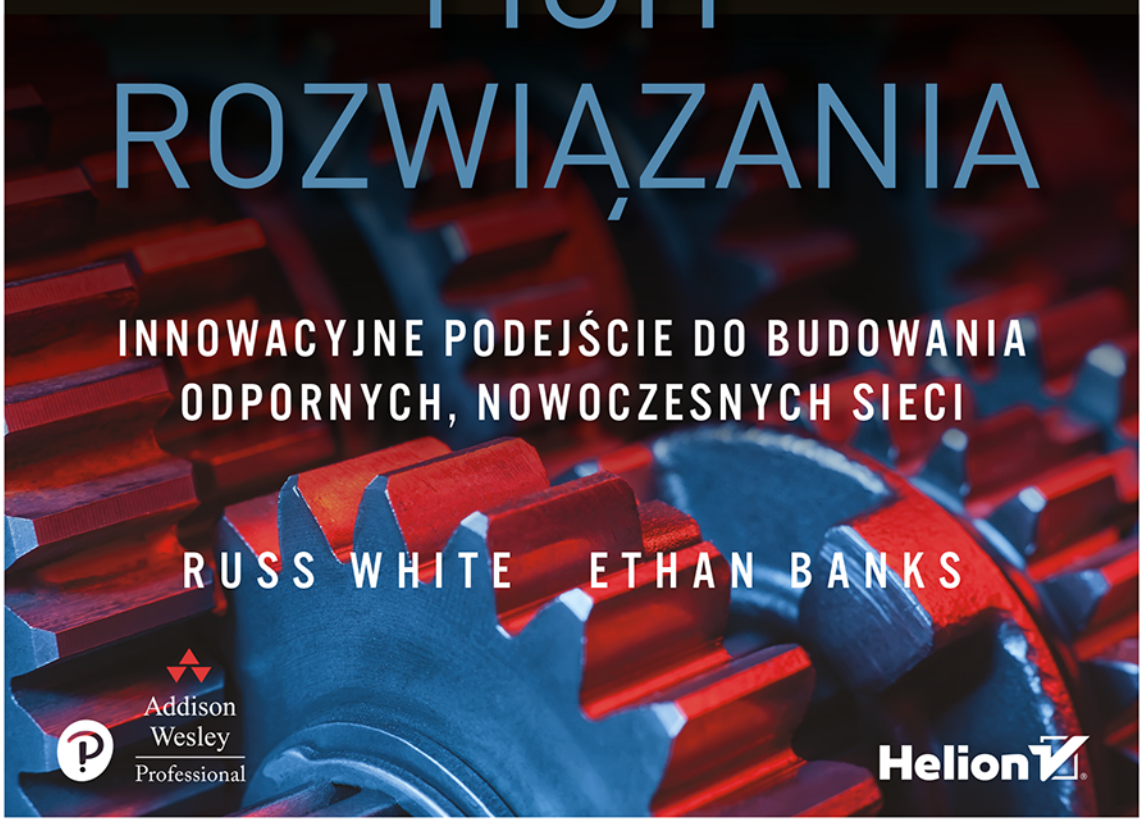
SIECI KOMPUTEROWE NAJCZĘSTSZE PROBLEMY I ICH ROZWIĄZANIA



INNOWACYJNE PODEJŚCIE DO BUDOWANIA ODPORNYCH, NOWOCZESNYCH SIECI

RUSS WHITE ETHAN BANKS

Addison Wesley Professional

Helion

Tytuł oryginału: Computer Networking Problems and Solutions:
An innovative approach to building resilient, modern networks

Tłumaczenie: Witold Woicki (wstęp, rozdz. 1 – 10, 25 – 30), Lech Lachowski (rozdz. 11 – 24)

ISBN: 978-83-283-5043-4

Authorized translation from the English language edition, entitled: COMPUTER NETWORKING PROBLEMS AND SOLUTIONS: AN INNOVATIVE APPROACH TO BUILDING RESILIENT, MODERN NETWORKS, First Edition, ISBN 1587145049 by Russ White and Ethan Banks, published by Pearson Education, Inc, publishing as Cisco Press, Copyright © 2018 Pearson Education, Inc.

Helion SA
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: *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/sienpr
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

Spis treści

O autorach **17**

Wprowadzenie **19**

Część I. Płaszczyzna danych **23**

Rozdział 1. Podstawowe pojęcia **27**

Sztuka czy inżynieria? 28
Komutacja łączy 30
Przełączanie pakietów 33
Działanie przełączania pakietów *34*
Kontrola przepływu w sieci z przełączaniem pakietów *36*
Ramki o stałej a ramki o zmiennej długości 37
Obliczanie ścieżek pozbawionych pętli 40
Jakość usług 42
Zemsta scentralizowanych płaszczyzn sterowania 44
Złożoność 44
Skąd ta złożoność? *45*
Definiowanie złożoności *46*
Zarządzanie złożonością poprzez talię osy *49*
Końcowe rozważania 51
Dalsza lektura 51
Pytania kontrolne 52

Rozdział 2. Problemy i rozwiązania związane z transportem danych **55**

Cyfrowe gramatyki i organizowanie 57
Cyfrowe gramatyki i słowniki *57*
Pola o stałej długości *60*
Format TLV *62*
Współdzielone słowniki obiektów *63*

Błędy ... 64
Wykrywanie błędów ... 64
Korekcja błędów ... 69
Multipleksowanie ... 71
Adresacja urządzeń i aplikacji ... 71
Multicast ... 73
Anycast ... 76
Kontrola przepływu ... 78
System okien dystrybucji ... 79
Negocjowane szybkości transmisji bitów ... 83
Końcowe rozważania dotyczące transportu ... 84
Dalsza lektura ... 84
Pytania kontrolne ... 86

Rozdział 3. Modelowanie transportu sieciowego ... 89
Model Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych (DoD) ... 90
Model Open Systems Interconnect (OSI) ... 93
Model rekursywnej architektury internetowej (RINA) ... 97
Zorientowanie na połączenie i bezpołączeniowość ... 99
Końcowe rozważania ... 99
Dalsza lektura ... 100
Pytania kontrolne ... 100

Rozdział 4. Transport w niższych warstwach ... 103
Ethernet ... 104
Multipleksowanie ... 104
Kontrola błędów ... 110
Organizowanie danych ... 111
Kontrola przepływu ... 112
Sieć bezprzewodowa 802.11 ... 112
Multipleksowanie ... 113
Organizowanie danych, kontrola błędów i kontrola przepływu ... 119
Końcowe rozważania dotyczące protokołów transmisji w niższych warstwach ... 120
Dalsza lektura ... 121
Pytania kontrolne ... 121

Rozdział 5. Transport danych w wyższych warstwach ... 123
Protokół internetowy ... 125
Transport i organizowanie danych ... 127
Multipleksowanie ... 130
Protokół kontroli transmisji (TCP) ... 135
Kontrola przepływu ... 135
Kontrola błędów ... 140
Numery portów TCP ... 140
Konfiguracja sesji protokołu TCP ... 141

QUIC ... 141
Redukcja początkowego uzgadniania ... 142
Ograniczanie retransmisji ... 142
Zmniejszenie blokowania początku linii ... 143
ICMP ... 146
Końcowe rozważania ... 147
Dalsza lektura ... 148
Pytania kontrolne ... 150

Rozdział 6. Odnajdowanie międzywarstwowe ... 151
Rozwiązania w zakresie odnajdowania międzywarstwowego ... 152
Powszechnie znane lub ręcznie skonfigurowane identyfikatory ... 153
Mapowanie bazy danych i protokołu ... 154
Ogłaszanie mapowania identyfikatorów za pomocą protokołu ... 155
Wyliczanie jednego identyfikatora z innego ... 155
Przykłady odnajdowania międzywarstwowego ... 155
System nazw domen (DNS) ... 155
DHCP ... 157
Protokół rozwiązywania adresów IPv4 ... 159
IPv6 Neighbor Discovery — odnajdowanie sąsiadów ... 161
Problem z bramą domyślną ... 163
Końcowe rozważania ... 166
Dalsza lektura ... 167
Pytania kontrolne ... 168

Rozdział 7. Przełączanie pakietów ... 169
Z medium fizycznego do pamięci ... 171
Przetwarzanie pakietu ... 172
Przełączanie ... 172
Routing ... 173
Po co routować? ... 174
Wiele ścieżek o równym koszcie ... 175
Przez magistralę ... 182
Krzyżowe pola komutacyjne i rywalizacja ... 184
Z pamięci do medium fizycznego ... 186
Końcowe rozważania dotyczące przełączania pakietów ... 187
Dalsza lektura ... 188
Pytania kontrolne ... 189

Rozdział 8. Jakość usług ... 191
Definiowanie zakresu problemu ... 192
Dlaczego po prostu nie zrobić wystarczająco szybkich łączy? ... 193
Klasyfikacja ... 194
Zachowywanie klasyfikacji ... 199
Nieoznaczony Internet ... 201

Zarządzanie zatorami ... 202
Terminowość — kolejkowanie o niskim opóźnieniu ... 202
Uczciwość — uczciwe kolejkowanie ważone według klasy ... 207
Krytyczne przeciążenie ... 208
Inne narzędzia QoS do zarządzania zatorami ... 208
Zarządzanie kolejką ... 209
Zarządzanie pełnym buforem — ważone losowe wczesne wykrywanie ... 209
Zarządzanie opóźnieniami bufora, rozdęte bufory i CoDel ... 210
Końcowe rozważania dotyczące QoS ... 212
Dalsza lektura ... 212
Pytania kontrolne ... 213

