tak jak unicestwia się błędne procesy przestrzeni użytkownika. Jądro w takich sytuacjach zgłasza błąd `oops`. Polega to na wyświetleniu na konsoli komunikatu o błędzie wraz z zawartością rejestrów i śladem wykonania (ang. *back trace*). Błąd jądra jest trudny do obejścia, więc jądro w celu obsługi błędu musi się niezłe napracować. Niekiedy po zakończeniu obsługi pojawia się niespójność jądra. Jądro w momencie pojawienia się błędu mogło być na przykład w trakcie przetwarzania istotnych danych. Mogło przetrzymywać blokadę albo prowadzić komunikację ze sprzętem. W obliczu błędu konieczne jest natomiast ostrożne wycofanie się od poprzedniego kontekstu i w miarę możliwości przywrócenie kontroli nad systemem. W wielu przypadkach powrót taki jest niemożliwy. Jeżeli błąd wystąpi w kontekście przerwania, jądro nie może

kontynuować działania i „panikuje”. Błąd „paniczny” (ang. *panic error*) powoduje zaś trwale unieruchomienie systemu. Również pojawienie się błędu oops w trakcie wykonywania zadania jałowego (o numerze pid równym zero) bądź zadania `init` (pid równy jeden) oznacza błąd paniczny — jądro nie może kontynuować działania bez tych dwóch ważnych procesów. Jedynie wystąpienie błędu oops w kontekście jednego ze zwykłych procesów użytkownika daje możliwość unicestwienia tego procesu i kontynuowania działania reszty systemu.

Przyczyny błędu oops mogą być rozmaite, z nieuprawnionym dostępem do pamięci bądź próbą wykonania niedozwolonej instrukcji włącznie. Programista jądra jest skazany na diagnostykę takich błędów (nie mówiąc o tym, że sam przyczynia się do ich powstawania).

Poniższy wydruk to komunikat towarzyszący błędowi oops zaobserwowanemu w komputerze PPC w procedurze obsługi zegara karty sieciowej:

```
Oops: Exception in kernel mode, sig: 4
Unable to handle kernel NULL pointer dereference at virtual address 00000001

NIP: C013A7F0 LR: C013A7F0 SP: C0685E00 REGS: c0905d10 TRAP: 0700
Not tainted
MSR: 00089037 EE: 1 PR: 0 FP: 0 ME: 1 IR/DR: 11
TASK = c0712530[0] 'swapper' Last syscall: 120
GPR00: C013A7C0 C0295E00 C0231530 0000002F 00000001 C0380CB8 C0291B80 C02D0000
GPR08: 000012A0 00000000 00000000 C0292AA0 4020A088 00000000 00000000 00000000
GPR16: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
GPR24: 00000000 00000005 00000000 00001032 C3F70000 00000032 FFFFFFFF C3F7C1C0
Call trace:
[c013ab30] tulip_timer+0x128/0x1c4
[c0020744] run_timer_softirq+0x10c/0x164
[c001b864] do_softirq+0x88/0x104
[c0007e80] timer_interrupt+0x284/0x298
[c00033c4] ret_from_except+0x0/0x34
[c0007b84] default_idle+0x20/0x60
[c0007bf8] cpu_idle+0x34/0x38
[c0003ae8] rest_init+0x24/0x34
```

Użytkownicy komputerów klasy PC mogą dziwić się znaczną liczbą rejestrów (aż 32!). Błędy oops w znacznie popularniejszych systemach klasy x86-32 generują dużo krótszy wydruk zawartości rejestrów. Najważniejsze informacje są jednak w obu architekturach identyczne — liczy się zawartość rejestrów i ślad wykonania.

Ślad wykonania to łańcuch wywołania funkcji prowadzący do błędu. W prezentowanym przypadku ślad zdradza dokładnie przebieg wykonania aż do momentu wystąpienia błędu — system realizował proces jałowy w pętli `cpu_idle()`, w której wywoływana jest funkcja `default_idle()`. Zgłoszenie przerwania zegarowego spowodowało zainicjowanie obsługi liczników. Uruchomiona wtedy procedura obsługi takiego licznika dla karty sieciowej `tulip_timer()` wykonała w ramach przetwarzania wyłuskanie wskaźnika o wartości NULL. Na podstawie podanych na wydruku offsetów (tutaj `0x128/0x1c4`) można wręcz wytypować konkretny wiersz programu, którego wykonanie spowodowało błąd.

Równie przydatna jak ślad wykonania może być zawartość rejestrów. Dysponując kopią problematycznej funkcji w postaci kodu assemblerowego, można na podstawie zawartości rejestrów odtworzyć dokładnie stan jej wykonania w momencie wystąpienia błędu. Obecność w jednym z rejestrów nieoczekiwanej wartości może często rzucić światło na przyczynę błędu. W analizowanym przypadku widać, które z rejestrów zawierają wartości NULL (zera), i na tej podstawie można wytypować argument wywołania bądź zmienną lokalną funkcji, która przyjęła niewłaściwą wartość. Dla sytuacji podobnych do analizowanej typowym źródłem błędu jest sytuacja hazardowa — w tym konkretnym przypadku chodzi o rywalizację w dostępie do zasobu pomiędzy obsługą licznika a resztą kodu obsługi karty sieciowej. Diagnostyka sytuacji hazardowych jest zresztą zawsze problematyczna.

## Polecenie ksymoops

Prezentowany wcześniej wydruk generowany w ramach obsługi błędu oops nosi nazwę *zdekodowanego*, ponieważ adresy pamięci zostały na wydruku przetłumaczone na nazwy funkcji rezydujących pod tymi adresami. Wersja niezdekodowana tego samego błędu wyglądałaby następująco:

```
NIP: C013A7F0 LR: C013A7F0 SP: C0685E00 REGS: c0905d10 TRAP: 0700
Not tainted
MSR: 00089037 EE: 1 PR: 0 FP: 0 ME: 1 IR/DR: 11
TASK = c0712530[0] 'swapper' Last sysca11: 120
GPR00: C013A7C0 C0295E00 C0231530 0000002F 00000001 C0380CB8 C0291B80 C02D0000
GPR08: 000012A0 00000000 00000000 C0292AA0 4020A088 00000000 00000000 00000000
GPR16: 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
GPR24: 00000000 00000005 00000000 00001032 C3F70000 00000032 FFFFFFFF C3F7C1C0
Ca11 trace: [c013ab30] [c0020744] [c001b864] [c0007e80] [c00033c4]
[c0007b84] [c0007bf8] [c0003ae8]
```

Adresy wymienione w ścieżce śladu muszą dopiero zostać przetłumaczone na nazwy symboliczne funkcji. Jest to możliwe za pośrednictwem polecenia ksymoops i pliku *System.map* generowanego w trakcie kompilacji jądra. Jeżeli jądro korzysta z ładowanych dynamicznie modułów, potrzebne będą również informacje o tych modułach. Polecenie ksymoops próbuje samodzielnie pozyskać wszystkie potrzebne do tłumaczenia informacje, stąd przeważnie wystarczy uruchomić je wywołaniem:

```
ksymoops zapis_wydruku_oops.txt
```

Wynikiem działania programu jest wydrukowanie zdekodowanej wersji wydruku błędu oops. Jeżeli domyślne ustawienia programu ksymoops nie spełniają swojej roli i zachodzi potrzeba określenia własnych źródeł informacji pomocnych w translacji adresów, program można konfigurować szeregiem opcji wywołania. Większość informacji potrzebnych do rozpoczęcia korzystania z programu zawiera dokumentacja systemowa man. Program ksymoops wchodzi w skład większości dystrybucji systemu Linux.

## kallsyms

Na szczęście korzystanie z programu `ksymoops` nie jest już konieczne. Na szczęście, ponieważ w przeciwieństwie do programistów jądra szeregowi użytkownicy systemu mieli spore kłopoty z wytypowaniem odpowiedniego pliku `System.map` i tym samym zdekodowaniem wydruku błędu `oops`.

W wersji rozwojowej 2.5 jądra systemu Linux pojawiła się funkcja `kallsyms`, aktywowana za pośrednictwem opcji konfiguracyjnej `CONFIG_KALLSYMS`. Uaktywnienie tej opcji powoduje zapisanie w jądrze symbolicznych nazw adresów funkcji skonsolidowanych do obrazu jądra, dzięki czemu jądro może wypisać zdekodowany stos wywołań. Z tego względu dekodowanie błędów `oops` nie wymaga już dostępności pliku `System.map` ani polecenia `ksymoops`. Z drugiej strony powoduje to zwiększenie rozmiaru jądra, jako że odwzorowanie symboli musi być umieszczone w trwale odwzorowanej pamięci jądra. Koszt ten jednak szybko się zwraca, zwłaszcza przy rozwijaniu jądra, ale także podczas próbnych wdrożeń. Opcja konfiguracyjna jądra `CONFIG_KALLSYMS_ALL` dodatkowo zapisuje nazwy symboliczne wszystkich symboli (nie tylko funkcji), choć to akurat przydaje się tylko w specjalistycznych narzędziach diagnostycznych.

Opcja `CONFIG_KALLSYMS_EXTRA_PASS` powoduje, że w ramach kompilacji i konsolidacji jądra zostanie wykonany drugi przebieg po kodzie obiektowym jądra. Ta operacja służy z kolei przede wszystkim do diagnostyki działania samego mechanizmu `kallsyms`.

## Opcje diagnostyczne jądra

W testowaniu kodu jądra i diagnostyce ewentualnych błędów pomocne mogą okazać się dostępne liczne opcje konfiguracyjne kompilacji jądra. Opcje te zebrane są w dziale *Kernel Hacking* opcji konfiguracji jądra. Aktywność wszystkich tych opcji uzależniona jest od włączenia ogólnej opcji `CONFIG_DEBUG_KERNEL`. Przy modyfikacjach jądra warto włączyć wszystkie z dostępnych opcji wspomagających testowanie i diagnostykę.

Niektóre z tych opcji pozwalają na wspomaganie diagnostyki błędów alokatora plastrowego, diagnostyki błędów pamięci wysokiej, odwzorowań wejścia-wyjścia, diagnostyki rygli pętlowych i kontroli przepelnienia stosu. Jedną z najprzydatniejszych opcji jest jednak opcja określana w menu konfiguracyjnym jako *sleep-inside-spinlock checking* (kontrola zawieszenia przy przetrzymywaniu rygla pętlowego, ale nie tylko).

Począwszy od wersji 2.5, jądro systemu Linux dysponuje znakomitą infrastrukturą wspomagającą wykrywanie wszelkiego rodzaju błędów niepodzielności operacji. Z rozdziału 9. wiadomo, że *niepodzielność* to zdolność do nieprzerwanego wykonania kodu — kod niepodzielny powinien zostać wykonany bez przerwania albo nie powinien być wykonany wcale. Kodem niepodzielnym jest kod przetrzymujący rygiel pętlowy bądź kod wykonywany przy wyłączeniu wyłączenia jądra. Kod niepodzielny nie może być zawieszany — zawieszenie kodu przetrzymującego rygiel pętlowy prowadzi prosto do zakleszczenia.

Dzięki wywłaszczeniu jądra jądro to dysponuje centralnym licznikiem niepodzielności. Można dzięki niemu skonfigurować jądro tak, aby zawieszenie zadania w sekcji krytycznej albo nawet inicjowanie operacji potencjalnie zawieszającej zadanie spowodowało wyświetlenie komunikatu o błędzie wraz ze śladem wykonania. W ten sposób dają się wykryć takie błędy jak wywołanie funkcji `schedule()` przez proces przetrzymujący blokadę, inicjowanie przez taki proces blokującej operacji przydziału pamięci czy zawieszanie procesu odwołującego się do danych charakterystycznych dla procesora. Owa infrastruktura diagnostyczna pozwala na wychwycenie znacznej części błędów, więc jej wykorzystywanie jest w procesie testowania i diagnozowania gorąco zalecane.

Wspomniana infrastruktura jest najlepiej wykorzystywana przy następujących ustawieniach opcji:

```
CONFIG_PREEMPT=y
CONFIG_DEBUG_KERNEL=y
CONFIG_KALLSYMS=y
CONFIG_DEBUG_SPINLOCK_SLEEP=y
```

## Asercje i wypisywanie informacji o błędach

Do oznaczania błędów, wprowadzania asercji i wyprowadzania informacji służy w jądrze szereg wywołań i makrodefinicji. Najczęściej używane spośród nich to `BUG()` i `BUG_ON()`. Ich wywołanie powoduje wyprowadzenie komunikatu o błędzie `oops` wraz z informacjami o stanie systemu i śladzie wykonania. Sposób prowokowania błędu w tych wywołaniach zależy od architektury systemu. W większości architektur makrodefinicje `BUG()` i `BUG_ON()` rozwijane są do postaci instrukcji niedozwolonych, których próba wykonania prowokuje błąd `oops`. Makrodefinicje te wykorzystuje się w roli asercji do oznaczania sytuacji, które nie powinny mieć miejsca:

```
if (bad_thing)
    BUG();
    albo nawet lepiej:
BUG_ON(bad_thing);
```

Większość programistów jądra uważa, że `BUG_ON()` stosuje się i czyta łatwiej niż `BUG()`; ponadto `BUG_ON()` ujmuje asercję w instrukcji `unl i kely()`. Wśród programistów jądra dyskutowano o pomysłach opcji kompilacji wyrażeń z `BUG_ON()` jako pustych, co dawałoby znaczne oszczędności miejsca w jądrach przeznaczonych do systemów wbudowanych. To wymaga jednak, aby asercja umieszczona w `BUG_ON()` nie posiadała żadnych efektów ubocznych. Zaproponowano też makrodefinicję `BUILD_BUG_ON()` jako asercję czasu kompilacji — jeśli znajdujące się w niej wyrażenie daje wartość `true` w czasie kompilacji, kompilacja zostanie przerwana z komunikatem o błędzie.



Błędy bardziej krytyczne mogą być sygnalizowane wywołaniem `panic()`. Wywołanie to powoduje wyświetlenie komunikatu o błędzie i zatrzymanie systemu. Z oczywistych względów należy je stosować wyłącznie w sytuacjach najtrudniejszych:

```
if (terrible_error)
    panic("okropna sytuacja: %ld!\n", terrible_error);
```

Niekiedy testowanie i diagnostykę można sobie znakomicie ułatwić, wyprowadzając na konsolę wydruk śladu stosu. Służy do tego wywołanie `dump_stack()`. Jego działanie ogranicza się do wyprowadzenia na konsolę zawartości rejestrów i śladu wywołania funkcji:

```
if (!debug_check) {
    printk(KERN_DEBUG "tu dodatkowy komunikat ...\n");
    dump_stack();
}
```

## Funkcja Magic SysRq Key

Sporo nerwów testerowi jądra zaoszczędzić może funkcja Magic SysRq Key aktywowana za pośrednictwem opcji konfiguracyjnej `CONFIG_MAGIC_SYSRQ`. Klawisz *SysRq* (żądanie systemowe) obecny jest na większości standardowych klawiatur. W architekturach i386 i PowerPC aktywuje się go za pośrednictwem kombinacji klawiszy *Alt+Print Screen*.

Po uaktywnieniu opcji `CONFIG_MAGIC_SYSRQ` można za pośrednictwem specjalnych kombinacji klawiszy komunikować się z jądrem. Możliwość ta pozwala na wykonywanie pewnych operacji nawet w obliczu „martwego” systemu.

Funkcję specjalnych kombinacji klawiszy można też włączyć, zmieniając parametry działającego systemu za pośrednictwem następującego polecenia:

```
echo 1 > /proc/sys/kernel/sysrq
```

Lista dostępnych operacji wyświetlana jest na konsoli po naciśnięciu kombinacji klawiszy *SysRq* i *h*. Naciśnięcie *SysRq* i *s* powoduje utrwalenie brudnych buforów na dysku, *SysRq* i *u* odmontowuje wszystkie zamontowane systemy plików, natomiast kombinacja *SysRq* i *b* powoduje restart systemu. Użycie powyższych trzech kombinacji klawiszy w podanej kolejności to najbezpieczniejszy sposób restartu niestabilnego systemu, nieporównanie bezpieczniejszy od prostego wciśnięcia przycisku *reset* na obudowie komputera.

System, który uległ całkowitemu zawieszeniu, może nie reagować na kombinacje z klawiszem *SysRq*, ewentualnie może niepoprawnie realizować wydawane w ten sposób polecenia. Jednak przy odrobinie szczęścia włączenie opcji może pozwolić na uratowanie danych i znakomicie wspomóc diagnostykę jądra. Lista poleceń obsługiwanych w ramach funkcji Magic SysRq umieszczona została w tabeli 18.2.

Tabela 18.2. Obsługiwane polecenia SysRq

Kombinacja klawiszy	Opis
<i>SysRq i b</i>	Restart komputera.
<i>SysRq i e</i>	Wysłanie sygnału SIGTERM do wszystkich procesów z wyjątkiem procesu <i>init</i> .
<i>SysRq i h</i>	Wyświetlenie listy poleceń SysRq na konsoli.
<i>SysRq i i</i>	Wysłanie sygnału SIGKILL do wszystkich procesów z wyjątkiem procesu <i>init</i> .
<i>SysRq i k</i>	Unicestwienie wszystkich programów uruchomionych z danej konsoli.
<i>SysRq i l</i>	Wysłanie sygnału SIGKILL do wszystkich procesów, również do procesu <i>init</i> .
<i>SysRq i m</i>	Wygenerowanie zrzutu pamięci i przekazanie go na konsolę.
<i>SysRq i o</i>	Zatrzymanie systemu i wyłączenie komputera.
<i>SysRq i p</i>	Przekazanie na konsolę wydruku zawartości rejestrów.
<i>SysRq i r</i>	Wyłączenie trybu RAW klawiatury i przełączenie jej do trybu XLATE.
<i>SysRq i s</i>	Synchronizacja wszystkich systemów plików (utrwalenie zmian buforów dyskowych).
<i>SysRq i t</i>	Przekazanie na konsolę wydruku opisującego proces.
<i>SysRq i u</i>	Odmontowanie wszystkich zamontowanych systemów plików.

Więcej informacji o funkcji Magic SysRq można znaleźć w pliku *Documentation/sysrq.txt*, w drzewie katalogów kodu źródłowego jądra. Faktyczna implementacja funkcji zdefiniowana jest zaś w pliku *drivers/tty/sysrq.c*. Funkcja Magic SysRq to ważne narzędzie diagnostyki i ratowania „padającego” systemu, jednak z uwagi na to, że jej włączenie daje znaczne możliwości każdemu użytkownikowi konsoli, należałoby ograniczyć stosowanie specjalnych kombinacji klawiszy w komputerach, których bezpieczeństwo jest z jakichś względów ważne. Na prywatnym komputerze wykorzystywanym do programowania i testowania jądra nie ma przeciwwskazań co do włączania funkcji Magic SysRq.

## Saga debugera jądra

Wielu programistów jądra od dawna domagało się działającego w jądrze debugera. Niestety, Linus nie podzielał tej chęci i blokował próby wprowadzenia debugera do jądra. Uzasadniał to tym, że obecność debuggerów powoduje wprowadzanie błędnych poprawek

jest łąta wyprowadzona z pełnej znajomości i kodu jądra, i objawów błędu. Mimo to potrzeba wyposażenia jądra w debuger wcale nie osłabła. Z racji małego prawdopodobieństwa spełnienia tych postulatów w najbliższej przyszłości zdesperowani programiści opracowali szereg łąt uzupełniających jądro systemu Linux o obsługę debugera. I choć są to łąty nieoficjalne, stanowią zwykle dobrze wyposażone i efektywne narzędzia. Przed ich omówieniem wypadałoby jednak sprawdzić, w jakim zakresie do diagnostyki jądra nie przyda się standardowy linuksowy debuger gdb.

## **gdb**

Zajrzeć w głąb działającego jądra można za pomocą standardowego debugera GNU. Uruchomienie debugera na rzecz jądra nie różni się od inicjowania debugera na rzecz zwykłych procesów:

```
gdb vmlinux /proc/kcore
```

Plik *vmlinux* to nieskompresowany plik obrazu jądra przechowywany w katalogu głównym drzewa katalogów kompilacji jądra.

Opcjonalny parametr wywołania debugera */proc/kcore* pełni w uruchomieniu debugera rolę pliku obrazu pamięci, za pośrednictwem którego gdb może uzyskać podgląd pamięci jądra. Odczyt pliku */proc/kcore* wymaga uprawnień użytkownika uprzywilejowanego (*root*) systemu.

Po uruchomieniu debugera można korzystać z dowolnych implementowanych w nim poleceń podglądu danych. Na przykład w celu podejrzenia wartości zmiennej *global\_variable* należy wystosować polecenie:

```
p global_variable
```

Do deasemblacji funkcji służy zaś polecenie *disassemble*:

```
disassemble nazwa-funkcji
```

Jeżeli jądro było kompilowane z opcją *-g* (czyli było kompilowane po dodaniu *-g* do zmiennej środowiskowej *CFLAGS* w pliku *Makefile* kompilacji jądra), debuger gdb może wydobyć z niego znacznie więcej informacji. Możliwe jest wtedy na przykład podglądanie zawartości struktur i wyłuskiwanie wskaźników. Określenie opcji *-g* powoduje jednak znaczny rozrost jądra, więc nie należy automatycznie uaktywniać tej opcji przy kompilacji jądra do celów innych niż testowe i diagnostyczne.

Niestety, na tym wyczerpuje się lista możliwości debugowania jądra za pomocą programu gdb. Nie da się za jego pośrednictwem modyfikować danych działającego jądra. Nie można też przy jego użyciu wykonywać kodu jądra krokowo ani też ustawiać punktów wstrzymania wykonania. Niemożność modyfikacji struktur danych jądra to poważna wada. I choć możliwość deasemblacji funkcji jest od czasu do czasu przydatna, ogólna przydatność debugera gdb jest — w wyniku braku możliwości modyfikacji danych jądra — ograniczona.

## kgdb

kgdb to łąta programowa na jądro systemu Linux pozwalająca na pełne zdalne debugowanie jądra realizowane za pośrednictwem łącza szeregowego. Wykorzystanie debugera kgdb wymaga zastosowania dwóch komputerów. Pierwszy z nich wykonuje kod jądra wyposażonego w łątę kgdb, podczas gdy drugi kontroluje wykonanie kodu jądra za pośrednictwem łącza szeregowego (tak zwanego kabla null-modem łączącego oba komputery) i debugera gdb. Dzięki kgdb debugowanie jądra można wzbogacić o cały szereg niezwykle przydatnych operacji implementowanych przez program gdb, jak definiowanie punktów wstrzymania wykonania, krokowe wykonanie kodu jądra czy podgląd i modyfikacja dowolnych danych jądra itd.! Niektóre z wersji kgdb pozwalają nawet na wykonywanie wybranych funkcji.

Konfiguracja dwóch komputerów jest dość złożona, ale włożony w nią wysiłek owocuje późniejszym prostym debugowaniem jądra. Łata oprócz kodu debugera zawiera obszerną dokumentację instalowaną w podkatalogu *Documentation* drzewa katalogów kodu źródłowego jądra. Warto się z nią zapoznać.

Łaty kgdb dostępne są w rozmaitych wersjach dostosowanych do najróżniejszych architektur sprzętowych i wersji jądra. Najlepszym sposobem pozyskania łąty jest więc przeszukiwanie zasobów internetu.

## Stymulowanie i sondowanie systemu

W miarę nabywania doświadczenia w diagnostyce błędów jądra poznaje się sztuczki pozwalające na stymulowanie i sondowanie jądra. Debugowanie jądra jest niewątpliwie czynnością skomplikowaną, stąd wszelka pomoc, nawet w postaci prostych sztuczek, jest na wagę złota. Oto kilka z takich trików.

## Uzależnianie wykonania kodu od identyfikatora UID

Jeżeli tworzony kod ma związek z obsługą procesów, możliwe jest opracowanie kodu alternatywnego bez eliminowania z jądra dotychczasowej implementacji. Jest to szczególnie przydatne w przypadku tworzenia nowych wersji istotnych wywołań systemowych, kiedy to pożądane jest w pełni poprawne działanie systemu, uruchamiającego nowy kod tylko na wyraźne żądanie. Weźmy na przykład wywołanie `fork()`. Jeżeli algorytm tego wywołania zostanie zmodyfikowany pod kątem uwzględnienia w nim nowej, fascynującej możliwości, testowanie i diagnostyka nowej wersji wywołania będą w przypadku błędu implementacji bardzo utrudnione — system, w którym nie działa funkcja `fork()`, nie będzie bowiem ani trochę stabilny. Nie można się jednak poddawać.

W takich przypadkach warto pozostawić istniejący algorytm i wstrzymać niekontrolowane wykonywanie jego nowej wersji. Można na przykład uzależnić uruchomienie nowego algorytmu od wartości identyfikatora użytkownika (UID):

```
if (current->uid != 7777) {
    /* dotychczasowy algorytm */
} else {
    /* nowa wersja algorytmu... */
}
```

Dla wszystkich użytkowników o identyfikatorze UID różnym od 7777 realizowana będzie dotychczasowa, na pewno działająca wersja algorytmu. Testowanie nowej wersji odbywa się wtedy przez utworzenie specjalnego użytkownika o identyfikatorze UID 7777. Znakomicie ułatwia to testowanie kodu o krytycznym znaczeniu dla poprawnego działania procesu.

## Corzystanie ze zmiennych warunkowych

Jeżeli niepewny kod nie jest realizowany w kontekście procesu albo jeżeli sterowanie jego wykonaniem ma być bardziej globalne, należy skorzystać ze zmiennych warunkowych. Ta metoda jest nawet prostsza od rozróżniania identyfikatora UID. Wystarczy bowiem utworzyć zmienną globalną i jej wartość wykorzystywać jako barierę wykonania eksperymentalnego kodu. Na przykład wartość zero zmiennej powoduje wykonanie jednej ścieżki kodu, a wartość niezerowa inicjuje wykonanie innej ścieżki kodu. Zmienna może być ustawiana za pośrednictwem eksportowanego do przestrzeni użytkownika interfejsu bądź z poziomu debugera.

## Corzystanie ze statystyk

Nierzadko diagnostyka niewłaściwego działania jądra opiera się na informacji o częstotliwości zachodzenia określonego zdarzenia. Niekiedy zachodzi konieczność porównania wielu zdarzeń i wygenerowania pewnych wielkości porównawczych. Można to łatwo zrealizować, kompletując odpowiednie statystyki i implementując mechanizm eksportu ich wartości.

Niech porównywanymi wartościami będą na przykład liczby zdarzeń `bla` i `blabla`. W pliku kodu (najlepiej tym, który obsługuje dane zdarzenia) wystarczy wtedy zdefiniować dwie zmienne globalne:

```
unsigned long bla_stat = 0;
unsigned long blabla_stat = 0;
```

Przy każdym wystąpieniu obserwowanego zdarzenia należy zwiększyć wartość odpowiedniej zmiennej i opracować dowolny mechanizm eksportu danych. Na przykład można w tym celu utworzyć plik w podsystemie plików `/proc` i w nim umieszczać wartości zmiennych, ewentualnie zaimplementować specjalne wywołanie systemowe. W ostateczności można też podglądać wartości zmiennych za pomocą debugera.

Warto jednak pamiętać, że taka metoda nie sprawdza się najlepiej w środowisku wieloprocesorowym. W takim środowisku manipulowanie wartościami zmiennych wymaga bowiem stosowania operacji niepodzielnych. Jednak w przypadku prostych statystyk wykorzystywanych jedynie do diagnostyki taka ochrona może być zbędna.

## Ograniczanie częstotliwości i liczby komunikatów diagnostycznych

Popularną metodą diagnostyki błędów jest szpikowanie podejrzanego kodu instrukcjami testującymi wartości pewnych zmiennych i wyprowadzającymi komunikaty diagnostyczne na konsolę. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że w jądrze niektóre z funkcji są wywoływane dziesiątki razy w ciągu sekundy. Jeżeli taka funkcja zostanie naszpikowana wywołaniami `printk()`, system zostanie przeładowany komunikatami diagnostycznymi.