Rozdział 9. Wirtualizacja sieci ... 215
Zrozumieć sieci wirtualne ... 216
Świadczenie usług Ethernet w sieci IP ... 219
Wirtualny prywatny dostęp do sieci korporacyjnej ... 220
Podsumowanie problemów i rozwiązań związanych z wirtualizacją ... 222
Routing segmentowy ... 223
Routing segmentowy z wieloprotokołowym przełączaniem etykiet (MPLS) ... 224
Routing segmentowy w IPv6 ... 228
Sygnalizowanie etykiet routingu segmentowego ... 229
Sieci rozległe definiowane programowo ... 230
Złożoność i wirtualizacja ... 232
Powierzchnie interakcji i grupy łączy wspólnego ryzyka ... 232
Powierzchnie interakcji i nakładające się płaszczyzny sterowania ... 234
Końcowe rozważania dotyczące wirtualizacji sieci ... 236
Dalsza lektura ... 236
Pytania kontrolne ... 238

Rozdział 10. Bezpieczeństwo transportu ... 239
Sformułowanie problemu ... 240
Sprawdzanie prawidłowości danych ... 240
Ochrona danych przed badaniem ... 240
Ochrona prywatności użytkowników ... 241
Dostępne rozwiązania ... 242
Szyfrowanie ... 242
Wymiana kluczy ... 249
Skróty kryptograficzne ... 252
Zaciemnianie danych użytkownika ... 252
Transport Layer Security ... 257
Końcowe rozważania dotyczące bezpieczeństwa transportu ... 259
Dalsza lektura ... 260
Pytania kontrolne ... 261

Część II. Płaszczyzna sterowania 263

Rozdział 11. Wykrywanie topologii 265
Węzły, krawędzie i osiągalne miejsca docelowe 267
Węzeł 267
Krawędź 268
Osiągalne miejsce docelowe 268
Topologia 270
Poznawanie topologii 271
Wykrywanie innych urządzeń sieciowych 271
Wykrywanie łączności dwukierunkowej 272
Wykrywanie maksymalnej jednostki transmisji (MTU) 274
Uczenie się osiągalnych miejsc docelowych 276
Uczenie się reaktywne 276
Uczenie się proaktywnie 277
Rozgłaszanie osiągalności i topologii 278
Decydowanie, kiedy należy rozgłaszać osiągalność i topologię 278
Reaktywne rozpowszechnianie osiągalności 280
Proaktywne rozpowszechnianie osiągalności 283
Redystrybucja między płaszczyznami sterowania 285
Redystrybucja i metryki 285
Pętle redystrybucji i routingu 287
Końcowe rozważania dotyczące wykrywania topologii 289
Dalsza lektura 290
Pytania kontrolne 291

Rozdział 12. Wolne od pętli ścieżki unicastowe (1) 293
Która ścieżka jest wolna od pętli? 294
Drzewa 296
Alternatywne ścieżki wolne od pętli 299
Model wodospadu (lub zlewiska) 300
Przestrzeń P/Q 302
Zdalne alternatywy bez pętli 303
Obliczanie wolnej od pętli ścieżki za pomocą algorytmu Bellmana-Forda 304
Algorytm DUAL Garcii 310
Końcowe rozważania 315
Dalsza lektura 315
Pytania kontrolne 316

Rozdział 13. Wolne od pętli ścieżki unicastowe (2) 317
Najkrótsza ścieżka Dijkstry 317
Częściowy i przyrostowy SPF 324
Obliczanie LFA i rLFA 325
Wektor ścieżki 327

Algorytmy rozłącznej ścieżki ... 330
Sieć dwupołączona ... 331
Algorytm rozłącznej ścieżki Suurballe'a ... 332
Maksymalnie redundantne drzewa ... 336
Łączność dwukierunkowa ... 339
Końcowe rozważania ... 340
Dalsza lektura ... 341
Pytania kontrolne ... 343

Rozdział 14. Reagowanie na zmiany w topologii ... 345
Wykrywanie zmian w topologii ... 347
Odpytywanie w celu wykrycia awarii ... 347
Wykrywanie awarii oparte na zdarzeniach ... 348
Porównanie wykrywania opartego na zdarzeniach i odpytywaniu ... 350
Przykład: wykrywanie przekazywania dwukierunkowego ... 351
Dystrybucja zmian ... 354
Zalewanie ... 354
Przeskok po przeskoku ... 358
Scentralizowany magazyn ... 359
Spójność, dostępność i odporność na partycjonowanie ... 362
Końcowe rozważania ... 364
Dalsza lektura ... 365
Pytania kontrolne ... 366

Rozdział 15. Płaszczyzny sterowania wykorzystujące protokoły wektora odległości ... 367
Klasyfikacja płaszczyzn sterowania ... 368
Protokół STP ... 371
Budowanie drzewa wolnego od pętli ... 371
Poznawanie osiągalnych miejsc docelowych ... 375
Podsumowanie protokołu STP ... 377
Protokół RIP ... 378
Powiązanie algorytmu Bellmana-Forda z protokołem RIP ... 380
Reagowanie na zmiany w topologii ... 382
Podsumowanie protokołu RIP ... 383
Protokół EIGRP ... 383
Reagowanie na zmianę topologii ... 386
Wykrywanie sąsiadów i niezawodny transport ... 388
Podsumowanie protokołu EIGRP ... 390
Dalsza lektura ... 391
Pytania kontrolne ... 392

Rozdział 16. Płaszczyzny sterowania wykorzystujące protokoły stanu łącza i wektora ścieżki ... 395
Krótka historia OSPF i IS-IS ... 396
Protokół IS-IS ... 397
Adresowanie OSI ... 397
Marshalling danych w protokole IS-IS ... 399
Wykrywanie sąsiadów i topologii ... 399
Niezawodne zalanie ... 401
Podsumowanie protokołu IS-IS ... 403
Protokół OSPF ... 404
Marshalling danych w protokole OSPF ... 404
Wykrywanie sąsiadów i topologii ... 406
Niezawodne zalewanie ... 407
Podsumowanie protokołu OSPF ... 409
Wspólne elementy protokołów OSPF i IS-IS ... 409
Łącza wielodostępowe ... 410
Konceptualizacja łączy, węzłów i osiągalności w protokołach stanu łącza ... 412
Sprawdzanie łączności dwukierunkowej w SPF ... 414
Protokół BGP ... 414
Peering BGP ... 415
Proces decyzyjny wyboru najlepszej ścieżki w protokole BGP ... 417
Reguły rozgłaszania BGP ... 419
Podsumowanie protokołu BGP ... 421
Końcowe rozważania ... 421
Dalsza lektura ... 422
Pytania kontrolne ... 424

Rozdział 17. Reguły w płaszczyźnie sterowania ... 425
Przypadki użycia reguł płaszczyzny sterowania ... 426
Routing i ziemniaki ... 426
Segmentacja zasobów ... 428
Przypinanie przepływów dla optymalizacji aplikacji ... 429
Definiowanie reguł płaszczyzny sterowania ... 434
Reguły i złożoność płaszczyzny sterowania ... 435
Routing i ziemniaki ... 435
Segmentacja zasobów ... 436
Przypinanie przepływów dla optymalizacji aplikacji ... 438
Końcowe rozważania dotyczące reguł płaszczyzny sterowania ... 439
Dalsza lektura ... 439
Pytania kontrolne ... 440

Rozdział 18. Scentralizowane płaszczyzny sterowania 441
Definicja pojęcia software defined 442
Systematyka interfejsów 442
Podział pracy 444
BGP jako SDN 444
Fibbing 446
I2RS 449
Protokół PCEP 453
Protokół OpenFlow 455
Twierdzenie CAP i pomocniczość 457
Końcowe rozważania dotyczące scentralizowanych płaszczyzn sterowania 460
Dalsza lektura 461
Pytania kontrolne 462

Rozdział 19. Domeny awarii i ukrywanie informacji 463
Przestrzeń problemu 464
Definiowanie zakresu stanu płaszczyzny sterowania 464
Pętle dodatniego sprzężenia zwrotnego 465
Przestrzeń rozwiązań 468
Sumaryzacja informacji o topologii 469
Agregowanie informacji o osiągalności 470
Filtrowanie informacji o osiągalności 473
Uwarstwienie płaszczyzn sterowania 474
Buforowanie 475
Spowalnianie 479
Końcowe rozważania dotyczące ukrywania informacji 481
Dalsza lektura 481
Pytania kontrolne 482

Rozdział 20. Przykłady ukrywania informacji 483
Sumaryzacja informacji o topologii 484
Protokół IS-IS 484
Protokół OSPF 489
Agregacja 495
Uwarstwienie 496
Protokół BGP jako nakładka osiągalności 496
Routing segmentowy z nakładką kontrolera 498
Zmniejszenie prędkości stanu 500
Exponential backoff 500
Redukcja zalewania stanem łącza 503
Końcowe rozważania dotyczące domen awarii 505
Dalsza lektura 505
Pytania kontrolne 507

Część III. Projektowanie sieci 509

Trzy podstawowe modele 510
Prawo nieszczelnych abstrakcji 510
Triada stan-optymalizacja-powierzchnia (SOS) 510
Triada spójność-dostępność-odporność na partycjonowanie (CAP) 511

Rozdział 21. Kwestie bezpieczeństwa w szerszym ujęciu 513
Zakres problemu 514
Zagadnienie tożsamości biometrycznej 514
Definicje 516
Przestrzeń problemów 517
Przestrzeń rozwiązań 517
Obrona w głąb 517
Kontrola dostępu 518
Ochrona danych 519
Gwarantowanie dostępności usług 523
Pętla OODA jako model bezpieczeństwa 532
Obserwuj 533
Zorientuj się 533
Zdecyduj 534
Działaj 535
Końcowe rozważania dotyczące kwestii bezpieczeństwa 535
Dalsza lektura 536
Pytania kontrolne 538