Problem natłoku komunikatów można rozwiązać na dwa proste sposoby. Pierwszy z nich to *ograniczanie częstotliwości* diagnostyki przydatne przy obserwacji postępu zdarzeń, które zachodzą z dość dużą częstotliwością. Aby uniknąć zalewu komunikatów diagnostycznych, należy ograniczyć częstotliwość generowania komunikatów, wyprowadzając je, powiedzmy, wyłącznie raz na kilka sekund. Na przykład:

```
static unsigned long prev_jiffy = jiffies /* ograniczanie częstotliwości */

if (time_after(jiffies, prev_jiffy + 2*HZ)) {
    prev_jiffy = jiffies;
    printk(KERN_ERR "ple ple ple\n");
}
```

W powyższym przykładzie komunikat diagnostyczny jest wyświetlany na konsoli co dwie sekundy. Zapobiega to zalewowi informacji i ryzyku zablokowania konsoli. Częstotliwość można ograniczać jeszcze bardziej bądź pozwalać na częstsze generowanie komunikatów, zależnie od potrzeb.

Można też skorzystać ze specjalnej funkcji ograniczającej częstotliwość generowania komunikatów diagnostycznych:

```
if (error && printk_ratelimit())
    printk(KERN_DEBUG "awaria=%d\n", error);
```

Albo z jeszcze wygodniejszego wariantu:

```
printk_ratelimited(KERN_DEBUG "awaria=%d\n", error);
```

Funkcja `printk_ratelimit()` zwraca zero, jeśli wskutek ograniczania częstotliwości komunikatów diagnostycznych wywołanie `printk()` powinno być pominięte, albo wartość niezerową, gdyby należało je wykonać. Domyślnie funkcja ta przepuszcza jeden komunikat co 5 sekund, ale przedtem przepuszcza nielimitowaną serię do 10 komunikatów. Oba parametry (częstotliwość i rozmiar nielimitowanej serii) można ustawić za pośrednictwem wymuszenia `sysctl` dla parametrów (odpowiednio) `printk_ratelimit` i `printk_ratelimit_burst`. Zaprezentowana powyżej makrodefinicja `printk_ratelimited()` realizuje instrukcję warunkową z `printk_ratelimit()` i ewentualne wywołanie `printk()` bez konieczności jawnego stosowania instrukcji `if`.

Osobny problem pojawia się wtedy, kiedy analizowany ma być przebieg wykonania wzdłuż ścieżki kodu — tym razem chodzi nie o doczekanie się pewnego stanu jądra, a po prostu o powiadomienie o wystąpieniu zdarzenia. Przydatne jest pierwsze takie

powiadomienie, ewentualnie pierwszych kilka. Taka sytuacja dotyczy problemów, w których pierwsze zajście określonego zdarzenia pociąga za sobą lawinę takich samych zdarzeń. Tutaj rozwiązaniem nie jest ograniczanie częstotliwości komunikatów, lecz proste *zmniejszenie* ich liczby:

```
static unsigned long limit = 0;

if (limit < 5) {
    limit++;
    printk(KERN_ERR "ple ple ple\n");
}
```

W tym przykładzie liczba komunikatów diagnostycznych ograniczona jest do pięciu. Po wystosowaniu pięciu komunikatów warunek kontynuowania diagnostyki jest już zawsze fałszywy.

W obu ostatnich przykładach zmienne powinny być statyczne i lokalne względem funkcji — gwarantuje to podtrzymanie wartości zmiennej i tym samym kontynuowanie strategii ograniczania w kolejnych wywołaniach funkcji.

Żaden z powyższych przykładów nie jest zbyt dobrze przystosowany do działania w środowisku wieloprocesorowym — niedomaganie to można jednak szybko wyeliminować, wdrażając w nich operacje niepodzielne. Ale prawdę mówiąc, w kodzie diagnostycznym nie warto chyba zawracać sobie tym głowy.

## Szukanie winowajcy — wyszukiwanie binarne

Niejednokrotnie znaczną pomocą w wytypowaniu błędu jest wiedza o momencie, w którym błąd pojawił się w jądrze, w sensie znajomości numeru wersji jądra, od której zaczęto obserwować objawy błędu. Jeżeli na przykład wiadomo, że błąd ujawnił się w wersji 2.6.33, ale nie w wersji 2.6.28, to sprawa jest jasna — wytypowanie błędu polega zazwyczaj na przejrzeniu i przeanalizowaniu listy zmian pomiędzy tymi wersjami (niekiedy wystarczy wycofać feralną zmianę).

Wielokrotnie jednak nie wiadomo na pewno, w której wersji pojawił się dany błąd. Wiadomo jedynie, że obecny jest w wersji *bieżącej*, i wydaje się, że był w tej wersji od zawsze. Wtedy określenie momentu wprowadzenia błędu do kodu jądra wymaga przeprowadzenia śledztwa, które przy odrobinie wysiłku zaowocuje jednak wytypowaniem winowajcy. Po określeniu zmiany wprowadzającej błąd jego usunięcie jest zwykle kwestią czasu, i to niezbyt długiego.

W takich poszukiwaniach potrzebny jest błąd, którego wystąpienie można w sposób pewny sprowokować. Najlepiej, jeśli błąd daje się wywołać zaraz po zakończeniu rozruchu systemu. Następnie należy zaopatrzyć się w jądro, co do którego wiadomo na pewno, że jest wolne od rzeczonego błędu. Może to być na przykład jądro wykorzystywane kilka miesięcy temu, na którym nigdy nie udało się sprowokować błędu. Równie dobrze może to być jednak wersja znacznie wcześniejsza. O ile błąd nie czał się w jądrze od zawsze, poszukiwania takie dają zwykle wyniki stosunkowo szybko.

Potrzebne jest też jądro, o którym wiadomo na pewno, że jest obciążone błędem. Najlepiej, jeżeli będzie to jak najwcześniejsza wersja jądra na pewno zawierająca błąd.

Po uzyskaniu jądra poprawnego należy rozpocząć wyszukiwanie binarne od wersji skażonej do wersji dobrej. Załóżmy, że najnowsze jądro, o którym wiadomo, że jest wolne od błędu, to jądro 2.6.11, a najwcześniejsze jądro z błędem to jądro 2.6.20. Poszukiwania należy rozpocząć od wersji w miarę równo odległej od obu wersji skrajnych, na przykład 2.6.15. Jeżeli w wyniku testów okaże się, że wersja ta jest wolna od błędu, to wiadomo, że błąd pojawił się w kodzie następnych wersji. Należy więc zbadać wersję środkową pomiędzy wersjami 2.6.15 i 2.6.20 — na przykład 2.6.17. Jeżeli zaś test wykaże obecność błędu już w wersji 2.6.15, należy zawęzić poszukiwania do wersji 2.6.11 – 2.6.15 i rozpocząć je od na przykład wersji 2.6.13. Poszukiwania trzeba następnie kontynuować w odpowiednich połówkach tak ograniczonego zakresu wersji.

W końcu kolejne testy doprowadzą do zawężenia zakresu poszukiwań do dwóch kolejnych wersji jądra, w których jedna będzie obciążona błędem, a druga będzie od niego wolna. W tym momencie można już w prosty sposób określić pechową zmianę pomiędzy wersjami. Warto zauważyć, że taki sposób przeszukiwania jest znacznie efektywniejszy niż przeszukiwanie wszystkich kolejnych wersji jądra!

## Binarne wyszukiwanie wersji za pomocą Gita

System zarządzania zmianami w kodzie źródłowym Git udostępnia użytkownikom bardzo przydatny i wygodny mechanizm przeprowadzania binarnego wyszukiwania wersji. Każdy, kto kontroluje kopię drzewa kodu źródłowego jądra systemu Linux za pośrednictwem Gita (a jest to metoda preferowana i powszechnie stosowana), może zautomatyzować wyszukiwanie feralnej wersji, składając go na samo repozytorium. Co więcej, Git pozwala na przeprowadzenie wyszukiwania binarnego nie według wersji wydawniczych jądra, ale według zmian zatwierdzanych do repozytorium, a więc z dokładnością do jednej *rewizji* (wersje wydawnicze to agregaty nawet setek rewizji kodu jądra). Dodatkowo sama operacja jest naprawdę prosta (co w przypadku Gita nie zawsze jest oczywiste). Na początek wystarczy zażądać rozpoczęcia wyszukiwania binarnego:

```
$ git bisect start
```

Następnie podaje się najwcześniejszą znaną rewizję, w której błąd występował:

```
$ git bisect bad rewizja
```

Jeśli nie wiadomo, w której wersji błąd się ujawnił, nie trzeba w ogóle podawać rewizji — Git domyślnie uzna, że chodzi o rewizję najnowszą:

```
$ git bisect bad
```

Potem podaje się najpóźniejszą rewizję, o której wiadomo, że nie zawierała błędu:

```
$ git bisect good v2.6.28
```



Wtedy Git przystępuje do automatycznego wyciągnięcia drzewa kodu źródłowego Linuksa z rewizji środkowej podanego przedziału. Wystarczy jądro skompilować, uruchomić, no i przetestować. Jeśli błędu nie ma, polecenie:

```
$ git bisect good
```

wymusi wyszukiwanie binarne wśród nowszych rewizji. Jeśli błąd się ujawni (testowana rewizja manifestuje błąd), należy powiadomić Gita, że kod z tej rewizji jest niepoprawny, i tym samym skierować poszukiwania na wcześniejsze rewizje:

```
$ git bisect bad
```

Za każdym razem Git dokona bisekcji drzewa kodu źródłowego w kolejnym zakresie rewizji. Wystarczy uparcie powtarzać bisekcję do momentu, w którym następnej nie da się już wykonać — wtedy Git wypisze feralny numer rewizji, która wprowadziła błąd do kodu jądra.

Szukanie błędnej rewizji może potrwać, ale automatyzm wydatnie upraszcza całą procedurę. Może ona być jeszcze łatwiejsza i precyzyjniejsza, jeśli przybliżymy Gitowi położenie błędnego kodu. Jeśli na przykład podejrzewamy, że pojawił się błąd w kodzie rozruchu systemu dla architektury x86, możemy zawęzić poszukiwania do tych rewizji, które faktycznie zmieniały coś w ścieżce zawierającej podejrzewany kod:

```
$ git bisect start - arch/x86
```

## Koledzy — kiedy wszystko inne zawiedzie

Jeżeli wszelkie próby wytypowania momentu i miejsca wprowadzenia błędu do kodu jądra spełzną na niczym i jeżeli godziny — a najpewniej dni — spędzone nad klawiaturą okażą się bezowocne, to gdy błąd dotyczy głównej wersji jądra, można zawsze liczyć na pomoc innych programistów, tworzących społeczność jądra systemu Linux.

Receptą w takich przypadkach jest wysłanie krótkiego, ale treściwego listu, zawierającego możliwie pełny opis błędu, na adres listy dystrybucyjnej poświęconej programowaniu jądra. W końcu nikt nie lubi błędów i prędzej czy później (zwykle prędzej) pojawi się odzew.

Adresy list dystrybucyjnych, z których korzysta społeczność programistów Linuksa, i adres głównego forum tej społeczności, jakim jest lista *Linux Kernel Mailing List* (*LKML*), podane zostały w rozdziale 20.

## Podsumowanie

Kończący się rozdział poświęcony był zagadnieniu diagnostyki błędów w kodzie jądra, czyli procesowi ustalania, *dłaczego* implementacja rozjechała się z planowanym zachowaniem. Wśród zaprezentowanych środków diagnostycznych znalazły się zarówno mechanizmy wbudowane w samo jądro, jak i zewnętrzne debugery. Wśród omawianych technik

w pierwszej kolejności uwzględniono diagnostykę przez komunikaty, na koniec zaś udało się zaprezentować skuteczną technikę wyszukiwania binarnej wersji kodu w repozytorium Git. Diagnozowanie błędów jądra to doprawdy zadanie nietrywialne, znacznie trudniejsze od diagnostyki zachowania programów przestrzeni użytkownika. Dlatego przyswojenie technik i mechanizmów z tego rozdziału ma zasadnicze znaczenie nie tylko dla testerów, ale przede wszystkim dla programistów jądra.

Następny rozdział poświęcimy innemu dość ogólnemu zagadnieniu, a mianowicie przenośności jądra systemu Linux.

# Skorowidz

## A

action modifier, *Patrz:*  
  modyfikator czynnościowy  
AIX, 26  
algorytm, 149  
  CFS, 82  
  dwóch list, 390  
  eksmisji elementów  
  najdłużej nieużywanych,  
  389  
  FIFO, 102  
  karuzelowy sprawiedliwy, 79  
  LRU, *Patrz:* LRU  
  skalowalność, 149  
  szeregowania  
  procesów do wykonania,  
  149  
  zadań, 82, 84, 102  
  usuwania węzłów, 145  
  windowy, 360  
  wizjonera, 389  
  wstawiania węzłów, 145  
  zachowanie asymptotyczne,  
  149  
  złożoność, *Patrz:* złożoność  
alignment, *Patrz:*  
  dane:wyrównanie  
alokator plastrowy, 55, 301, 302,  
305, 307, 317, 372  
  diagnostyka błędów, 441  
  interfejs, 305  
API, 25, 108, 109  
aplikacja  
  anomalii, 267  
  matematyczna, 78  
  przenośna, 51  
Application Programming  
  Interface, *Patrz:* API  
archiwum tar, 37

assembler, 28  
asercja, 442  
associative array, *Patrz:* mapa  
atomicity, *Patrz:* niepodzielność

## B

backing store, *Patrz:* magazyn  
  trwały  
bajtów porządek  
  big-endian, 465, 466, 467  
  little-endian, 465, 466, 467  
  wzajemny, 465  
bariera, 251, 254  
Berkeley Software Distributions,  
  *Patrz:* BSD  
BH, 178, 180, 193, 201  
biblioteka, 29  
  C, 109  
  dołączanie dynamiczne, 415  
  glibc, 40, 120  
  języka C, 28  
  ld.so, 377  
  libc.so, 46, 377  
  ncurses, 42  
  POSIX, 109  
  współużytkowana, 27  
big-endian, *Patrz:* bajt porządek  
big-endian  
binary search tree, *Patrz:* BST  
BIOS, 269  
bitmapa, 148  
BKL, 246, 343  
block IO layer, *Patrz:* warstwa  
  blokowych operacji  
  wejścia-wyjścia  
blok, 350, 351, 359  
  główny, 323  
  sprzętowy, 351  
  systemu plików, 351  
  wejścia-wyjścia, 351  
blokada, 212, 215, 223, 230, 233,  
235, 238, 435, *Patrz też:* rygiel  
  pętlowy  
  Big Kernel Lock, *Patrz:* BKL  
  dcache\_lock, 338  
  drobnoziarnista, 219  
  gruboziarnista, 219  
  kolejność zwalniania, 218  
  rekurencyjna, 247  
  rywalizacja, 218  
  sekwencyjna, 247, 248  
  semaforowa, 240  
  wyłączająca, *Patrz:* semafor  
  binarny  
  wysoce pożądaną, 218  
  wzajemnego wyłączenia h, 243  
  xtime\_lock, 270, 272  
blokowanie, 226, 470  
  mechanizm uogólniony, 239  
błąd, 110  
  diagnostyka, 404, 433, 435,  
  441  
  komunikat, 448  
  poziom, *Patrz:* poziom  
  diagnostyczny  
  statystyki, 447  
kodu, 111, 434  
niepodzielności operacji, 441  
obsługa warunkowa, 49  
oops, 438, 439, 442  
oznaczanie, 442  
paniczny, 439  
raport, 480, 481  
reprodukcja, 434  
synchronizacji, 434  
wydruk, 440  
wyszukiwanie binarne, 450  
zgłaszanie, 480

BogoMIPS, 280, 281  
 bottom half, *Patrz:* BH  
 BSD, 26  
 BSS, 368  
 BST, 139, 140, 143  
   porządek, 143  
 buffer head, *Patrz:* bufor nagłówek  
 bufor, 351  
   cykliczny, 437  
   dcache, 336, 337, 338  
   deskryptor, 351  
   dyskowy, 387  
   komunikatów, 437, 438  
   nagłówek, 351, 353, 357  
   operacji blokowych, 396  
   sprzętowy, 156  
   TLB, *Patrz:* TLB  
   translacji adresów, *Patrz:* TLB  
   wpisów katalogowych,  
     *Patrz:* bufor dcache  
 busy looping, *Patrz:* pętla  
 aktywnego oczekiwania

## C

cache, *Patrz:* pamięć podręczna  
 cache eviction, *Patrz:* pamięć  
 podręczna eksmisja  
 cache hit, *Patrz:* pamięć  
 podręczna trafienie  
 cache miss, *Patrz:* pamięć  
 podręczna pudło  
 Canonical, 41  
 CFS, 77, 82, 84, 85, 87  
   punkt wejścia do planisty,  
     87, 94  
   usypianie i wybudzanie  
     procesów, 87, 95  
   wybór procesu, 87, 89, 90  
   zliczanie czasu wykonania,  
     87  
 child process, *Patrz:* proces  
 potomny  
 chwilka, 248, 263, 264  
 circular list, *Patrz:* lista  
 cykliczna  
 clairvoyant algorithm, *Patrz:*  
 algorytm wizjonera  
 complete fair queuing I/O  
 scheduler, *Patrz:* planista  
 operacji wejścia-wyjścia  
 sprawiedliwy

Completely Fair Scheduler,  
*Patrz:* CFS  
 completion variable, *Patrz:*  
 zmienna sygnałowa  
 copy-on-write, *Patrz:*  
 kopiowanie przy zapisie  
 critical section, *Patrz:* sekcja  
 krytyczna  
 cylinder, 351  
 czas, 258  
   bezwzględny, 257  
   kwantyzacja, 76  
   pomiar upływu, 467  
   sprawności systemu, 258  
   systemowy bieżący, 269,  
     272  
   upływ, 258  
   względny, 257  
 czynność, 198, 199, 200

## D

dane  
 lokalne względem  
 procesora, 312, 313, 314,  
 315, 316  
 lokalność czasowa, 387  
 niesynchronizowane, 389  
 sekcja, 53  
 struktura, *Patrz:* struktura  
 danych  
 typ, 458  
   atomic\_t, 222, 223, 226  
   char, 461  
   int, 222  
   nieprzejrzysty, 459  
   rozmiar zadany, 460  
   specjalny, 459  
   ze znakiem, 460  
 Darwin, 26  
 data, 272  
 data temporal locality, *Patrz:*  
 dane lokalność czasowa  
 D-BUS, 431  
 deadline I/O scheduler, *Patrz:*  
 planista operacji wejścia-  
 wyjścia terminowy  
 debugger, 444, 445, 446  
 definicja, 478  
 demand paging, *Patrz:*  
 stronicowanie na żądanie

demon  
   klogd, 438  
   nasłuchujący na gnieździe,  
     431  
   przestrzeni użytkownika,  
     438  
   syslogd, 438  
 dequeue, *Patrz:* kolejka  
 wyciągnięcie  
 deskryptor  
   pamięci, 369, 371, 372, 376  
   plastra, 303, 304  
   powiadomień podsystemu  
     inotify, 140  
   procesu, 372, *Patrz:* proces  
     deskryptor  
 Dijkstra Edsger, 239  
 directory entry, *Patrz:* wpis  
 katalogowy  
 dirty list, *Patrz:* lista stron  
 brudnych  
 DMA, 287, 306  
 docelowe opóźnienie, 85  
 dokumentacja, 40  
 double-linked list, *Patrz:* lista  
 dwukierunkowa  
 drzewo, 322  
   binarne, 89, 143, 370  
   poszukiwań, *Patrz:* BST  
   samorównoważące, 144,  
     *Patrz:* BST  
   zrównoważone, 144  
 czerwono-czarne, 145,  
   *Patrz:* drzewo R-B  
 liść, 144, 145, 377  
 pozycyjne, 392, 395  
 priorytetowe, 392  
 R-B, 89, 90, 92, 145, 146,  
 148, 370, 377, 379  
 korzeń, 377  
 węzeł, 145  
 wstawianie, 146, 147  
 wyszukiwanie, 146  
 rbtree, *Patrz:* drzewo R-B  
 trie, 148  
 urządzeń, 416  
 węzeł, 143  
   głębokość, 144  
   potomny, 145, 377  
 wysokość, 144

względnie zrównoważone, 145  
 zależności modułów, 43  
 dynamic timer, *Patrz*: licznik dynamiczny  
 DYNIX, 26  
 dyrektywa  
   optymalizująca wykonanie gałęzi kodu, 48  
   kompilatora asm, 48  
 dysk twardy, 349, 351, 403,  
   *Patrz też*: magazyn trwały cylinder, 351  
   głowica, 351  
   klaster, 351

## E

enqueue, *Patrz*: kolejka zakolejkowanie

## F

fair scheduler, *Patrz*: planista sprawiedliwy  
 FAT, 320, 323, 338  
 file-backed mapping, *Patrz*: odwzorowanie plików  
 firmware, 40  
 flusher threads, *Patrz*: wątek zapisu w tle  
 format  
   bzip2, 38  
   gzip, 38  
   xz, 38  
 free list, *Patrz*: lista struktur wolnych  
 FreeBSD, 26  
 funkcja, 109, 376, 474, 477  
   \_\_alloc\_percpu, 314  
   \_\_clone, 63  
   \_\_do\_softirq, 182  
   \_\_exit\_mm, 69  
   \_\_exit\_signal, 70  
   \_\_free\_pages, 291  
   \_\_get\_free\_page, 291  
   \_\_get\_free\_pages, 290, 292, 293  
   \_\_list\_del, 131  
   \_\_schedule, 94  
   \_\_tasklet\_hi\_schedule, 187  
   \_\_tasklet\_schedule, 187

\_\_unhash\_process, 70  
 access, 376  
 account\_process\_tick, 271  
 acct\_update\_integrals, 69  
 add\_timer, 276  
 aio\_fsync, 342  
 alloc\_inode, 327  
 alloc\_pages, 290, 291, 310, 317  
 alloc\_pages\_exact\_node, 304  
 alloc\_pid, 63  
 atomic\_add, 224  
 atomic\_dec, 224  
 atomic\_inc, 224  
 ATOMIC\_INIT, 224  
 atomic\_set, 224  
 atomic\_sub, 224  
 atomic64\_add, 227  
 atomic64\_dec, 227  
 ATOMIC64\_INIT, 227  
 atomic64\_set, 227  
 atomic64\_sub, 227  
 barrier, 253, 254  
 biblioteczna, 30  
 bread, 396  
 calc\_global\_load, 271  
 calibrate\_delay, 281  
 capable, 116  
 change\_bit, 229  
 check\_flags, 343  
 clear\_bit, 229  
 clear\_inode, 328  
 clear\_tsk\_need\_resched, 100  
 clone, 54, 63, 64, 66, 68, 371  
 close, 339, 376  
 compat\_ioctl, 341, 343  
 complete, 246  
 context\_switch, 99  
 copy\_from\_user, 115, 116  
 copy\_mm, 371  
 copy\_process, 63, 64  
 copy\_to\_user, 115, 116  
 create, 332  
 d\_compare, 338  
 d\_delete, 338  
 d\_dname, 338  
 d\_hash, 338  
 d\_iput, 338  
 d\_manage, 338  
 d\_prune, 338  
 d\_release, 338  
 d\_revalidate, 337  
 del\_timer, 276  
 del\_timer\_sync, 277  
 del\_timer\_sync, 69, 277  
 delete\_inode, 328  
 destroy\_inode, 327  
 detach\_pid, 70  
 dirty\_inode, 327, 328  
 disable\_irq, 169, 172  
 disable\_irq\_nosync, 170, 172  
 do\_exit, 69, 70, 71  
 do\_fork, 63, 64  
 do\_gettimeofday, 274  
 do\_IRQ, 167  
 do\_mmap, 381, 382  
 do\_munmap, 383  
 do\_softirq, 188, 193  
 do\_timer, 270  
 down, 241  
 down\_interruptible, 240, 241  
 down\_read\_trylock, 242  
 down\_trylock, 241  
 down\_write\_trylock, 242  
 downgrade\_write, 243  
 drop\_inode, 327  
 dump\_stack, 443  
 dup\_task\_struct, 63  
 early\_printk, 436  
 enable\_irq, 170, 172  
 enqueue\_entity, 90  
 enqueue\_task, 98  
 exec, 54, 62, 64  
 exit, 54, 69  
 exit\_files, 69  
 exit\_fs, 69  
 exit\_notify, 69, 71  
 exit\_sem, 69  
 fasync, 342  
 fault, 376  
 find\_get\_page, 393, 395  
 find\_new\_reaper, 71  
 find\_vma, 379, 381  
 find\_vma\_intersection, 381  
 find\_vma\_prev, 381  
 flock, 343  
 flush, 342  
 flush\_scheduled\_work, 200  
 follow\_link, 333  
 forget\_original\_parent, 71  
 fork, 54, 62, 63, 64, 66, 386, 446

- funkcja
  - formatująca, 435
  - free\_irq, 160
  - free\_pages, 291, 305
  - fsync, 342, 397
  - get\_bh, 353
  - get\_cpu, 250, 312
  - get\_cpu\_var, 313
  - get\_unmapped\_area, 343
  - get\_zeroed\_page, 291
  - getattr, 333
  - gettimeofday, 274
  - handle\_irq, 167
  - haszująca, 148
  - idr\_destroy, 142
  - idr\_find, 142
  - idr\_get\_new, 141
  - idr\_get\_new\_above, 141
  - idr\_init, 140
  - idr\_pre\_get, 140
  - idr\_remove, 142
  - idr\_remove\_all, 142
  - in\_interrupt, 170
  - in\_irq, 170
  - init\_completion, 246
  - init\_timer, 275
  - inotify\_read, 97
  - insmod, 410
  - int atomic\_add\_negative, 224
  - int atomic\_add\_return, 224
  - int atomic\_dec\_and\_test, 224, 225
  - int atomic\_dec\_return, 225
  - int atomic\_inc\_and\_test, 225
  - int atomic\_inc\_return, 225
  - int atomic\_read, 224
  - int atomic\_sub\_and\_test, 224
  - int atomic\_sub\_return, 224
  - int test\_and\_change\_bit, 229
  - int test\_and\_clear\_bit, 229
  - int test\_and\_set\_bit, 229
  - int test\_bit, 229
  - ioctl, 343
  - irqs\_disabled, 170
  - jiffies\_64\_to\_clock\_t, 268
  - kfifo\_alloc, 138
  - kfifo\_free, 138
  - kfifo\_in, 137
  - kfifo\_init, 138
  - kfifo\_len, 137
  - kfifo\_out\_peek, 137
  - kfifo\_reset, 138
  - kfifo\_size, 137
  - kfree, 298
  - kmalloc, 292, 298, 302, 316, 317
  - kmap, 311, 317
  - kmap\_atomic, 311
  - kmem\_cache\_alloc, 307
  - kmem\_cache\_create, 306
  - kmem\_cache\_destroy, 307
  - kmem\_cache\_free, 307
  - kmem\_freepages, 305
  - kobject\_add, 426
  - kobject\_create, 426
  - kobject\_create\_and\_add, 426
  - kobject\_init, 421
  - kobject\_uevent, 431
  - kref\_get, 422
  - kresu górnego, *Patrz:*
    - notacja O
  - kthread\_stop, 68
  - kunmap, 311
  - kunmap\_atomic, 311
  - link, 332
  - list\_add, 129
  - list\_del, 129, 131
  - list\_del\_init, 130
  - list\_empty, 130
  - list\_entry, 131
  - list\_for\_each, 131
  - list\_for\_each\_entry, 133, 134
  - list\_for\_each\_entry\_reverse, 133
  - list\_for\_each\_entry\_safe, 133
  - list\_for\_each\_entry\_safe\_reverse, 134
  - list\_move, 130
  - list\_move\_tail, 130
  - list\_splice, 130
  - list\_splice\_init, 130
  - local\_bh\_disable, 205
  - local\_bh\_enable, 205
  - local\_irq\_disable, 169, 170, 171
  - local\_irq\_enable, 169, 170, 171
  - local\_irq\_save, 169
  - lock, 342
  - loff\_t llseek, 341
  - long
    - atomic64\_add\_negative, 227
  - long atomic64\_add\_return, 227
  - long
    - atomic64\_dec\_and\_test, 227
  - long atomic64\_dec\_return, 227
  - long
    - atomic64\_inc\_and\_test, 227
  - long atomic64\_inc\_return, 227
  - long atomic64\_read, 227
  - long
    - atomic64\_sub\_and\_test, 227
  - long atomic64\_sub\_return, 227
  - lookup, 332
  - madvise, 375
  - Magic SysRq Key, 443, 444
  - malloc, 292
  - mb, 254
  - mdelay, 280, 281
  - mkdir, 332
  - mknod, 332
  - mm\_exit, 371
  - mm\_release, 65
  - mmap, 342, 375, 384
  - mmap, 371
  - mod\_timer, 276, 277
  - modprobe, 410
  - module\_exit, 406
  - module\_init, 405
  - mount, 344
  - munmap, 384
  - mutex\_init, 243
  - mutex\_is\_locked, 244
  - mutex\_lock, 243, 244
  - mutex\_trylock, 244
  - mutex\_unlock, 243, 244
  - my\_timer.function, 275
  - ndelay, 280
  - need\_resched, 100
  - nice, 104
  - obsługa licznika, 275
  - obsługa list, 131
  - open, 320, 339, 342, 376