Rozdział 22. Wzorce projektowania sieci 539
Przestrzeń problemu 540
Rozwiązywanie problemów biznesowych 540
Przekładanie wymagań biznesowych na techniczne 544
Co to jest dobry projekt sieci? 546
Projektowanie hierarchiczne 547
Powszechne topologie 549
Topologie pierścienia 550
Topologie siatki 553
Topologie gwiazdy 555
Topologie planarne, nieplanarne i regularne 556
Końcowe rozważania dotyczące wzorców projektowania sieci 558
Dalsza lektura 558
Pytania kontrolne 558

Rozdział 23. Redundancja i odporność 559
Przestrzeń problemu: jak aplikacje postrzegają awarie 560
Definiowanie odporności 561
Inne „wskaźniki” 563

Redundancja jako narzędzie do tworzenia odporności 563
Grupy łączy współdzielonego ryzyka 565
Aktualizacja oprogramowania w trakcie działania i płynny restart 566
Rdzenie dwupłaszczyznowe i wielopłaszczyznowe 566
Modułowość i odporność 567
Końcowe rozważania dotyczące odporności 569
Dalsza lektura 569
Pytania kontrolne 570

Rozdział 24. Rozwiązywanie problemów 571
Co jest celem? 572
Czym są komponenty? 573
Modele i rozwiązywanie problemów 574
Budowanie modeli „jak” 575
Budowanie modeli „co” 576
Budowanie dokładnych modeli 578
Przełączanie się między modelami 579
Podziel na pół i idź dalej 581
Manipulowanie 583
Upraszczanie przed testowaniem 585
Usuwanie problemu 585
Końcowe rozważania dotyczące rozwiązywania problemów 586
Dalsza lektura 587
Pytania kontrolne 588

Część IV. Aktualne tematy 589

Rozdział 25. Dezagregacja, hiperkonwergencja i zmieniająca się sieć 591
Zmiany w zasobach obliczeniowych i aplikacjach 592
Konwergentne, zdezagregowane, hiperkonwergentne i kompozycyjne 592
Zwirtualizowane i zdezagregowane aplikacje 595
Wpływ na projektowanie sieci 597
Wzrost ruchu na linii wschód – zachód 597
Wzrost odchyleń i opóźnień 599
Sieci szkieletowe z przełączaniem pakietów 599
Szczególne własności sieci szkieletowej 599
Gałęzie i liście 603
Inżynieria ruchu w sieci gałęzi i liści 606
Sieć gałęzi i liści o większej skali 607
Dezagregacja w sieciach 607
Końcowe rozważania dotyczące dezagregacji 611
Dalsza lektura 612
Pytania kontrolne 613

Rozdział 26. Powody automatyzacji sieci 615
Koncepcje automatyzacji 617
Nowoczesne metody automatyzacji 620
NETCONF 620
RESTCONF 623
Automatyzacja z wykorzystaniem interfejsów programowalnych 624
Automatyzacja na poziomie urządzenia 627
Automatyzacja sieci z wykorzystaniem narzędzi automatyzacji infrastruktury 628
Kontrolery sieciowe i automatyzacja 629
Automatyzacja sieci na potrzeby wdrażania 629
Końcowe rozważania dotyczące przyszłości automatyzacji sieci: od zautomatyzowanej do automatycznej 630
Dalsza lektura 630
Pytania kontrolne 632

Rozdział 27. Zwirtualizowane funkcje sieciowe 633
Elastyczność w projektowaniu sieci 635
Tworzenie łańcucha usług 637
Skalowanie horyzontalne 642
Zmniejszenie czasu obsługi dzięki automatyzacji 643
Scentralizowane zarządzanie konfiguracjami 643
Sieć oparta na intencjach 645
Korzyści 646
Architektura i korzyści obliczeniowe 646
Poprawianie przepustowości VNF 647
Rozważanie kompromisów 647
Stan 647
Optymalizacja 648
Powierzchnia 648
Inne kompromisy do rozważenia 649
Końcowe rozważania 649
Dalsza lektura 649
Pytania kontrolne 651

Rozdział 28. Koncepcje i wyzwania przetwarzania w chmurze 653
Biznesowe powody korzystania z chmur publicznych 655
Od wydatków inwestycyjnych do operacyjnych 656
Czas wprowadzenia na rynek i zwinność biznesowa 656
Nietechniczne kompromisy związane z chmurami publicznymi 657
Kompromisy operacyjne 657
Kompromisy biznesowe 660
Techniczne wyzwania tworzenia sieci w chmurze 661
Opóźnienie 661
Wypełnianie zdalnej przestrzeni dyskowej 663

Ciężar danych ... *664*
Wybór spośród wielu ścieżek do chmury publicznej ... *664*
Bezpieczeństwo w chmurze ... 665
Ochrona danych przy transporcie przez sieć publiczną ... *665*
Zarządzanie bezpiecznymi połączeniami ... *666*
Chmura z wieloma podmiotami ... *667*
Kontrola dostępu oparta na rolach ... *667*
Monitorowanie sieci w chmurze ... 668
Końcowe rozważania ... 668
Dalsza lektura ... 669
Pytania kontrolne ... 669

Rozdział 29. Internet rzeczy ... 671
Wprowadzenie do internetu rzeczy ... 672
Bezpieczeństwo internetu rzeczy ... 673
Zabezpieczanie niezabezpieczalnych urządzeń poprzez izolację ... *674*
IoT nie stanowi nowych wyzwań dla bezpieczeństwa ... *678*
Łączność w internecie rzeczy ... 678
Bluetooth Low Energy (BLE) ... *678*
LoRaWAN ... *680*
IPv6 dla IoT ... *681*
Dane w internecie rzeczy ... 683
Końcowe rozważania dotyczące internetu rzeczy ... 684
Dalsza lektura ... 685
Pytania kontrolne ... 686

Rozdział 30. Patrząc w przyszłość ... 687
Rozpowszechniona otwarta automatyzacja ... 688
Języki modelowania i modele ... *689*
Krótkie wprowadzenie do YANG ... *689*
Patrząc w przyszłość w stronę wszechobecnej automatyzacji ... *691*
Sieci hiperkonwergentne ... 691
Sieć oparta na intencjach ... 692
Uczenie maszynowe i wąska sztuczna inteligencja ... 694
Sieci nazwanych danych i łańcuchy bloków ... 696
Działanie sieci nazwanych danych ... *697*
Łańcuchy bloków ... *700*
Przekształcenia Internetu ... 702
Końcowe rozważania dotyczące przyszłości inżynierii sieci ... 704
Dalsza lektura ... 704
Pytania kontrolne ... 705

Skorowidz ... 707

Rozdział 7

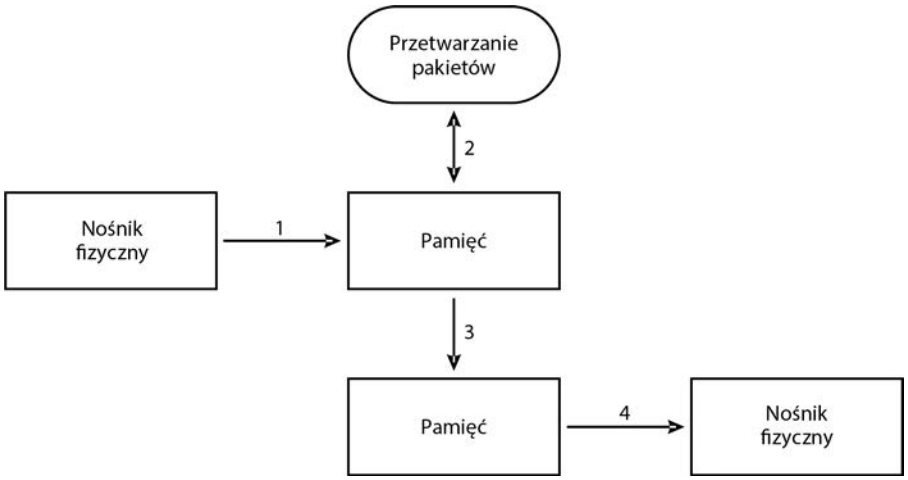
Przełączanie pakietów

Cele nauki

Po przeczytaniu tego rozdziału będziesz rozumieć:

- cztery kroki wymagane do przełączenia pakietu przez urządzenie sieciowe;
- w jaki sposób w procesie przekazywania pakietu są używane bufory cykliczne odbiorcze i nadawcze;
- podstawowy proces przełączania pakietu, w tym sposób tworzenia tabel przekazywania;
- czym routing różni się od przełączania i jakie są zalety routingu;
- pojęcie wielu ścieżek o równym koszcie;
- pojęcie agregacji łączy;
- pojęcia magistrali i krzyżowego pola komutacyjnego.

Urządzenia sieciowe są umieszczane w sieci w celu rozwiązania szeregu problemów, w tym problemu z łączeniem różnych rodzajów mediów i problemów ze skalowaniem sieci, poprzez przenoszenie pakietów tylko tam, gdzie muszą one się dostać. Routery i przełączniki są jednak złożonymi urządzeniami. Inżynierowie całą swoją karierę mogą oprzeć na specjalizacji w rozwiązywaniu tylko niewielkiego zestawu problemów napotkanych podczas przenoszenia pakietów za pośrednictwem urządzenia sieciowego. Rysunek 7.1 pokazuje przegląd zakresu tej problematyki.



Rysunek 7.1. *Przenoszenie pakietu przez urządzenie sieciowe*

Na rysunku 7.1 przedstawiono cztery wyraźne etapy:

1. Pakiet musi zostać skopiowany z medium fizycznego do pamięci w urządzeniu; czasami jest to nazywane odbieraniem pakietu z łącza.
2. Pakiet musi zostać przetworzony, co zwykle oznacza określenie właściwego interfejsu wyjściowego i niezbędną modyfikację pakietu. Na przykład w routerze nagłówek niższej warstwy jest usuwany i zastępowany nowym, w stanowym filtrze pakietów pakiet może zostać odrzucony na podstawie stanu wewnętrznego itp.
3. Pakiet musi zostać skopiowany z interfejsu wejściowego do interfejsu wyjściowego. Często wiąże się to z podróżą po wewnętrznych układach lub magistrali. Niektóre systemy pomijają ten krok, korzystając z pojedynczej puli pamięci dla interfejsów wejściowych i wyjściowej. Nazywane są one systemami pamięci współdzielonej (to charakterystyczne dla inżynierii sieciowej, że nazwy są albo zbyt sprytne, albo zbyt oczywiste).
4. Pakiet musi zostać skopiowany z powrotem na łącze wyjściowe; czasami jest to nazywane nadawaniem pakietu na łącze.

Uwaga

Mniejsze systemy, szczególnie te, które koncentrują się na szybkim, spójnym przełączaniu pakietów, często wykorzystują pamięć współdzieloną do przesyłania pakietów z jednego interfejsu do drugiego. Czas wymagany do skopiowania pakietu w pamięci jest często dłuższy, niż mogłoby to wynikać z prędkości interfejsów. Systemy pamięci współdzielonej unikają tego kopiowania pakietów wewnątrz pamięci.

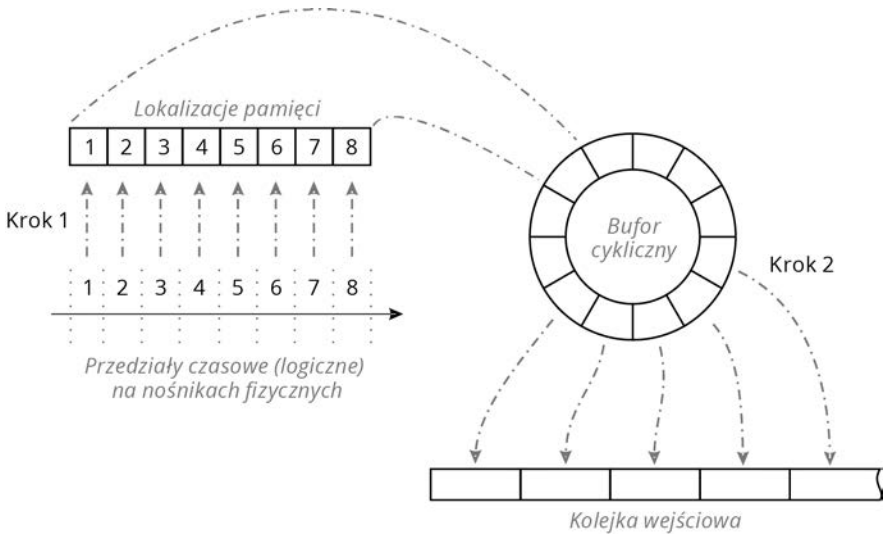
Problem omawiany w następnych podrozdziałach to:

W jaki sposób pakiety, które muszą być przekazane dalej przez urządzenie sieciowe, są przenoszone z przychodzącego do wychodzącego medium fizycznego, a także w jaki sposób te pakiety są przetwarzane po drodze?

Każdy z poniższych podrozdziałów omawia jedną część rozwiązania tego problemu.

Z medium fizycznego do pamięci

Pierwszym krokiem w przetwarzaniu pakietu przez urządzenie sieciowe jest skopiowanie tego pakietu z łącza do pamięci. Rysunek 7.2 pokazuje ten proces.



Rysunek 7.2. *Kopiowanie pakietu do pamięci*

Na rysunku 7.2 przedstawiono dwa kroki:

- **Krok 1.** Chipset medium fizycznego (*układ PHY*) kopiuje z medium do lokalizacji w pamięci każdy okres sygnalizacji, który reprezentuje pojedynczy znak danych. Ta lokalizacja w pamięci mieści się w cyklicznym buforze odbiorczym, który jest zbiorem komórek pamięci, zarezerwowanych wyłącznie na potrzeby odbierania pakietów z łącza (jest buforem pakietów). Bufor cykliczny wraz z całą pamięcią bufora pakietów jest zwykle umieszczony fizycznie w jednym rodzaju pamięci, który jest dostępny (współdzielony) dla wszystkich interfejsów wejściowych danego urządzenia.

Uwaga

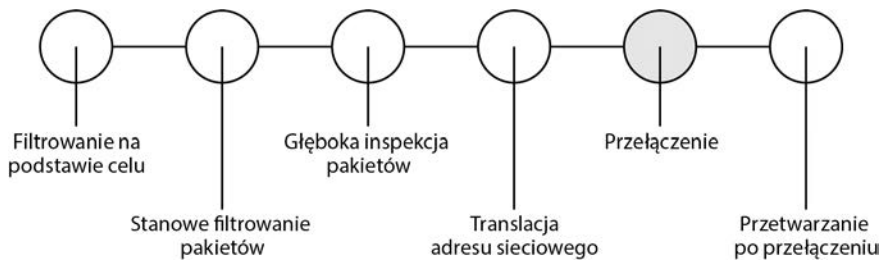
Bufor cykliczny bazuje na pojedynczym wskaźniku, który jest zwiększany za każdym razem, gdy nowy pakiet trafia do bufora. W przykładzie pokazanym na rysunku 7.2 wskaźnik zacząłby w przedziale 1 i zwiększałby się w kolejnych przedziałach, gdy pakiety są kopiowane do bufora. Jeśli wskaźnik dojdzie do gniazda 7 i pojawi się nowy pakiet, zostanie on skopiowany do przedziału 1 — niezależnie od tego, czy zawartość tego przedziału została już przetworzona, czy nie.

W przełączaniu pakietów najbardziej czasochłonnym i energochłonnym zadaniem jest kopiowanie pakietów z jednej lokalizacji do drugiej. Wskaźniki pozwalają tego uniknąć. Zamiast przenosić pakiet przez pamięć, w ścieżce przełączania przekazywany jest z procesu do procesu tylko wskaźnik do lokalizacji w pamięci.

- **Krok 2.** Po skopiowaniu pakietu do pamięci zostaje przerwana praca jakiegoś lokalnego procesora. Podczas tego przerwania lokalny procesor usuwa wskaźnik do bufora odbiorczego, który zawiera pakiet z bufora cyklicznego, i umieszcza wskaźnik do pustego bufora w buforze cyklicznym. Wskaźnik jest umieszczany na osobnej liście, nazywanej kolejką wejściową.

Przetwarzanie pakietu

Gdy pakiet znajduje się w kolejce wejściowej, można go przetworzyć. Przetwarzanie można postrzegać jako łańcuch zdarzeń, a nie jako pojedyncze wydarzenie. Pokazuje to rysunek 7.3.



Rysunek 7.3. *Proces przełączania pakietów*

Część przetwarzania musi odbywać się przed przełączeniem pakietu. Jest to na przykład translacja adresów sieciowych (NAT), ponieważ zmienia ona niektóre informacje o pakiecie, używane w samym procesie przełączania. Inne przetwarzanie może mieć miejsce po przełączeniu pakietu.

Przełączanie

Przełączanie pakietu jest dość prostą operacją:

1. Proces przełączania wyszukuje docelowy adres MAC lub docelowe urządzenie fizyczne w tabeli przesyłania (w przełącznikach jest to czasami nazywane tabelą nauki mostów lub po prostu tabelą mostów).
2. Na podstawie informacji w tej tabeli jest określany interfejs wychodzący.
3. Pakiet jest przenoszony z kolejki wejściowej do kolejki wyjściowej.

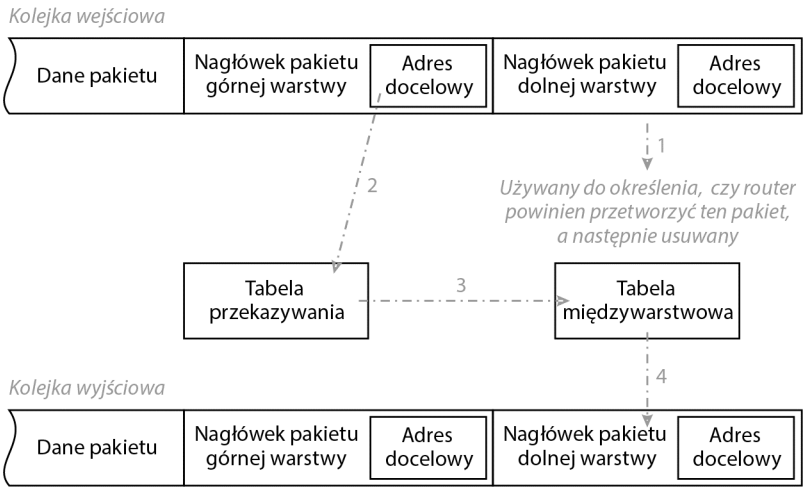
Pakiet nie jest w żaden sposób modyfikowany podczas procesu przełączania. Jest kopiowany z kolejki wejściowej do wyjściowej.

Uwaga

W jaki sposób jest budowana tabela przekazywania? Za pomocą płaszczyzny sterowania. Część II tej książki omawia szczegółowo płaszczyzny sterowania.

Routing

Routing jest procesem bardziej złożonym niż przełączanie. Pokazuje to rysunek 7.4.