- open\_softirq, 185
- page\_mkwrite, 376
- panic, 443
- per\_cpu, 313
- permission, 333
- pick\_next\_task, 94
- preempt\_count, 250
- preempt\_disable, 250
- preempt\_enable, 250
- preempt\_enable\_no\_resched, 250
- prepare\_to\_wait, 96
- prepare\_write, 394
- printf, 30, 46, 435, 436, 438
- printk, 46, 435, 436, 438
- printk\_ratelimit, 448
- process\_timeout, 283
- prototyp, 120
- put\_bh, 353
- put\_cpu, 312
- put\_cpu\_var, 313
- put\_task\_struct, 70
- radix\_tree\_lookup, 395
- rb\_erase, 94
- rb\_insert\_color, 147
- rb\_link\_node, 147
- read, 320, 388
- read\_barrier\_depends, 252, 253, 254
- read\_lock, 236, 237
- read\_lock\_irq, 237
- read\_lock\_irqsave, 236, 237
- read\_unlock, 237
- read\_unlock\_irq, 237
- read\_unlock\_irqrestore, 237
- readdir, 341
- readlink, 332
- readpage, 393
- reboot, 117
- release, 342, 423
- release\_task, 70
- remount\_fs, 328
- rename, 332
- request\_irq, 157, 159, 160
- rmb, 252, 254
- rmdir, 332
- rmmmod, 410
- rozwijana w miejscu
  - wywołania, 47, 48
- run\_local\_timers, 272
- rw\_lock\_init, 237
- rzędu O(1), 128
- sched\_get\_priority\_max, 104
- sched\_get\_priority\_min, 104
- sched\_getparam, 104
- sched\_getscheduler, 104
- sched\_getaffinity, 104
- sched\_rr\_get\_interval, 104
- sched\_setaffinity, 104, 105
- sched\_setparam, 104
- sched\_setscheduler, 104
- sched\_yield, 104
- schedule, 69, 94, 99, 442
- schedule\_timeout, 281, 282, 283
- scheduler\_tick, 99, 272
- sema\_init, 240, 241
- set\_bit, 229
- set\_tsk\_need\_resched, 100
- setattr, 333
- settimeofday, 274
- setup\_arch, 435
- setxattr, 333
- show\_interrupts, 169
- skalująca, 268
- skrót, 336, 338
- smp\_mb, 253, 254
- smp\_processor\_id, 312
- smp\_read\_barrier\_depends, 253, 254
- smp\_rmb, 253, 254
- smp\_wmb, 253, 254
- softirq\_pending, 193
- spin\_is\_locked, 234
- spin\_lock, 234
- spin\_lock\_bh, 234
- spin\_lock\_init, 234
- spin\_lock\_irq, 233, 234
- spin\_lock\_irqrestore, 232
- spin\_lock\_irqsave, 232, 234
- spin\_trylock, 234
- spin\_unlock, 234
- spin\_unlock\_bh, 234
- spin\_unlock\_irq, 234
- spin\_unlock\_irqrestore, 234
- sprzętowa, 454
- ssize\_t aio\_read, 341
- ssize\_t aio\_write, 341
- ssize\_t read, 341
- ssize\_t readv, 342
- ssize\_t sendfile, 342
- ssize\_t sendpage, 343
- ssize\_t write, 341
- ssize\_t writev, 342
- stats, 328
- sterowana
  - czasem, 257
  - zdarzeniami, 257
- suser, 116
- switch\_mm, 99
- switch\_to, 99
- symlink, 332
- sync, 397
- sync\_fs, 328
- synchronize\_irq, 172
- sys\_bar, 110
- sys\_foo, 119
- sys\_getpid, 110
- syscall, 120
- sysfs\_create\_file, 428
- sysfs\_remove\_file, 429
- system\_call, 112, 119
- tasklet\_action, 188
- tasklet\_disable, 190
- tasklet\_disable\_nosync, 190
- tasklet\_enable, 191
- tasklet\_hi\_action, 188
- tasklet\_hi\_schedule, 187
- tasklet\_kill, 191
- tasklet\_schedule, 187, 190
- taskletu, 190
- tick\_periodic, 270, 271
- truncate, 333
- try\_to\_wake\_up, 98
- udelay, 280, 281
- umount\_begin, 328
- unlikely, 442
- unlink, 332
- unlocked\_ioctl, 341, 343
- unlockfs, 328
- up, 241
- update\_curr, 88
- update\_process\_times, 270, 271
- update\_wall\_time, 271
- vfork, 63, 64, 246
- vfree, 300
- vfsmount\_t d\_automount, 338
- vmalloc, 299, 300, 317
- void kfifo\_init, 136
- wait, 54, 70
- wait\_for\_completion, 246

- funkcja
- wait4, 54
  - waitpid, 54
  - wake\_up, 96, 98, 283
  - wakeup\_bdflush, 399
  - wakeup\_flusher\_threads, 397
  - wb\_writeback, 397, 399
  - wmb, 252, 254
  - worker\_thread, 196
  - write, 320, 321, 388
  - write\_inode, 327
  - write\_lock, 237
  - write\_lock\_irqsave, 237
  - write\_seqlock, 248
  - write\_sequnlock, 248
  - write\_super, 328
  - write\_super\_lockfs, 328
  - write\_trylock, 237
  - write\_unlock, 237
  - write\_unlock\_irq, 237
  - write\_unlock\_irqrestore, 237
  - writepage, 393, 394
  - yield, 106
  - złożoność obliczeniowa,
    - Patrz:* złożoność obliczeniowa
- G**
- gałąź, 322
  - generator
    - liczb losowych, 158
    - pseudolosowy jądra, 404
  - Git, 37, 450, 451
    - generowanie łań, 482
  - głódzenie zleceń, 361, 362, 400
  - głowica, 351
  - gniazdo multicastowe, 430
  - GNOME, 29
  - GNOME-doc, 477
  - GNU, 28, 40
  - godzina, 258, 272
  - GPL, 406
  - graf skierowany acykliczny, 143
  - GUI, 78
- H**
- hard real-time, *Patrz:* system czasu rzeczywistego
  - rygorystyczny
- hash table, *Patrz:* tablica skrótów
  - hazard, 208, 211, 215, 276, 277, 440
  - heurystyka przewidywania, 364
  - HP-UX, 26
  - HZ, 267, 268, 269, 467
    - wartość optymalna, 260, 261, 262
- I**
- I/O scheduler, *Patrz:* planista operacji wejścia-wyjścia
  - identyfikator licznika, 140
  - IEEE, 108
  - Implementacja
    - process\_one\_work, 197
  - Implementacja
    - process\_scheduled\_works, 197
  - index node, *Patrz:* i-węzeł
  - inicjalizator desygnowany, 479
  - inline functions, *Patrz:* funkcja rozwijana w miejscu wywołania
  - i-node, *Patrz:* i-węzeł
  - instrukcja
    - assemblerowa, 48, 170
    - cli, 170, 171
    - compare and exchange, 213
    - kolejność wykonywania, 469
    - niepodzielna, 213
    - sti, 170, 171
    - switch, 473
    - test and set, 213
    - zmiennoprzecinkowa, 50
  - interfejs, 107
    - alokatora plastrowego, 305
    - API, *Patrz:* API
    - BH, 178, 193
    - dostępu do sprzętu, 107
    - gniazd, 404
    - jądra eksportowany, 415
    - kolejek zadań, 201
    - kolejek prac, 179
    - kryptograficzny, 40
    - operacji niepodzielnych, 222, 223, 228
    - percpu, 313, 316
    - POSIX, 108
    - programistyczny, *Patrz:* API
    - programowy aplikacji, *Patrz:* API
    - rygla pętlowego, 231, 232
    - STREAMS, 33
    - systemu plików, 319, 320
    - użytkownika, 29
      - graficzny, 28, 78
    - interrupt handler, *Patrz:* procedura obsługi przerwania, *Patrz:* przerwanie obsługi
    - interrupt service routine, *Patrz:* ISR
    - IRIX, 26, 33
    - IRQ, 154
    - ISR, 155
    - i-węzeł, 302, 322, 323, 327, 329, 330, 362, 392
      - operacje, 331
- J**
- jądro, 28, 45
    - dane wewnętrzne, 53
    - egzobjądro, 32
    - haker, 480
    - inicjalizacja, 435
    - instalacja, 44
    - interfejs eksportowany, 415
    - kod, 216
      - długość wiersza, 476
      - narzędzia
        - samodokumentacji, 477, 479
      - odstępy, 473
      - wcięcia, 472
      - źródłowy, 37, 38, 39
    - kod rozruchu, *Patrz:* kod rozruchu
    - kompilacja, 40, 441
      - czas trwania, 43
    - komunikat, 437, 438
    - konfiguracja, 41, 215, 411, 412, 441
    - licznik, *Patrz:* licznik jądra
    - mikrojądro, *Patrz:* mikrojądro
    - moduł, *Patrz:* moduł modułowe, 33
    - monolityczne, 32, 33
    - nagłówki, 40
    - obiekt, *Patrz:* obiekt jądra



opiekun, 480  
 pamięć, *Patrz:* jądra  
 przestrzeń adresowa, 287  
 pula entropii, 158  
 rozwojowe, 35  
 sondowanie, 446  
 stan zawieszenia, 118  
 stos, *Patrz:* stos jądra  
 styl kodowania, 472, 473, 475, 476, 477, 479  
 stymulowanie, 446  
 systemu uniksowego, 31  
 wątek, *Patrz:* wątek jądra  
 wersja, 20, 433, 449  
 wielowątkowe, 33  
 wyłączone, 33, 207  
 wyłączenie, 101, 102, 118, 214, 312, 469, 470  
 blokowanie, 249  
 zamrożone, 35  
 zdarzenie, *Patrz:* Kernel Event Layer

jednostka  
 szeregowania, 87  
 zarządzająca pamięcią,  
*Patrz:* MMU

jiffy, *Patrz:* chwilka, zmienna  
 jiffies

## K

karta  
 pamięci, 365  
 sieciowa, 156

katalog, 322, 324  
 arch, 40  
 block, 40  
 crypto, 40  
 Documentation, 40  
 domowy, 39  
 drivers, 40  
 firmware, 40  
 fs, 40  
 include, 40, 46  
 init, 40  
 ipc, 40  
 kernel, 40  
 lib, 40  
 linux-x.y.z, 481  
 mm, 40

net, 40  
 samples, 40  
 scripts, 40  
 security, 40  
 stron główny, *Patrz:* PGD  
 tools, 40  
 tworzenie, 332  
 usr, 40  
 usuwanie, 332  
 virt, 40

Kernel Event Layer, 430  
 Kernel-doc, 477

kernel, 135, 138  
 definiowanie, 136  
 rozmiar, 137  
 usuwanie, 138  
 zakolejkowanie, 135  
 zerowanie, 138

kgdb, 446

k-grupa, 419, 420

klasa  
 szeregowania, 82, 102  
 urządzeń, 33

klaster, 351

klawiatura, 157, 349, 404  
 kontroler, 154

klawisz  
 Alt+Print Screen, 443  
 SysRq, 443, 444

klucz, 139, 140

Knuth Donald, 150

kobjects, *Patrz:* obiekt jądra

kod  
 asemblerowy, 453  
 blokowanie, 214  
 ziarnistość, 219  
 gałąź, 48  
 jądra, 216  
 komunikacji  
 międzyprocesowej, 40  
 niepodzielność, *Patrz:*  
 niepodzielność  
 odporny na  
 wieloprzetwarzanie, 214  
 odporny na wyłączenie,  
 215  
 programu, 53, 377, 378  
 przerywalny, 214  
 rozruchu, 40  
 synchronizacja, 208

kolejka, 135, 148, *Patrz też:* kfifo

kfifo, *Patrz:* kfifo  
 offset, 135  
 prac, 179, 180, 194, 199, 202, 203  
 implementacja, 195  
 opóźnianie, 200  
 tworzenie, 201  
 wyciągnięcie, 135, 136  
 zadań, 178, 180, 194, 201, 202  
 zakolejkowanie, 135, 136, 137  
 zleceń, 357, 362

komentarz, 477

kompilator, 28  
 gcc, 47, 48

komunikat, 32  
 znacznik priorytetu, 46

konfigurator wiersza polecenia, 42

konsolidator, 28

konsument, 135, 148, 235, 237, 242

kontekst  
 NUMA, 302  
 przełączanie, 99  
 przerywania, 155, 165, 173  
 wyłączny, 155

kontroler  
 APIC, 169  
 wejścia-wyjścia, 169

kopiowanie przy zapisie, 62

koprocesor, 50

kres  
 dolny, 150  
 górny, 149, 150

ksets, *Patrz:* k-grupa

k-typ, 418, 419, 420

kwant czasu  
 procesora, 76, 77, 80, 83, 84, 86, 87  
 procesu, 104

## L

least recently used, *Patrz:* LRU

licencja  
 GNU, 28, *Patrz:* GNU  
 GPL, *Patrz:* GPL  
 pliku kodu źródłowego, 406