Rysunek 7.4. *Routing pakietu*

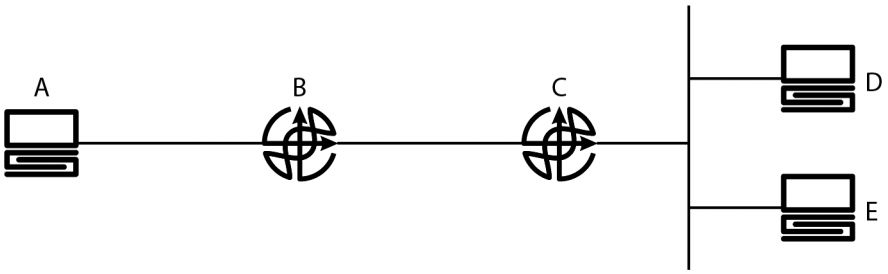
Na rysunku 7.4 pakiet zaczyna od kolejki wejściowej. Następnie procesor przełączający:

1. Usuwa (lub ignoruje) nagłówek niższej warstwy (na przykład ramkę Ethernet obejmującą pakiet). Ta informacja służy do określenia, czy router ma odbierać pakiet, ale nie jest używana podczas samego procesu przełączania.
2. Wyszukuje adres docelowy (i potencjalnie inne informacje) w tabeli przekazywania. Tablica przekazywania określa następny przeskok pakietu w kierunku miejsca docelowego. Następny przeskok może być albo następnym routerem na drodze do celu, albo samym celem.
3. Procesor przełączający analizuje następnie tabelę odnajdowania międzywarstwowego (taką jak te omawiane w rozdziale 6. „Odnajdowanie międzywarstwowe"), aby określić poprawny adres fizyczny, na który należy wysłać pakiet, żeby znalazł się o jeden przeskok bliżej miejsca docelowego.
4. Jest budowany i kopiowany na pakiet nowy nagłówek niższej warstwy, który używa tego nowego docelowego adresu niższej warstwy. Zwykle adres docelowy niższej warstwy jest buforowany lokalnie, wraz z całym nagłówkiem niższej warstwy. Cały nagłówek jest przepisywany w procesie nazywanym przepisywaniem nagłówka MAC.

Pakiet jest następnie w całości przenoszony z kolejki wejściowej do kolejki wyjściowej.

Po co routować?

Skoro routing jest procesem bardziej złożonym niż przełączanie, to po co go wykonywać? Można to zobaczyć na rysunku 7.5.



Rysunek 7.5. *Po co routować?*

Istnieją co najmniej trzy konkretne powody, aby w sieci raczej routować niż przełączać. Korzystając z sieci na rysunku 7.5 jako przykładu:

- Routing umożliwi A i D komunikowanie się bez obawy o różnice w typach łączy, jeśli łącze [B, C] jest innym rodzajem medium fizycznego niż dwa łącza do tych hostów — z odmiennymi kodowaniami, nagłówkami, adresowaniem itp. W sieci opartej tylko na przełączaniu można to obejść za pomocą translacji nagłówków, ale taka translacja nie wymaga wcale mniej pracy niż routing, tak więc nie ma sensu *rezygnować* z routingu przy rozwiązywaniu tego problemu. Innym rozwiązaniem mogłoby być uzgodnienie jednej adresacji i formatu pakietu dla wszystkich rodzajów mediów fizycznych, ale biorąc pod uwagę stały rozwój mediów i to, jak wiele ich jest, wydaje się ono mało prawdopodobne.
- Gdyby cała sieć była przełączana, B musiałby znać pełną informację o osiągalności dla D i E. W szczególności: D i E musiałyby znać adresy fizyczne lub adresy niższej warstwy dla każdego urządzenia podłączonego do segmentu za C. Może to nie być dużym problemem w mniejszej sieci, ale w większych sieciach, z setkami tysięcy węzłów, lub w globalnym Internecie to rozwiązanie byłoby nieskalowalne — byłoby po prostu zbyt wiele stanu do zarządzania. Możliwe jest łączenie informacji o osiągalności z adresowaniem niższych warstw, ale jest to trudniejsze niż użycie adresu wyższej warstwy, przypisanego na podstawie punktu przyłączenia urządzenia w topologii sieci, zamiast adresu, który jednoznacznie identyfikuje chipset interfejsu i który jest przydzielany na etapie produkcji tego chipsetu.
- Jeśli D wyśle rozgłoszenie do „wszystkich urządzeń w segmencie", to A odbierze tę transmisję, gdy B i C są przełącznikami, ale nie wtedy, gdy B i C są routerami. Nie można wyeliminować pakietów rozgłoszeniowych, ponieważ są one istotną częścią prawie każdego protokołu transportowego, ale w sieciach wyłącznie przełączanych rozgłoszenia stanowią bardzo trudny do rozwiązania problem skalowania. Routery blokują (czy raczej konsumują) rozgłoszenia.

Uwaga

W świecie sieci komercyjnych terminy *routing* i *przełączanie* są często używane zamiennie. Powodem tego jest przede wszystkim historia marketingu: *routing* pierwotnie zawsze oznaczał „przełączanie programowe", natomiast *przełączanie* zawsze oznaczało „przełączanie sprzętowe". Gdy stały się dostępne urządzenia przełączające pakiety, które były zdolne do sprzętowego przepisywania nagłówka MAC, nazwano je „przełącznikami warstwy 3", co ostatecznie zostało skrócone po prostu do *przełączników*. Większość „przełączników" w centrach danych to zwykle routery, ponieważ wykonują przepisywanie nagłówka MAC w przekazywanych pakietach. Jeśli ktoś nazywa jakieś urządzenie przełącznikiem, najlepiej wyjaśnić, czy jest to przełącznik warstwy 3 (czyli prawidłowo: router), czy przełącznik warstwy 2 (prawdziwy przełącznik).

Uwaga

Terminy *łącze* i *połączenie* są tu używane zamiennie. Łącze to fizyczne lub wirtualne połączenie przewodowe lub bezprzewodowe między dwoma urządzeniami.

Wiele ścieżek o równym koszcie

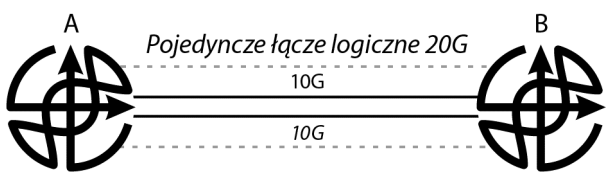
W niektórych projektach sieci inżynierowie wprowadzają równoległe połączenia między dwoma węzłami. Jeśli założymy, że te równoległe łącza są identyczne co do szerokości pasma, opóźnienia i tak dalej, to mają one taki sam koszt. W tym scenariuszu mówimy o wielu ścieżkach o równym koszcie (ang. *Equal Cost Multipath* — ECMP).

W takim przypadku w sieciach produkcyjnych spotykane są zwykle dwa warianty postępowania. Oba zachowują się podobnie, ale różnią się pod względem sposobu grupowania i zarządzania łączami przez system operacyjny.

Agregacja łączy

Mechanizmy agregacji łączy zbierają wiele łączy fizycznych i grupują je w jedno łącze wirtualne. Na potrzeby protokołów routingu i algorytmów zapobiegania pętli, takich jak drzewo rozpinające, łącze wirtualne jest traktowane tak, jakby było pojedynczym łączem fizycznym.

Agregacja łączy jest używana do zwiększenia przepustowości między węzłami sieci, bez konieczności zastępowania wolniejszych łączy fizycznych szybszymi. Na przykład dwa łącza o przepustowości 10 Gb/s mogą zostać połączone w jedno łącze 20 Gb/s, podwajając potencjalną przepustowość między dwoma węzłami, jak pokazano na rysunku 7.6. Słowo „potencjalną" zostało użyte celowo, ponieważ łącza zagregowane w praktyce nie skalują się liniowo.



Rysunek 7.6. *Agregacja łączy*

Problem, z którym mierzy się agregacja łączy, to określenie, które pakiety należy wysłać przez które z łączy członkowskich (w zagregowanym łączu). Na pierwszy rzut oka może to nie wyglądać problematycznie. Wystarczyłoby przecież używać zagregowanych łączy według algorytmu karuzelowego (ang. *round-robin*). Początkowa ramka zostałaby wysłana przez pierwsze łącze, kolejna przez drugie i tak dalej, aż w końcu znowu przez pierwsze. W ten sposób łącze powinno być idealnie równo obciążone, a przepustowość powinna się skalować linearnie.

Istnieje jednak bardzo niewiele rzeczywistych wdrożeń agregacji łączy, które używałyby algorytmu round-robin, a to z powodu ryzyka dostarczania pakietów w złej kolejności. Przyjmijmy, że ramka ethernetowa numer 1 jest wysyłana łączem pierwszym, a zaraz po niej ramka 2 łączem drugim. Z jakiegoś powodu ramka 2 dociera do celu przed ramką 1. Pakiety w tych ramkach zostaną dostarczone do hosta odbierającego w złej kolejności — drugi przed pierwszym. A to stanowi problem, ponieważ host jest w takiej sytuacji obciążany obowiązkiem przeorganizowania pakietów w taki sposób, aby poprawnie odtworzyć cały datagram.

Dlatego też większość dostawców wdraża funkcje skrótu dla przepływów, co ma zapewnić, że cały dany przepływ pakietów używa tego samego łącza fizycznego. Dzięki temu nie ma ryzyka odbioru pakietów w miejscu docelowym w złej kolejności — są one wysyłane sekwencyjnie przez to samo łącze.

Funkcje skrótu

Skrót (ang. *hash*) to prosty koncept, który jest jednak dość trudny do wdrożenia w użyteczny sposób. Funkcja skrótu przyjmuje dowolnej długości ciąg liczb i zwraca numer o stałej długości (skrót), który (mniej więcej) unikatowo odzwierciedla oryginalny ciąg. Jest w tym część prosta do wdrożenia: przykładem dość banalnej funkcji skrótu byłoby zwykłe dodawanie liczb w zbiorze tak długo, aż uzyska się wynik jednocyfrowy, który nazwie się skrótem. Na przykład:

```
23523
2 + 3 + 5 + 2 + 3 == 15
1 + 5 == 6
```

Tak więc liczba 23523 może zostać *przedstawiona* jako 6. Ciekawą właściwością skrótu jest to, że nie istnieje sposób ustalenia na podstawie skrótu, co było oryginalną liczbą. To jedno z kluczowych spostrzeżeń dotyczących wielu użyć funkcji skrótu. Jeśli podam komuś jakąś liczbę, a ta osoba poda ją Tobie, to możesz mnie spytać o skrót tej liczby (bez mówienia mi, jaka to liczba), a następnie zweryfikować, czy to ta sama liczba, obliczając skrót i porównując go z uzyskanym ode mnie.