liczba  
 losowa, 158  
 typ nieprzejrzysty, 57

- licznik, 224
    - APIC, 269
    - czasu, *Patrz:* zegar systemowy
    - czasu procesora, *Patrz:* TSC
    - dynamiczny, 258, 274, 275, 276, 277
    - implementacja, 277
    - identyfikator, *Patrz:*
      - identyfikator licznika jądra, 180, 184, *Patrz:* licznik dynamiczny
    - jiffies, 467, 468
    - odwołań, 356, 421, 422
    - preempt\_count, 101
    - sekwencyjny, 247
    - semafora, 239, 240
    - użycia, 239
    - wywłaszczeniowy, 101, 250
  - linked list, *Patrz:* lista
  - Linus Elevator, *Patrz:* winda Linusa
  - Linux
    - Fedora, *Patrz:* Fedora historia, 27
    - numer
      - podwersji, 34
      - rewizji, 34
      - wersji, 34
    - Ubuntu, *Patrz:* Ubuntu wersja, 34
  - Linux Kernel Mailing List, 451, 483
  - linux-kernel mailing list, *Patrz:* lklm
  - list head, *Patrz:* lista czoło
  - lista, 123, 148, 235
    - cykliczna, 124, 125, 126
    - czoło, 125, 128
    - dwukierunkowa, 124, 125, 126, 357
    - dyskrybucyjna
      - linux-kernel mailing list, *Patrz:* lklm
      - LKML, *Patrz:* LKML
    - implementacja, 126
    - inicjalizowanie, 127
    - jednokierunkowa, 124
    - LRU, 390
    - łączenie, 130
    - modyfikacja współbieżna, 134
    - procesów potomnych, 73
    - przeglądanie, 125, 131, 132, 133
    - pusta, 130
    - stron aktywnych, 390
    - stron brudnych, 389
    - struktur wolnych, 301, 302
    - systemów plików, 346
    - węzeł, 123
      - dodawanie, 129
      - przenoszenie, 130
      - usuwanie, 129
    - wpisów katalogowych, 336
    - zadań, 55, 61
  - little-endian, *Patrz:*
    - bajt:porządek:little-endian
  - lklm, 35
  - LKML, 451, 471
  - lock contention, *Patrz:* blokada rywalizacja
  - loglevel, *Patrz:* poziom diagnostyczny
  - LRU, 389
- Ł**
- lata, 406, 445, 446, 481
    - aktualizująca, 37
    - dzielenie na porcje, 484
    - generowanie, 481, 482
    - przyrostowa, 39
    - rozsyłanie, 483
- M**
- Mac OS X, 32
  - Mach, 32
  - macierz dyskowa RAID, *Patrz:* RAID
  - magazyn trwałe, 388
  - magistrala, *Patrz:* szyna
  - major release, *Patrz:* Linux numer wersji
  - makrodefinicja, 225, 474
    - alloc\_percpu, 314
    - allocate\_mm, 371
    - BUG, 442
    - BUG\_ON, 442
    - current, 57, 60, 165
    - DECLARE\_COMPLETION, 246
    - DECLARE\_PER\_CPU, 313
    - DECLARE\_TASKLET\_DISABLED, 191
    - DECLARE\_WAITQUEUE, 96
    - DECLARE\_WORK, 199
    - for\_each\_process, 61
    - free\_mm, 372
    - get\_cpu\_var, 315
    - in\_interrupt, 173
    - in\_irq, 173
    - irqs\_disabled, 173
    - likely, 48, 49
    - local\_softirq\_pending, 183
    - MODULE\_AUTHOR, 406
    - MODULE\_DESCRIPTION, 406
    - MODULE\_LICENSE, 406
    - module\_param, 413
    - next\_task, 61
    - prev\_task, 61
    - time\_after, 266, 267
    - time\_after\_eq, 267
    - time\_before, 266
    - time\_before\_eq, 267
    - u32 \_\_be32\_to\_cpu, 467
    - u32 \_\_cpu\_to\_be32, 467
    - u32 \_\_cpu\_to\_le32, 467
    - u32 \_\_le32\_to\_cpu, 467
    - unlikely, 48, 49
  - mapa, 139, 148
    - idr, 140, 142
  - mapowanie, 139, *Patrz też:* odwzorowanie
  - maska gfp\_mask, 140
  - MATLAB, 78
  - mechanizm sysenter, 112
  - Memory Management Unit, *Patrz:* MMU
  - metadane, 323
    - systemu plików, 323, 362
  - metoda, *Patrz:* funkcja mikrojądro, 32
    - funkcja rdzenna, 32
  - minimum granularity, *Patrz:* ziarnistość minimalna
  - Minix, 453
  - minor release, *Patrz:* Linux numer podwersji
  - MMU, 31, 285

model  
 obiektowy urządzeń, 33  
 producenta i konsumenta, 135  
 sterowników, 416

moduł, 404  
 instalowanie, 409  
 kompilacja, 406, 407, 408  
 konsolidacja z jądrem, 415  
 ładowanie, 410  
 nadzorczy, 29  
 parametry, 413  
 tworzenie, 405  
 usuwanie, 410  
 zależności pomiędzy modułami, 409

modyfikator  
 asmlinkage, 110  
 strefy, 293, 295, 310

modyfikator czynnościowy, 293, 294

muteks, *Patrz:* semafor binarny

mutual exclusion, 239

mysz, 416

## N

narzędzie  
 csh, 26  
 vi, 26

NetBSD, 26, 453

netlink, 430

niepodzielność, 208, 221, 225, 229, 230  
 błąd, 441

noop I/O scheduler, *Patrz:* planista operacji wejścia-wyjścia nieingerujący

Norton Andrew, 35

notacja  
 O, 149, 150  
 omega, 150  
 theta, 150

NTFS, 320, 323

NULL, 124, 147, 290, 395

NUMA, 302, 305

numer wywołania, 111, 112, 120

## O

obiekt, 302, 303  
 jądra, 417, 418, 419, 420, 421, 430  
 atrybuty, 428, 429  
 grupa, *Patrz:* k-grupa  
 rodzina, 418  
 typ, *Patrz:* k-typ  
 kolorowanie, 302  
 przypięty, 421  
 VHS, *Patrz:* VHS obiekt:

obszar TLS, 67

odpytywanie, 153

odstąpienie, 76

odzworowanie, 310,  
*Patrz:* mapowanie anonimowe, 382  
 czasowe, 311  
 niepodzielne, *Patrz:* odzworowanie czasowe plikowe, 382  
 prywatne, 375, 392  
 wejścia-wyjścia diagnostyka błędów, 441  
 wspólne, 375  
 współdzielone, 392

opcja, 42  
 CONFIG\_IKCONFIG\_PR OC, 43  
 CONFIG\_SMP, 41  
 dwustanowa, 41  
 włączona, 41  
 wyłączona, 41

OpenBSD, 26

operacja  
 atomowa, *Patrz:* operacja niepodzielna  
 barier, 225  
 błąd niepodzielności, 441  
 down, 240  
 jednobitowa, 229  
 niepodzielna, 221, 222, 239  
 64-bitowa, 226  
 bitowa, 228  
 odczytu, 361  
 up, 240  
 uszeregowanie, 225  
 VMA, 375

wejścia-wyjścia, 350, 352, 353, 354, 387, 400  
 blokowa, 355, 357, 396  
 bufor, 396  
 dyskowa, 358  
 głodzenie, 361, 362  
 kolejka, 362  
 planowanie, 358  
 serializacja, 362  
 wektorowa, 354  
 wielostronicowa, 357  
 zapisu, 361

opóźniony zapis stron, 387

ordering, *Patrz:* operacja uszeregowanie

## P

page global directory, *Patrz:* PGD

page middle directory, *Patrz:* PMD

page table entries, *Patrz:* PTE

page writeback, *Patrz:* pamięć, 285  
 adresowanie, 368, 287  
 fizyczne, 287, 299, 300, 317, 384, 386  
 wirtualne, 287, 299, 317, 384, 386

bariery, 251

ciągłość  
 fizyczna, 299, 300, 317  
 wirtualna, 299, 317

CMOS, 269

deskryptor, *Patrz:* deskryptor pamięci

dostęp bezpośredni, *Patrz:* DMA

flash, 349

fragmentacja, 301

jądra, 49

jednostka zarządzająca, *Patrz:* MMU

kolejność operacji, 251

lista struktur wolnych, *Patrz:* lista struktur wolnych

lokalna względem procesora, 312

masowa, *Patrz:* magazyn trwały

- pamięć
    - obszar, 368, 372, 376, 377, 379
    - wirtualny, *Patrz:* VMA
    - obszar niedozwolony, 49
    - podręczna, 302, 303, 390
    - bufora, 396
    - eksmisja, 389
    - kolorowanie, 55
    - plaster, *Patrz:* plaster
    - przydzielanie, 305, 307
    - puddło, 388
    - stron, 387, 391, 395
    - trafienie, 388
    - z zapisem bezzwłocznym, 388
    - z zapisem w tle, 388
    - zwalnianie, 307, 389
  - procesów przestrzeni użytkownika, *Patrz:* przestrzeń adresowa
  - procesu
  - przeźrzeń adresowa z odwzorowaniem wirtualno-fizycznym, 53
  - przydział, 140
  - przydzielanie, 290, 292, 295, 296, 297, 298, 299, 301, 314
  - na stosie, 309
  - słowo, *Patrz:* słowo
  - strona, *Patrz:* strona
  - strona zerowa, 379
  - stronicowanie, 34, 350
  - tablica stron, 384, 385
  - pierwszego poziomu, *Patrz:* PGD
  - wtórna, *Patrz:* PMD
  - wirtualna, 27, 40, 53, 107, 367, 384
  - współużytkowana, 207
  - wysoka, 310, 317, 469, 470
  - diagnostyka błędów, 441
  - zwalnianie, 290, 298, 300, 301, 315
- panic error, *Patrz:* błąd
  - paniczny
  - parent process, *Patrz:* rodzic
  - pętla aktywnego oczekiwania, 278
  - PGD, 385
  - PID, 60, 62, 63, 66, 70
  - pinned, *Patrz:* obiekt:przypięty
  - PIT, 269
  - planista, 29, 33, 50, 75, 77, 149, 184, 219
  - CFQ, *Patrz:* planista
  - operacji wejścia-wyjścia
  - sprawiedliwy
  - CFS, 77, 80, 82, 84, 85, 87
  - czasu rzeczywistego, 102
  - kod, 454
  - O(1), 77
  - operacji wejścia-wyjścia, 358, 359, 360
  - nieingerujący, 365, 366
  - przewidujący, 363, 364, 366
  - sprawiedliwy, 364, 365, 366
  - terminowy, 361, 362, 366
  - wybór, 366
  - procesów, 358
  - RSD, 77
  - sprawiedliwy, 76, 86
  - plaster, 302, 303, 306
  - deskryptor, *Patrz:* deskryptor plastra
  - pełny, 302
  - pusty, 302
  - zajęty częściowo, 302
  - plik, 322, 330
  - .config, 42
  - /etc/syslog.conf, 438
  - /fs/proc, 169
  - /proc/<pid>/maps, 377
  - /proc/interrupts, 158, 168, 169
  - /proc/irq, 158
  - /proc/kcore, 445
  - /proc/kmsg, 438
  - /proc/sys/kernel/pid\_max, 57
  - /proc/sys/vm, 398
  - /proc/sys/vm/laptop\_mode, 398
  - /var/log/messages, 438
  - asm/atomic.h, 223
  - asm/bitops.h, 228
  - asm/byteorder.h, 466
  - asm/delay.h, 280
  - asm/irq.h, 169
  - asm/mman.h, 382
  - asm/page.h, 385
  - asm/percpu.h, 313
  - asm/semaphore.h, 240
  - asm/spinlock.h, 231
  - asm/system.h, 169
  - asm/types.h, 460
  - asm-generic/param.h, 259
  - block/cfq-iosched.c, 365
  - block/noop-iosched.c, 366
  - COPYING, 40
  - CREDITS, 40, 480
  - Documentation/CodingStyle, 472
  - Documentation/oops-tracing.txt, 481
  - Documentation/sysrq.txt, 444
  - drivers/char/rtc.c, 163
  - fs/fs-writeback.c, 398
  - fs/mount.h, 346
  - kernel/exit.c, 371
  - kernel/fork.c, 63, 246, 308, 371
  - kernel/sched/core.c, 82, 94, 246, 454
  - kernel/sched/fair.c, 87
  - kernel/sched\_rt.c, 102
  - kernel/softirq.c, 181
  - kernel/time/timekeeping.c, 272
  - kernel/workqueue.c, 196
  - kodu źródłowego, 384, 398
  - lib/string.c, 46
  - libc.so, 378
  - linux/bio.h, 354
  - linux/blkdev.h, 357
  - linux/buffer\_head.h, 351
  - linux/delay.h, 280
  - linux/fdtable.h, 345
  - linux/fs.h, 325, 326, 329, 339, 344, 392
  - linux/fs\_struct.h, 346
  - linux/gfp.h, 290, 294
  - linux/highmem.h, 311
  - linux/interrupt.h, 157, 181, 184, 189
  - linux/jiffies.h, 264
  - linux/kfifo.h, 135
  - linux/kobject.h, 417, 431
  - linux/list.h, 134
  - linux/mm.h, 374, 376, 381, 382

- linux/mm\_types.h, 285, 372
- linux/mmzone.h, 287
- linux/mount.h, 344
- linux/percpu.h, 313, 314
- linux/rbtree.h, 146
- linux/sched.h, 55, 371
- linux/slab.h, 294, 298
- linux/slab\_def.h, 293
- linux/spinlock.h, 231
- linux/timer.h, 275
- linux/types.h, 222, 293, 460
- MAINTAINERS, 40, 480, 481
- Makefile, 40, 44
- mm/backing-dev.c, 398
- mm/mmap.c, 379, 381, 384
- mm/page-writeback.c, 398
- mm/slab.c, 313
- nagłówkowy, 46, 55, 134
- objektowy, 378
- prawa dostępu, 333
- REPORTING-BUGS, 481
- specjalny, 332
- System.map, 45, 440
- tablica operacji, 340
- urządzenia, 332
- vmlinux, 445
- wykonywalny, 368
- wyszukiwanie na podstawie ścieżki, 334
- PMD, 385
- podsystem, 40
  - czasu rzeczywistego
  - tolerancyjny, 103
  - dźwiękowy, 40
  - inotify, 140
  - sieciowy, 40, 184
  - urządzeń blokowych, 184
  - zarządzania pamięcią, 40
- polecenie, *Patrz też:* program
  - git clone, 38
  - git pull, 38
  - ksymoops, 440, 441
  - make, 43
  - make config, 42
  - make defconfig, 42
  - make dep, 43
  - make gconfig, 42
  - make menuconfig, 42
  - make oldconfig, 42
  - patch, 39
  - ps -ef, 67
  - ps -el, 79
  - tar, 38
- poll, 341
- polling, *Patrz:* odpytywanie
- połówka
  - dolna, 156, 165, 176, 177, 178, 179, 180, 234, 274
  - blokowanie, 204
  - implementacja, 178, 202
  - obsługa, 156
  - wyłączanie, 204, 205
  - górną, 156, 176, 177, 178
- port szeregowy, 349, 436
- POSIX, 28, 108, 140
- powłoka, 29
- poziom
  - diagnostyczny, 436, 437
  - uprzejmości, *Patrz:* wartość
  - nice
- PPID, 62
- preprocesor HZ, 259
- private mapping, *Patrz:*
  - odwzorowanie prywatne
- procedura
  - obsługi przerwania, 29, 31, 60, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 175, 176, 204, 235
  - programowego, 181, 185, 191, 201
  - sprzętowego, 269, 293, 309
  - zegarowego, 269
- obsługi wywołań
  - systemowych, 112
- startowa, 60
- proces, 53, 54, 65, 345
- czas wykonania, 87
  - wirtualny, 88
- debugera, 73
- deskryptor, 55, 58, 60, 70, 346
  - pamięci, 371
  - przechowywanie, 57
  - przydzielanie, 55
- drzewo, 60
- duch, 54, 70, 71
- identyfikator, *Patrz:* PID
- init, 60, 72
- interaktywny, 77, 81, 84
- klasy real-time, 82
- kojarzenie z procesorem, 104, 105
- kontekst, 60
- lekki, 65
- macierzysty, *Patrz:* rodzaj
- ograniczony, 78, 81
- potomny, 54, 60, 63, 66
- priority, 79, 84, 85
  - manipulacja, 103
- przełączanie, 80, 85, 99
- rozwidlanie, 63
- rzeźnik, 72
- TASK\_INTERRUPTIBLE, 58
- TASK\_RUNNING, 58
- TASK\_STOPPED, 59
- TASK\_TRACED, 59
- TASK\_UNINTERRUPTIBLE, 58
- tworzenie, 54
- wirtualizacja, 53
- wyłączenie, *Patrz:*
  - wyłączenie
  - zakończenie, 68
  - zawieszony, 58, 96
  - zmienna, *Patrz:* zmienna
- procesor
  - kwant czasu, *Patrz:* kwant
  - czasu procesora
  - numer, 250, 312
  - pułapka, 462
  - rejestr, 53
  - RISC, 58
  - tworzenie, 62
  - wielordzeniowy, 75
  - wirtualny, 53
- process identification, *Patrz:* PID
- process scheduler, *Patrz:*
  - planista
- procdfs, 169
- producent, 135, 148, 235, 237, 242
- program, 53, *Patrz też:* polecenie
  - aktywny, 54
  - diff, 481
  - gdb, 445
  - indent, 479
  - insmod, 410
  - ładujący, 44
  - make, 409
  - mmap, 378

- program
    - sekcja tekstu, *Patrz:* kod programu
    - sysctl, 398
  - programowanie współbieżne, *Patrz:* współbieżność
  - protokół, 404
    - TCP/IP, 27
  - przenośność, 51, 453, 469
    - historia, 455
    - względna, 454
  - przeplot operacji, *Patrz:* hazard
  - przerwanie
    - programowe
    - wyzwalanie, 185
  - przerwanie, 31, 233
    - asynchroniczne, 51
    - blokowanie, 31, 169, 170, 172
    - implementacja obsługi, 166
    - klawiatury, 154
    - kontekst, *Patrz:* kontekst przerwania
    - kontrola, 169
    - kontroler, 154
    - linia współużytkowana, 158, 160
    - maskowanie linii, 172
    - numer, 154, 157
    - obsługa, 29, 31, 153
    - programowe, 112, 155, 179, 180, 181, 183, 188, 191, 202, 203, 214, 235
    - implementacja, 181
    - indeks, 184
    - priorytet, 184
    - uruchamianie, 182
    - wyzwalanie, 185
    - przydział dynamiczny, 154
    - reaktywowane, 192
    - sprzętowe, 153, 155, 182, 214
    - stan systemu, 173
    - synchroniczne, 155
    - synchronizacja, 170
    - systemowe, 113
    - współużytkowane, 162
    - wyłączanie lokalne, 170
    - zegarowe, 154, 257, 258, 269
  - przestrzeń
    - adresowa, 392, 367
    - interwał, 368, 372, 373, 381, 383
  - nazw, 67, 322
  - segmentowana, 367
  - użytkownika, 29
  - przetwarzanie
    - równoległe, 65
    - współbieżne symetryczne, *Patrz:* SMP
  - pseudorównoległość, 213
  - pseudourządzenie, 404
  - PTE, 385
  - pułapka, 108
    - przełączająca tryb procesora, 113
  - punkt montowania, 322, 334
- ## R
- race condition, *Patrz:* hazard
  - RAID, 356
  - rbtree, *Patrz:* drzewo R-B
  - reader, *Patrz:* konsument
  - reader-writer lock, *Patrz:* rygiel pętlowy R-W
  - real-time clock, *Patrz:* zegar czasu rzeczywistego
  - reaper, *Patrz:* proces rzeźnik
  - Red Hat, 41
  - red-black tree, *Patrz:* drzewo R-B
  - Redundant Array of Inexpensive Disk, *Patrz:* RAID
  - rejestr, 47
    - eax, 112, 113
    - ebx, 113
    - ecx, 113
    - edi, 113
    - edx, 113
    - esi, 113
    - koprocesora, 50
  - revision number, *Patrz:* Linux numer rewizji
  - Ritchie Dennis, 25, 27
  - rodzeństwo, 60
  - rodzic, 54, 60, 62, 63, 66
  - Rotating Staircase Deadline, *Patrz:* RSD
  - rozmnażanie, 62
  - RSD, 77
  - RTC, *Patrz:* zegar czasu rzeczywistego, *Patrz:* zegar:czasu rzeczywistego
  - rygiel pętlowy, 51, 215, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 238, 239, 245, 248, 249, 250, 395
    - bez aktywnego oczekiwania, 243
    - diagnostyka błędów, 233, 441
    - kontrola zawieszenia przy przetrzymywaniu, 441
    - rekurencja, 232
    - R-W, 235, 236
    - wspólny-wyłączny, *Patrz:* rygiel pętlowy R-W
    - współbieżny-wyłączny, *Patrz:* rygiel pętlowy R-W
  - rywalizacja o blokadę, *Patrz:* blokada rywalizacja
- ## S
- samozakleszczenie, 216
  - scatter-gather I/O, *Patrz:* technika rozrzucania/zbierania
  - scheduler, *Patrz:* planista
  - scheduler entity structure, *Patrz:* jednostka szeregowania
  - sekcja
    - .bbs, 377, 378
    - .bss, 368
    - danych programu, 368, 377, 378
    - krytyczna, 208, 210, 230, 233, 249
    - identyfikacja, 214
    - tekstu programu, 368, 377, 378
  - sektor, 350, 351, 359
  - semafor, 51, 95, 190, 231, 232, 238, 243, 245
    - binarny, 239, 242, 243, 244, 245
    - implementacja, 240
    - IPC, 69
    - licznik, *Patrz:* licznik semafora
    - opuszczanie, 240
    - R-W, 242
    - zliczający, 239
  - semantyka SEM\_UNDO, 67
  - sequential lock, *Patrz:* blokada sekwencyjna

- serwer, 32
- SGI, 26
- shared mapping, *Patrz:*
  - odzworowanie wspólne
  - sibling, *Patrz:* rodzeństwo
- Single Unix Specification, 28
- single-linked list, *Patrz:* lista jednokierunkowa
- skalowalność, 219, 220, *Patrz:*
  - złożoność obliczeniowa
- skoroszyt, *Patrz:* katalog
- skrypt inicjalizacyjny, 60
- slab allocator, *Patrz:* alokator
  - plastrowy, *Patrz:* alokator plastrowy
- sleep-inside-spinlock checking, *Patrz:* rygiel pętlowy kontrola zawieszenia przy przetrzymywaniu
- słownik, *Patrz:* mapa
- słowo kluczowe, 465, 474
  - inline, 48
  - static, 48
  - rozmiar, 456, 457
- SMP, 33, *Patrz:*
  - wieloprocessorowość
- socket API, *Patrz:* interfejs gniazd
- soft real-time, *Patrz:* podsystem czasu rzeczywistego tolerancyjny
- softirqs, *Patrz:* przerwanie programowe
- Solaris, 26, 33
- sound, 40
- spawn, *Patrz:* rozmnażanie
- spin lock, *Patrz:* rygiel pętlowy
- spurious wakeup, *Patrz:* zadanie wybudzenie nieplanowane
- sshkeygen, 78
- stała
  - HZ, *Patrz:* HZ
  - USER\_HZ, *Patrz:* USER\_HZ
- sterta, 392
- stos, 47, 50, 110, 133, 165, 309
  - diagnostyka błędów, 310, 441
  - jądra, 50, 309, 310
    - przepelnienie, 310
  - procesu, 378
  - protokołu TCP/IP, 27
  - przerwań, 166, 309
- strategia
  - dwóch list, 390
  - SCHED\_FIFO, 102
  - SCHED\_NORMAL, 102
  - SCHED\_RR, 102
  - szeregowania, 102
- strefa, 294
  - ZONE\_DMA, 287, 288, 295, 306
  - ZONE\_DMA32, 287, 295
  - ZONE\_HIGHMEM, 287, 288, 289, 295
  - ZONE\_NORMAL, 287, 288, 289, 295
- strona, 391, 456
  - aktywna, 390
  - brudna, 389, 396, 397
  - fizyczna, 285, 286, 385
    - strefa, *Patrz:* strefa nieaktywna, 390
  - rozmiar, 285, 468, 469
  - wirtualna, 286
  - wypełniona zerami, 291
  - zapis opóźniony, 387
  - zwalnianie, 291
- stronicowanie
  - kopiowanie przy zapisie, 62
  - na żądanie, 26, 27
- struktura
  - address\_space, 391, 392
  - address\_space\_operations, 393
  - bio, 354, 356, 357, 358
  - bio\_vec, 355, 356
  - buffer\_head, 353
  - cpu\_workqueue\_struct, 196
  - dentry\_operations, 337
  - dopelnianie, 463, 464
  - drzewa czerwono-czarnego, 89, 90, 92
  - FIFO, 135
  - file, 324
  - file\_struct, 346
  - file\_system\_type, 344
  - files\_struct, 345
  - fs\_struct, 324, 345, 346
  - idr, *Patrz:* mapa idr
  - inicjalizacja, 479
  - init\_task, 61
  - kmem\_cache, 303
  - kobject, 419
  - kref, 422
  - ktype, 418
  - mm\_rb, 370
  - mm\_struct, 69, 371, 372
  - mmap, 370
  - mnt\_namespace, 345, 346, 347
  - rb\_root, 146
  - request\_queue, 357
  - samorównoważąca, 89
  - sched\_entity, 87, 88
  - sched\_param, 104
  - softirq\_action, 181
  - struct buffer\_head, 351, 357
  - struct completion, 246
  - struct dentry, 334
  - struct file, 339
  - struct file\_system\_type, 344
  - struct inode, 302, 329
  - struct kobject, 417, 419
  - struct mutex, 243
  - struct page, 285, 292, 317
  - struct request, 358
  - struct rw\_semaphore, 242
  - struct semaphore, 240
  - struct slab, 303
  - struct super\_block, 325
  - struct super\_operations, 326
  - struct task\_struct, 55, 57, 60
  - struct thread\_info, 56, 57
  - struct timekeeper, 272
  - struct timer\_list, 275
  - super\_operations, 327
  - sysfs\_dirent, 417
  - task\_struct, 63, 65, 69, 105, 371
  - tasklet\_struct, 186
  - thread\_info, 63, 101, 310
  - vfsmount, 344
  - vm\_area\_struct, 372, 374, 375, 376, 391, 392
  - vm\_operations\_struct, 376
  - VMA, 306
  - wake\_queue\_head\_t, 96
  - work\_struct, 199
  - workqueue\_structure, 195
  - wyrównanie, 463, 464