Opisany tu skrót jest banalny, ponieważ w zbyt łatwy sposób można w nim uzyskać *kolizję*. Innymi słowy: jest wiele różnych liczb, które w tych samych obliczeniach uzyskają skrót równy 6, na przykład 222, 33, 111111 i (prawdopodobnie) nieskończenie wiele innych. W niektórych sytuacjach kolizje są skrajnie niepożądane. Na przykład, jeśli chcesz przechowywać pary liczb, w których będziesz znajdować drugą z liczb przez wyszukanie pierwszej (kwestia indeksowania), chcesz zminimalizować ryzyko kolizji. Nie chcesz, aby skrót obliczony dla numeru, którego używasz jako indeksu, odsyłał Cię do zbioru skrótów z wieloma wpisami, ponieważ w takiej sytuacji trzeba jeszcze przeszukać każdy skrót w tym zbiorze, aby odnaleźć indeks. W ekstremalnej sytuacji każdy numer może być indeksowany jako zbiór skrótów, co uczyni funkcję skrótu całkiem nieefektywną przy wyszukiwaniu.

W innych przypadkach, takich jak opisywane tutaj równoważenie obciążenia, istotne jest, aby skrót możliwie równomiernie rozkładał wpisy pomiędzy zbiorami. Chcesz upewnić się, że każdy zbiór zawiera mniej więcej tyle samo wpisów, ponieważ każdy zbiór oznacza pojedyncze łącze, a łącza powinny obsługiwać ruch do mniej więcej równej liczby celów.

Funkcje skrótu dla przepływów bazują na działaniach matematycznych na przynajmniej dwóch statycznych komponentach przepływów, takich jak adresy MAC źródła i celu, adresy IP źródła i celu czy też numery portów TCP lub UDP. Z tych komponentów wyliczane jest łącze fizyczne, którego użyje przepływ. Ponieważ charakterystyki przepływu są statyczne, algorytm skrótu daje identyczne wyniki obliczeń dla każdej ramki lub pakietu w przepływie ruchu, gwarantując, że to samo łącze będzie używane przez cały czas przepływu.

Obliczanie skrótu dla przepływu rozwiązuje problem złej kolejności pakietów, wprowadza jednak nowy problem. Nie wszystkie przepływy są tej samej wielkości. Niektóre przepływy wykorzystują dużą szerokość pasma, na przykład do transferu plików, tworzenia kopii zapasowych lub przechowywania. Są one czasami nazywane **przepływami słoniowatymi** (ang. *elephant flows*). Inne przepływy są dość małe, takie jak te używane do ładowania strony internetowej lub komunikacji głosowej przez IP; te nazywa się czasami **przepływami myszowatymi** (ang. *mouse flows*). Ponieważ przepływy mają różne rozmiary, niektóre łącza członkowskie mogą być mocno obciążone, podczas gdy inne są niedostatecznie wykorzystywane.

To niedopasowanie wykorzystania przenosi nas z powrotem do punktu dotyczącego skalowania liniowego. Jeśli ramki byłyby równomiernie rozłożone na zagregowanym łączu, to dodanie nowych łączy członkowskich równomiernie zwiększałoby przepustowość. Ale połączenie algorytmów skrótu z nieprzewidywalną ilością przepływów ruchu oznacza, że łącza fizyczne nie będą równomiernie obciążane.

Zadaniem inżyniera sieci jest zrozumienie rodzaju ruchu przepływającego przez zagregowane łącze i dobranie takiego algorytmu skrótu, który zapewni najbardziej równomierny rozkład obciążenia. Można przy tym rozważyć przykładowo:

- Czy wiele hostów w tej samej domenie rozgłoszeniowej komunikuje się ze sobą poprzez zagregowane łącze? Możliwym rozwiązaniem jest obliczanie skrótu na podstawie adresów MAC z nagłówka ramki Ethernet, ponieważ te adresy MAC będą się różnić.
- Czy poprzez zagregowane łącze niewielka liczba hostów komunikuje się z pojedynczym serwerem? W tym scenariuszu może nie być wystarczającej różnorodności adresów MAC lub adresów IP. Obliczanie skrótów na podstawie numerów portów TCP lub UDP może dać największą różnorodność, a więc i najlepszą dystrybucję ruchu na łączach członkowskich.

Protokół kontroli agregacji łączy (ang. Link Aggregation Control Protocol, LACP)

Podczas grupowania łączy należy wziąć pod uwagę urządzenia sieciowe na każdym końcu łącza i zachować szczególną ostrożność, aby utworzyć zagregowane łącze przy jednoczesnym zachowaniu topologii bez pętli. Najczęstszym sposobem rozwiązania tego problemu jest zastosowanie standardowego protokołu kontroli agregacji łączy (ang. *Link Aggregation Control Protocol* — LACP), opisanego jako standard 802.3ad Instytutu Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE).

Na wyznaczonych przez inżyniera sieci łączach LACP ogłasza drugiej stronie zamiar utworzenia zagregowanego łącza. Druga strona również uruchamia LACP, a jeśli podane parametry są poprawne, to akceptuje ogłoszenie oraz tworzy łącze. Po utworzeniu pakietu łączy zagregowane łącze zostaje przestawione w stan przekazywania. Operatorzy sieci mogą następnie wysyłać zapytania do LACP o status łącza zagregowanego i o stan elementów fizycznych.

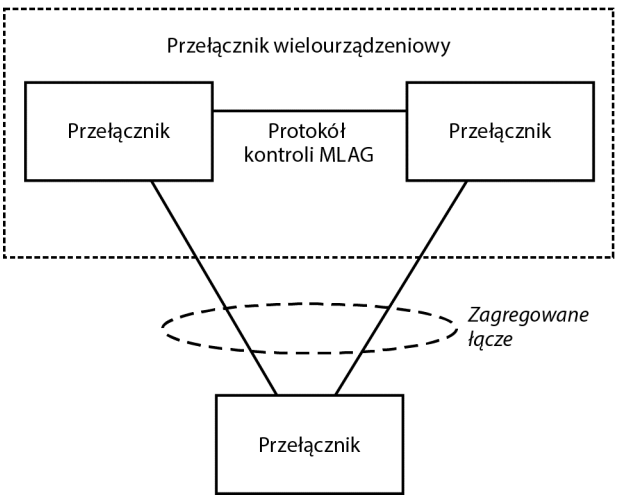
LACP dowiaduje się również, że jedno z łączy w pakiecie przestaje działać, ponieważ nie przepływają przez nie pakiety kontrolne. Ta możliwość jest przydatna, ponieważ umożliwia procesowi LACP powiadomienie sieciowego systemu operacyjnego o konieczności ponownego obliczenia funkcji skrótu dla przepływów. Bez LACP sieciowemu systemowi operacyjnemu mogłoby zająć więcej czasu odnotowanie uszkodzonego łącza, co powodowałoby kierowanie ruchu do takiego elementu łącza, który nie jest już prawidłową ścieżką.

Istnieją też inne protokoły kontroli agregacji łączy. W niektórych przypadkach możliwe jest ręczne tworzenie pakietów łączy, bez ochrony protokołu kontrolnego. Jednak LACP dominuje jako standard używany do agregacji łączy przez dostawców sieci, a także przez systemy operacyjne hostów i przez dostawców hyperwizorów.

Agregacja łączy z wielu urządzeń

Niektórzy dostawcy sieci oferują też funkcję agregacji łączy z wielu urządzeń (ang. *Multi-chassis Link Aggregation* — MLAG). Pozwala ona na utworzenie pojedynczego, zagregowanego pakietu łączy na dwóch lub więcej przełącznikach sieciowych. Umożliwia to specjalny protokół kontrolny właściwy dla danego dostawcy, który działa pomiędzy przełącznikami należącymi do MLAG. Sprawia on, że wiele przełączników sieciowych może być widocznych dla LACP, protokołu STP i wszelkich innych protokołów tak, jakby były jednym przełącznikiem.

Zwykle stosowanie MLAG uzasadnia się redundancją fizyczną: inżynier sieciowy może wymagać, aby na niższych warstwach (np. Ethernet) urządzenia sąsiadowały ze sobą, a nie były połączone za pomocą routingu. Może też wymagać, aby pakiet łączy pozostawał aktywny, nawet jeśli zdalna strona połączenia ma awarię. Rozłożenie pakietu łączy na przynajmniej dwa przełączniki pozwala spełnić to wymaganie. Pokazuje to rysunek 7.7.

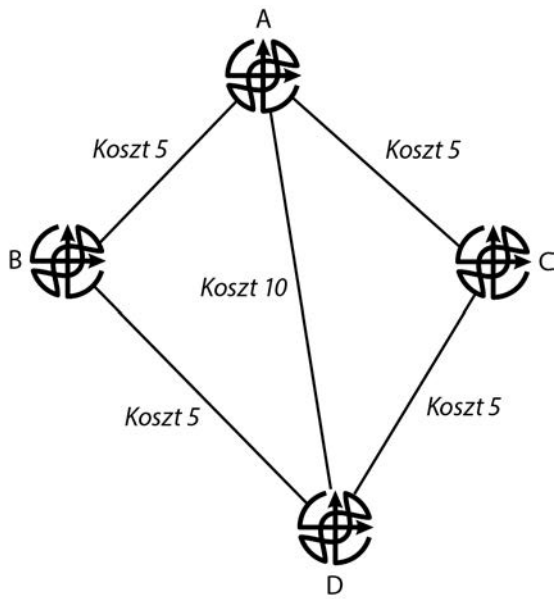


Rysunek 7.7. *Agregacja łączy z wielu urządzeń*

Wiele sieci produkcyjnych ma jakiś rodzaj MLAG, ale wiele innych odstąpiło od tej technologii, częściowo dlatego, że MLAG jest własnościowy — nie ma czegoś takiego jak międzyplatformowy MLAG. Lepsze projekty sieci odchodzą od szeroko rozproszonych domen przełączanych, w którym to scenariuszu MLAG jest korzystny. Zamiast tego projektowanie sieci zmierza w kierunku ograniczonych domen przełączanych, połączonych ze sobą poprzez routing, co eliminuje potrzebę stosowania technologii MLAG.

Routowane łącza równoległe

Routowane płaszczyzny sterowania, zwane protokołami routingu (w części II tej książki możesz uzyskać więcej informacji na temat routingu i obliczania ścieżek wolnych od pętli), czasami obliczają zbiór wielu ścieżek sieciowych o równym koszcie. W przypadku routingu łącza o tym samym koszcie mogą nawet łączyć więcej niż pojedynczą parę urządzeń. Pokazuje to rysunek 7.8.



Rysunek 7.8. *Routowane ECMP*

Na rysunku 7.8 są 3 ścieżki:

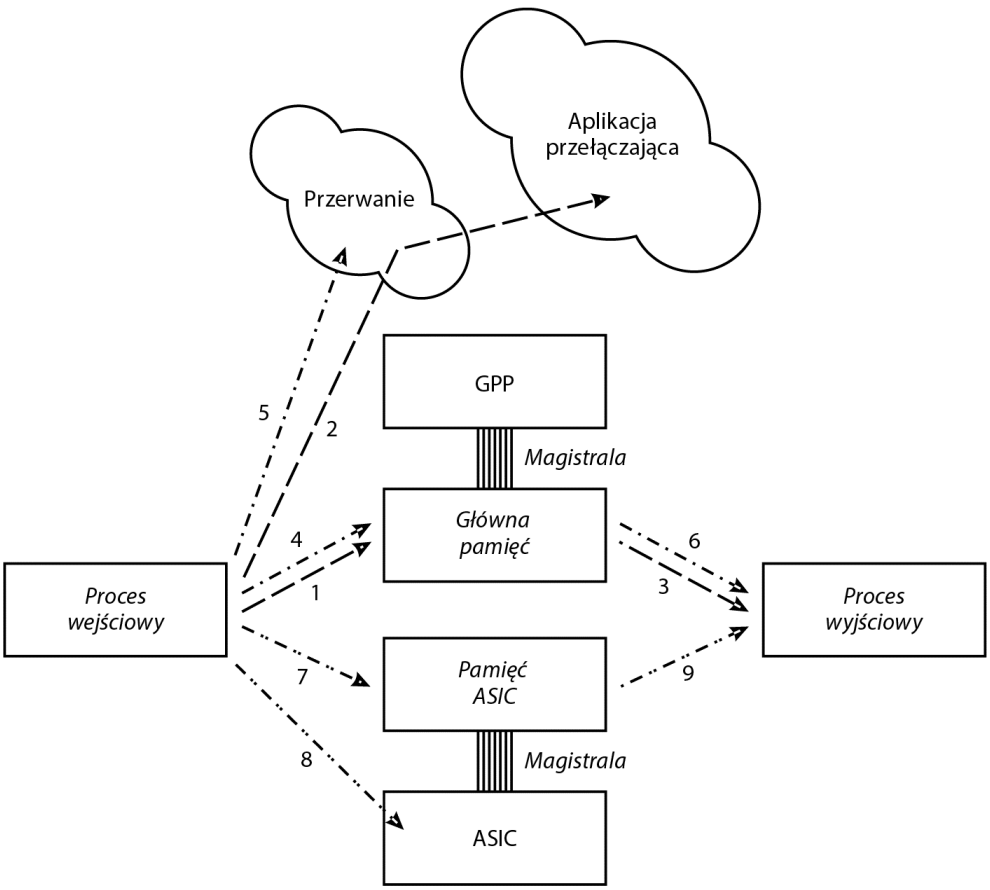
- [A, B, D] o łącznym koszcie 10,
- [A, D] o łącznym koszcie 10,
- [A, C, D] o łącznym koszcie 10.

Ponieważ te trzy ścieżki mają taki sam koszt, wszystkie trzy mogą być zainstalowane w lokalnej tabeli przekazywania w A i D. Na przykład router A może przekazywać ruch w kierunku D przez dowolne z tych trzech łączy. W jaki sposób router decyduje, którą fizyczną ścieżkę wybrać, gdy ma wiele opcji dotarcia do tego samego miejsca docelowego?

Tak samo jak jest w przypadku ECMP na niższych warstwach, odpowiedzią są funkcje skrótu. Obliczanie skrótu dla routowanego ECMP można wykonać w oparciu o wiele elementów. Typowymi są adres IP źródłowy lub docelowy oraz numer źródłowego i docelowego portu. Obliczenie skrótu skutkuje wyborem jednej, stałej ścieżki dla całego przepływu na warstwie trzeciej (L3). Ponowne przeliczenie skrótu i wybranie innej ścieżki jest konieczne tylko w przypadku awarii łącza.

Mechanizm przetwarzania pakietów

Kroki składające się na routowanie pojedynczego pakietu mogą wydawać się bardzo proste: wyszukaj cel w tabeli, stwórz (lub uzyskaj) nowy nagłówek MAC, nadpisz stary nagłówek MAC nowym, umieść pakiet w odpowiedniej kolejce do interfejsu wyjściowego. Może to być proste, ale przetworzenie pojedynczego pakietu zajmuje jednak trochę czasu. Rysunek 7.9 pokazuje trzy różne *ścieżki*, przez które można przełączyć pakiet w urządzeniu sieciowym.



Rysunek 7.9. *Ścieżki przełączania*

Rysunek 7.9 pokazuje trzy różne ścieżki przełączania przez urządzenie. Możliwe są też *inne ścieżki*, ale te trzy są najpopularniejsze. Na pierwszej ścieżce pakiet jest przetwarzany przez oprogramowanie działające na ogólnym procesorze (GPP). Dzieje się to w trzech krokach:

1. Pakiet jest kopiowany z łącza fizycznego do głównej pamięci, jak to opisano w poprzednich podrozdziałach.
2. Procesor sygnałów fizycznych, chipset PHY, wysyła do GPP (jest to prawdopodobnie główny procesor urządzenia sieciowego, choć nie musi tak być) sygnał, nazywany przerwaniem.
   a. Przerwanie zmusza procesor do zatrzymania innych zadań (stąd jego nazwa) i do uruchomienia małego kawałka kodu, który zaplanuje późniejsze uruchomienie innego procesu: oprogramowania przełączającego.
   b. Kiedy oprogramowanie przełączające zadziała, wykona właściwe wyszukiwania i dokona właściwych zmian w pakiecie.
3. Po przełączeniu pakiet jest kopiowany z głównej pamięci do procesu wyjściowego, jak to opisano w kolejnych podrozdziałach.

   Przełączanie pakietu w ten sposób jest często nazywane przełączaniem procesowym (z oczywistych względów), a czasami — powolną ścieżką. Niezależnie od szybkości GPP uzyskanie pełnej, liniowej szybkości przełączania na szybkich interfejsach wymaga wielu optymalizacji — tak wielu, że jest prawie nieosiągalne. Druga ze ścieżek pokazanych na rysunku 7.9 została zaprojektowana, aby przyspieszyć przetwarzanie pakietów:

4. Pakiet jest kopiowany z łącza fizycznego do głównej pamięci, jak to opisano w poprzednich podrozdziałach.
5. Chipset PHY wysyła przerwanie do GPP. Zamiast wywoływać inny proces, kod odpowiedzialny za przerwanie samodzielnie przetwarza pakiet.
6. Po przełączeniu pakiet jest kopiowany z pamięci głównej do procesu wyjściowego, zgodnie z opisem poniżej.

   Ten proces, z równie oczywistych powodów, jest często nazywany przełączaniem w kontekście przerwania. Wiele procesorów jest w stanie przetwarzać pakiety wystarczająco szybko, aby przenosić je w tym trybie pomiędzy interfejsami o niskiej i umiarkowanej prędkości. Sam kod przełączania musi być oczywiście wysoce zoptymalizowany, ponieważ przełączenie pakietu powoduje, że procesor przestaje wykonywać inne zadania (takie jak przetwarzanie aktualizacji protokołu routingu). Ta ścieżka była oryginalnie (a czasami nadal jest) nazywana szybką ścieżką.

   W przypadku naprawdę szybkich aplikacji proces przełączania pakietów musi zostać przekazany z głównego procesora lub dowolnego innego GPP do wyspecjalizowanego procesora, zaprojektowanego właśnie do tego konkretnie zadania: przetwarzania pakietów. Czasami te procesory nazywane są procesorami sieciowymi (ang. *Network Processing Unit*, NPU), podobnie jak procesory zaprojektowane do obsługi tylko grafiki nazywa się procesorami graficznymi (ang. *Graphics Processing Unit*, GPU). Te wyspecjalizowane procesory są podzbiorem szerszej klasy procesorów, zwanych specjalizowanymi układami scalonymi (ang. *Application-Specific Integrated Circuits*, ASIC), i często są nazywane przez inżynierów po prostu układami ASIC. Przełączanie pakietu przez ASIC pokazano na rysunku 7.9 jako kroki od 7 do 9:

7. Pakiet jest kopiowany z łącza fizycznego do pamięci układu ASIC, jak to opisano w poprzednich podrozdziałach.
8. Chip PHY przerywa układowi ASIC. Ten obsługuje przerwanie, przełączając pakiet.
9. Po przełączeniu pakiet jest kopiowany z pamięci układu ASIC do procesu wyjściowego, zgodnie z dalszym opisem.