- SunOS, 26, 301
  - superblok, 323, 325
  - supervisor, *Patrz:*
  - SUSv3, 109
  - sygnał, 49, 67
    - SIGSEGV, 49
    - SIGSTOP, 59
    - SIGTSTP, 59
    - SIGTTIN, 59
    - zablokowany, 67
  - syscall number, *Patrz:* numer wywołania
  - syscalls, *Patrz:* wywołanie systemowe
  - system, 29
    - bezwładność, 78
    - czas sprawności, *Patrz:* czas sprawności systemu
    - czas rzeczywistego rygorystyczny, 103
    - energochłonność, 263
    - interaktywność, 80, 85
    - kompilacji, *Patrz:* toolchain
      - kbuild, 406
    - kontroli wersji, 37
    - operacyjny, 29
      - bezzegarowy, 263
      - przenośność, *Patrz:* przenośność rdzeń, 29
    - plików, 66, 322, 349, 391, 403
      - blok, *Patrz:* blok ext3, 344
      - ext4, 344, 393
      - FAT, *Patrz:* FAT
      - metadane, *Patrz:* metadane systemu plików
      - montowanie, 322
      - NTFS, NTFS
      - odmontowywanie, 328
      - procfs, *Patrz:* procfs
      - rekordowy, 322
      - sysfs, 325, 423, 424, 426, 427, 428, 429, 430
      - UDF, 344
      - wirtualny, *Patrz:* VFS
      - wirtualny pamięciowy, 325
      - przerwań, 173, 175
    - RISC, 462
    - sysfs, 33
    - wielozadaniowy, *Patrz:*
      - wielozadaniowość
      - wirtualizacja, 107
      - zawieszenie, 76
      - zliczania odwołań, 421, 422
    - system timer, *Patrz:* zegar
    - systemowy
      - szyna
        - ISA, 288
        - PCI, 154, 157
- ## Ś
- ścieżka dostępu, 322, 334
    - rozwiązywanie, 334
- ## T
- tablica
    - asocjacyjna, *Patrz:* mapa dentry\_hashtable, 336
    - haszująca, 139
      - implementacja, 148
      - pidhash, 70
    - mieszająca, *Patrz:* tablica skrótów
    - przemieszczania, *Patrz:*
      - tablica skrótów
    - skrótów, 336, 395
    - softirq\_vec, 183
    - statyczna, 123
    - stron, 384, 385
    - sys\_call\_table, 111
  - takt, 258
  - tarball, *Patrz:* archiwum tar
  - targeted latency, *Patrz:* docelowe opóźnienie
  - task, *Patrz:* zadanie
  - task list, *Patrz:* lista zadań
  - task queue, *Patrz:* kolejka zadań
  - tasklet, 179, 180, 184, 185, 186, 188, 189, 191, 202, 203, 204, 214, 235
    - implementacja, 186, 189
    - szeregowanie, 187, 190
    - tworzenie, 189, 190
  - technika rozrzucania/zbierania, 354
  - temporary mapping, *Patrz:* odwzorowanie czasowe
  - Thompson Ken, 25, 27
  - thrashing, *Patrz:* zaśmiecanie
  - tick rate, *Patrz:* zegar systemowy
  - częstotliwość taktowania
  - tickless, *Patrz:* tryb bezzegarowy
  - TID, 67
  - Time Stamp Counter, *Patrz:* TSC
  - timeslice, *Patrz:* kwant czasu procesora
  - TLB, 300, 385
  - toolchain, 28
  - Torvalds Linus, 27, 33, 36, 37, 480
  - translation lookaside buffer, *Patrz:* TLB
  - transmisja sieciowa, 430
  - Tru64, 26
  - tryb
    - bezzegarowy, 263
    - laptopowy, 398, 399
    - nieuprzywilejowany, 29
    - symetrycznego przetwarzania równoległego, 207
    - uprzywilejowany, 29, 32, 112
    - wieloprocessorowy, *Patrz:* wieloprocessorowość
  - TSC, 269
  - typ
    - blkdevs, 403
    - cdevs, 404
    - definicja, 478
    - miscdevs, 404
  - typ, *Patrz:* znacznik typu
- ## U
- Ubuntu, 41
  - UID, 140, 446, 447
    - odzworowanie na wskaźnik, 140, 141, 142, 148
  - Unix historia, 25
  - uptime, *Patrz:* czas sprawności systemu
  - urządzenie
    - blokowe, 349, 403
      - o silnie swobodnym dostępie, 365, 366
    - sektor, *Patrz:* sektor sterownik, 407
    - węzeł, 403
  - ethernetowe, *Patrz:* urządzenie sieciowe



pełne, 404  
 plik, *Patrz:* plik urządzenia  
 podłączane na gorąco, 404  
 puste, 404  
 reprezentujące pamięć, 404  
 różne, 404  
 sieciowe, 403, 404  
 sterownik, 155, 157, 278,  
 299, 349, 403, 416, 480  
 USB, 407  
 wirtualne, 404  
 zerujące, 404  
 znakowe, 349, 403, 404, 407  
 sterownik, 407  
 węzeł, 404  
 USER\_HZ, 267, 268  
 użytkownik  
 root, 39, 116  
 uprzywilejowany, 116

## V

VFS, 319, 320, 321, 322, 323, 334  
 obiekt, 343  
 pliku, 339  
 podstawowy, 324  
 wpisu katalogowego, 335  
 VHS  
 blok główny, 326  
 obiekt  
 bloku głównego, 324, 325  
 dentry\_operations, 324  
 file\_operations, 324  
 inode\_operations, 324  
 i-węzła, 324, 329, 331  
 operacji, 324  
 pliku, 324  
 super\_operations, 324  
 wpisu dentry, *Patrz:* VHS  
 obiekt wpisu  
 katalogowego  
 wpisu katalogowego, 324,  
 334, 337, 338  
 virtual filesystem, *Patrz:* VFS  
 virtual runtime, *Patrz:* proces  
 czas wykonania wirtualny  
 VMA, 306, 372, 374, 375

## W

wall time, *Patrz:* godzina  
 warstwa  
 abstrakcji systemu plików,  
 320, 322  
 blokowych operacji  
 wejścia-wyjścia, 350  
 obiektowa, 323  
 plastrowa, *Patrz:* alokator  
 plastrowy  
 wartość  
 nice, 79, 80, 83, 84, 85, 104  
 NULL, *Patrz:* NULL  
 wątek, 53, 65, 371  
 aktywne oczekiwanie, 213  
 events, 195  
 grupa, 67  
 jądra, 67, 372, 397  
 bdflush, 399, 400  
 ksoftirqd, 191, 192  
 kupdated, 399  
 pdflush, 399, 400  
 tworzenie, 68  
 keventd, 202  
 pętla aktywnego  
 oczekiwania, 231, 232  
 roboczy, 195, 196, 198  
 samozakleszczenie, 216, 232  
 wykonania, *Patrz:* wątek  
 zapisu w tle, 397, 400  
 zawieszenie, 231, 232, 238,  
 281  
 wektor wejścia-wyjścia, 355, 356  
 wielobieżność, 162  
 wieloprocesorowość, 51, 60, 65,  
 207, 214, 215, 251, 470  
 wielowątkowość, 27  
 wielozadaniowość, 27, 50, 75, 107  
 idealna, 85  
 z kooperacją, 76  
 z wywłaszczaniem, 76, 80  
 wiersz poleceń konfigurator,  
*Patrz:* konfigurator wiersza  
 polecenia  
 winda Linusa, 360, 362  
 Windows 7, 32, 457  
 Windows 95, 454  
 Windows NT, 32, 457  
 Windows Vista, 32

Windows XP, 32  
 work queues, *Patrz:* kolejka prac  
 wpis  
 dentry, *Patrz:* wpis  
 katalogowy  
 katalogowy, 322  
 writeback, 389  
 write-back cache, *Patrz:* pamięć  
 podręczna z zapisem w tle  
 writer, *Patrz:* producent  
 write-through cache, *Patrz:*  
 pamięć podręczna z zapisem  
 bezzwłocznym  
 współbieżność, 50, 65, 204, 213  
 błędy, 214  
 hazard, 51, 96  
 prawdziwa, 214  
 źródła, 214  
 wyjątek, 108, 155  
 wyrównanie, 462, 463  
 wyścig, 208, *Patrz:* hazard  
 wywłaszczenie, 33, 51, 76, 80,  
 100, 102, 182, 207, 213, 234  
 blokowanie, 249  
 wywołanie  
 free\_percpu, 315  
 systemowe, 29, 60, 103, 107, 109,  
 115, 120, *Patrz też:* funkcja  
 argument, 113, 114  
 bezparametrowe, 110  
 błęd, 110, 111  
 definiowanie, 110  
 fork, 54, *Patrz:* funkcja:fork  
 implementacja, 113, 114,  
 121, 122  
 ioctl, 114  
 kompilacja, 119, 120  
 kontekst, 118  
 lista, 111  
 nazwa, 111  
 niezaimplementowane, 111  
 numer wywołania, *Patrz:*  
 numer wywołania  
 obsługa, 111  
 rejestrowanie, 119  
 sys\_ni\_syscall, 111  
 tablica, 111, 119, 120  
 uprawnienia, 116  
 wiązanie, 119  
 wielokrotnione, 114

## Z

- zadanie, *Patrz też:* proces
  - czasu rzeczywistego, 102
  - flush, 67
  - init, 439
  - jałowe, 66, 439
  - kolejka, 96, *Patrz:* kolejka
    - zadań
  - kolejkowanie, 201
  - ksoftirqd, 67
  - lista, *Patrz:* lista zadań
  - okresowe, 257
  - osierocone, 71
  - priorytet, 103
  - uśpione, 76
  - wybudzenie, 98
    - nieplanowane, 98
  - zablokowane, 75, 95
  - zawieszone, 95
- zakleszczenie, 216, 232, 236, 247
- zaśmiecianie, 316
- zdominowanie odczytu przez
  - zapis, 361
- zegar
  - czasu rzeczywistego, 163, 268
  - przerwań programowalny, *Patrz:* PIT
  - systemowy, 84, 155, 157, 163, 184, 257, 258, 268, 269
    - częstotliwość taktowania, 258, 259, 260
- ziarnistość minimalna, 86
- zlecenie
  - scalanie, 358, 359, 360, 365
  - sortowanie, 358, 359, 360
- złożoność
  - asymptotyczna, 139
  - czasowa, 150
  - kwadratowa, 150
  - liniowa, 144, 150
  - logarytmiczna, 139, 144, 150
  - O, 150, 370, 377
  - obliczeniowa, 128, 149, 150
  - silniowa, 150
  - sześcienna, 150
  - wykładnicza, 150
- zmienna, 53
  - atomic\_t, 223
  - globalna, 210
  - jiffies, 263, 264, 267, 269
    - zawijanie, 266
  - lokalna, 215
    - względem procesora, 312, 313, 314, 315
  - loops\_per\_jiffy, 281
  - niepodzielna, 422
  - sygnalowa, 245, 246
  - warunkowa, 447
  - wyrównanie naturalne, 462, 463
  - xtime, 269
- znacznik
  - bh\_state\_bits, 352
  - CLONE\_CHILD\_CLEARTID, 67
  - CLONE\_CHILD\_SETTID, 67
  - CLONE\_FILES, 66, 346
  - CLONE\_FS, 66, 346
  - CLONE\_IDLETASK, 66
  - CLONE\_NEWNS, 67, 347
  - CLONE\_PARENT, 67
  - CLONE\_PARENT\_SETTID, 67
  - CLONE\_PTRACE, 67
  - CLONE\_SETTID, 67
  - CLONE\_SETTLS, 67
  - CLONE\_SIGHAND, 67
  - CLONE\_STOP, 67
  - CLONE\_SYSVSEM, 67
  - CLONE\_THREAD, 67
  - CLONE\_UNTRACED, 67
  - CLONE\_VFORK, 67
  - CLONE\_VM, 67, 371
  - GFP, 140
  - gfp\_mask, 293
  - IRQF\_DISABLED, 158
  - IRQF\_SAMPLE\_RANDOM, 158
  - IRQF\_SHARED, 158
  - IRQF\_TIMER, 158
  - MADV\_RANDOM, 375
  - MADV\_SEQUENTIAL, 375
  - MAP\_ANONYMOUS, 383
  - MAP\_DENYWRITE, 383
  - MAP\_EXECUTABLE, 383
  - MAP\_FIXED, 383
  - MAP\_GROWSDOWN, 383
  - MAP\_LOCKED, 383
  - MAP\_NONBLOCK, 383
  - MAP\_NORESERVE, 383
  - MAP\_POPULATE, 383
  - MAP\_PRIVATE, 383
  - MAP\_SHARED, 383
  - MNT\_NODEV, 345
  - MNT\_NOEXEC, 345
  - MNT\_NOSUID, 345
  - modyfikator, *Patrz:*
    - modyfikator
  - need\_resched, 100, 101, 262
  - PF\_FORKNOEXEC, 63
  - PF\_SUPERPRIV, 63
  - PROT\_EXEC, 382
  - PROT\_NONE, 382
  - PROT\_READ, 382
  - PROT\_WRITE, 382
  - RQF\_DISABLED, 177
  - SA\_INTERRUPT, 158
  - SLAB\_CACHE\_DMA, 306
  - SLAB\_HWCACHE\_ALIGN, 306
  - SLAB\_PANIC, 306
  - SLAB\_POISON, 306
  - SLAB\_RED\_ZONE, 306
  - typu, 293, 296
  - VM\_EXEC, 375
  - VM\_IO, 375
  - VM\_READ, 375
  - VM\_SEQ\_READ, 375
  - VM\_SHARED, 375
  - VM\_WRITE, 375
  - VMA, 374
- zombie process, *Patrz:* proces duch
- zone, *Patrz:* strefa
- zone modifier, *Patrz:* modyfikator strefy

# 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>



## Przekonaj się, jak działa jądro Linuksa!

Jądro systemu Linux to jedno z największych osiągnięć otwartej społeczności programistów. Projekt ten, zainicjowany przez Linusa Torvaldsa, światło dzienne ujrzał w 1991 roku. Od tamtego czasu coraz więcej ochotników wspiera jego doskonalenie. Pozwoliło to na wprowadzenie do jądra wielu nowatorskich funkcji i wyznaczenie trendów w rozwoju współczesnego oprogramowania oraz systemów operacyjnych. Prace nad tym gigantycznym projektem przyczyniły się też do powstania mnóstwa innych produktów – w tym zdobywającego ogromną popularność rozproszonego systemu kontroli wersji Git.

Tak dynamiczny rozwój ma jeden niedobry skutek uboczny. Początkujący programiści mają problem z opanowaniem ogromu projektu i poznaniem jego architektury. Ten długotrwały proces będzie zdecydowanie krótszy dzięki przewodnikowi, który właśnie trzymasz w rękach. Przeprowadzi Cię on przez tajemnice systemu. Dowiesz się, jak pobrać kod źródłowy jądra, jak go skonfigurować oraz skompilować. W kolejnych rozdziałach poznasz kluczowe mechanizmy: zarządzania procesami, szeregowania zadań, wywołań systemowych oraz przerwań. Ponadto nauczysz się korzystać z urządzeń blokowych, pamięci podręcznej, sterowników i modułów. Ta książka jest obowiązkową lekturą dla wszystkich programistów, którzy chcą mieć swój wkład w rozwój projektu Torvaldsa. Sprawdzi się ona również w rękach osób, które po prostu chcą zrozumieć, jak działa ten niezwykle system.

### Dzięki tej książce:

- pobierzesz, skonfigurujesz i skompilujesz źródła jądra
- zrozumiesz zasady zarządzania procesami
- poznasz struktury danych jądra
- wykorzystasz wirtualne systemy plików
- zyskasz możliwość samodzielnego rozwijania jądra systemu Linux

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa

Nr katalogowy: 17927



Księgarnia internetowa  
<http://helion.pl>



Zamówienia telefoniczne:  
**0 801 339900**



**0 601 339900**



**Helion**

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

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

Informatyka w najlepszym wydaniu

  
Addison  
Wesley

cena: 79,00 zł

ISBN 978-83-246-4273-1



ślęgnij po **WIĘCEJ**



KOD KORZYŚCI

9 788324 642731