Wiele ASIC wyspecjalizowanych do przetwarzania pakietów ma różne interesujące funkcje, w tym:

- wewnętrzne struktury pamięci (rejestry), skonfigurowane specjalnie do obsługi różnego rodzaju adresów używanych w sieciach;
- zestawy specjalistycznych instrukcji, zaprojektowanych do obsługi różnych wymagań dotyczących przetwarzania pakietów, takich jak sprawdzanie wewnętrznych nagłówków w pakiecie i przepisywanie nagłówka MAC;
- specjalistyczne struktury pamięci i zestawy instrukcji, przeznaczone do przechowywania i wyszukiwania adresów docelowych w celu przyspieszenia przetwarzania pakietów;
- możliwość recyklingu pakietu przez potok w celu wykonania operacji, które nie mogą być obsługiwane w jednym przebiegu, takich jak głębokie inspekcje pakietów lub specjalistyczne zadania filtrowania.

Przez magistralę

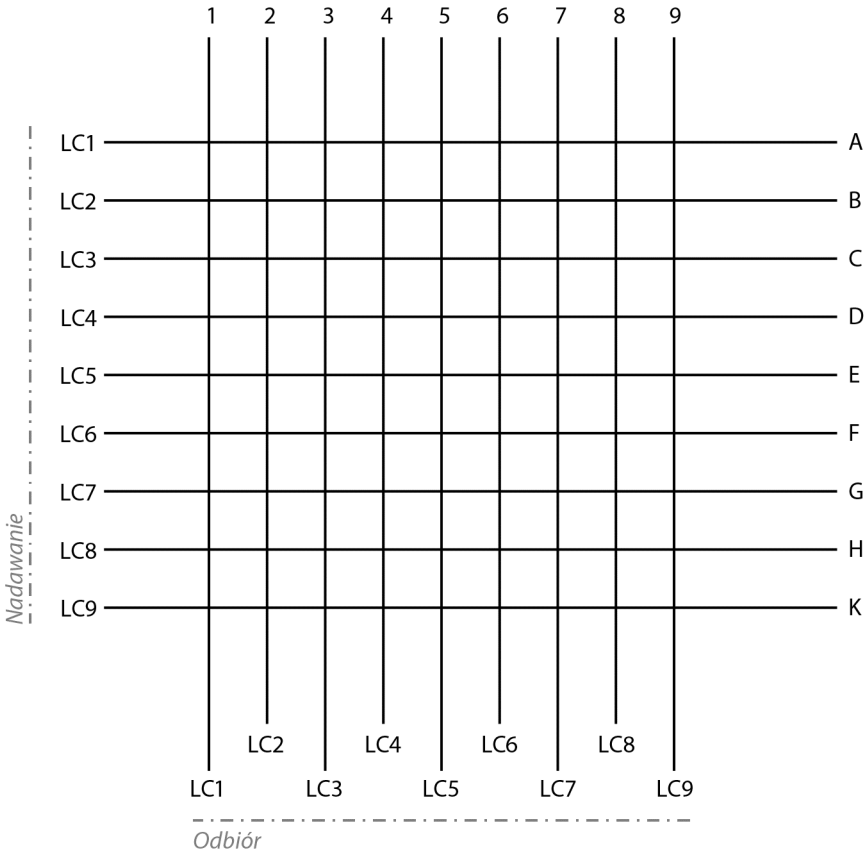
W mniejszych urządzeniach sieciowych, które mają tylko jeden proces sieciowy (opisany wcześniej ASIC lub NPU), przeniesienie pakietu z kolejki wejściowej do kolejki wyjściowej jest proste. Interfejsy wejściowe i wyjściowe dzielą wspólną pulę pamięci pakietów, więc wskaźnik do pakietu może być przeniesiony z jednej kolejki do drugiej.

Aby można było uzyskać większą liczbę portów i zbudować urządzenia o większej skali — w szczególności zestawy wielu urządzeń — musi istnieć wewnętrzna magistrala lub układ, który łączy wejściowe i wyjściowe mechanizmy przetwarzania pakietów. Jednym z popularnych układów, wykorzystywanych do łączenia mechanizmów przetwarzania pakietów w urządzeniu sieciowym, jest krzyżowe pole komutacyjne. Pokazuje je rysunek 7.10.

Rozmiar i struktura krzyżowego pola komutacyjnego są zależne od liczby połączonych portów. Jeśli w przełączniku jest więcej portów, niż może połączyć pojedyncze pole komutacyjne, przełącznik użyje wielu takich pól. Typową topologią dla tego rodzaju układu jest wieloetapowy system Clos, łączący pole komutacyjne wejścia i wyjścia. Możesz pomyśleć o tym jak o polu komutacyjnym dla pól komutacyjnych.

Uwaga

Układy rdzenia i liści, które są rodzajem Clos, są omówione w rozdziale 25. „Dezagregacja, hiperkonwergencja i zmieniająca się sieć”.



Rysunek 7.10. *Krzyżowe pole komutacyjne*

Krzyżowe pole komutacyjne wymaga do działania znajomości czasu (lub raczej ustalonego przedziału czasu) i harmonogramu pracy. W każdym przedziale czasu jeden port wyjściowy (nadający) jest połączony z jednym portem wejściowym (odbierającym), dzięki czemu w tym okresie nadajnik może przesłać pakiet, ramkę lub zestaw pakietów do odbiornika. Harmonogram „łączy" właściwe punkty w krzyżowym polu komutacyjnym, tak aby transmisja nastąpiła we właściwym przedziale czasowym.

Na przykład:

- karta liniowa 1 (LC1) chce wysłać pakiet do LC3;
- LC3 chce wysłać pakiet do LC5.

W następnym cyklu czasowym harmonogram może połączyć wiersz A z kolumną 1 („wykonać" połączenie na A3) i połączyć wiersz C z kolumną 5 („wykonać" połączenie na C5), aby między tymi parami kart liniowych został ustawiony kanał komunikacyjny.

Krzyżowe pola komutacyjne i rywalizacja

Co się stanie, jeśli dwa nadajniki chcą wysłać pakiet do jednego odbiornika? Na przykład, jeśli podczas jednego okresu zarówno LC1, jak i LC2 będą chciały wysłać pakiet do LC9 przez krzyżowe pole komutacyjne? Mówi się w takim wypadku o rywalizacji i jest to sytuacja, którą musi się zająć program harmonogramu łącza. Który z dwóch portów wejściowych powinien mieć możliwość wysyłania swojego ruchu do portu wyjściowego? I gdzie ma w tym czasie czekać kolejka ruchu przychodzącego?

Jedną opcją jest przechowywanie pakietów w kolejce wejściowej. Przełączniki korzystające z tej techniki nazywane są przełącznikami kolejkowania wejściowego. Tego rodzaju przełączniki są narażone na blokowanie początku linii (ang. *head-of-line* — HOL). Blokowanie początku linii następuje, gdy pakiet na początku kolejki, czekający na przekazanie dalej przez układ, blokuje inne pakiety w kolejce za nim.

Inną możliwością jest, aby przełącznik wykorzystywał wiele wirtualnych kolejek wyjściowych (ang. *virtual output queues* — VOQ) na każdy port wejściowy.

VOQ dają krzyżowemu polu komutacyjnemu wiele miejsc do przechowywania pakietów wejściowych podczas ich oczekiwania na dostarczenie do portów wyjściowych. W licznych przełącznikach zaprojektowana jest jedna VOQ na każdy port wyjściowy, dla którego przeznaczony jest ruch wejściowy. Dlatego też port wejściowy może mieć kilka pakietów ustawionych w kilku różnych VOQ, o ile tylko czekają one w kolejkach do kilku różnych portów wyjściowych.

Każda z tych VOQ może być obsługiwana podczas jednego cyklu zegara. Oznacza to wyeliminowanie blokowania początku linii, ponieważ kilka różnych pakietów z tej samej kolejki wejściowej może być przekazanych przez krzyżowe pole komutacyjne w tym samym czasie. Zamiast pojedynczej kolejki dla portu wejściowego istnieje kilka różnych kolejek. Pomyśl o tym jak o otwarciu dodatkowych kas w sklepie spożywczym.

Nawet przy VOQ pozostaje potencjał do rywalizacji w krzyżowym polu komutacyjnym. Najczęstszym przykładem jest sytuacja, gdy dwa lub więcej pakietów wejściowych musi opuścić przełącznik tym samym portem wyjściowym w tym samym czasie, a dokładniej: w tym samym cyklu zegara. Port wyjściowy może wysłać tylko jeden pakiet na cykl zegara.

Ustaleniem, która kolejka wejściowa będzie mieć pierwszeństwo w dostarczaniu ruchu do portu wyjściowego, zajmuje się algorytm ustawiany przez producenta przełącznika tak, aby zapewnić maksymalne wykorzystanie sprzętu. Jednym z algorytmów planowania używanych przez przełączniki do rozwiązania tego problemu jest iSLIP.

Przegląd algorytmu iSLIP

Algorytm iSLIP rozstrzyga rywalizację w krzyżowym polu komutacyjnym, planując ruch tak, aby urządzenie sieciowe osiągnęło niezablokowaną przepływność. Na potrzeby tego omówienia pomocne będzie przeanalizowanie iSLIP w najprostszej postaci, poprzez prześledzenie, co dzieje się, gdy algorytm iSLIP jest wykonywany jednorazowo.

Podczas wykonywania iSLIP mają miejsce trzy kluczowe zdarzenia:

1. **Żądanie**. Wszystkie punkty wejściowe (wchodzące) do krzyżowego pola komutacyjnego z zakolejkowanym ruchem pytają swoje odpowiednie punkty wyjściowe (wychodzące), czy mogą wysyłać.

2. **Zgoda**. Każdy punkt wyjściowy, który otrzymał takie żądanie, musi określić, który punkt wejściowy będzie mógł wysyłać. W przypadku pojedynczego żądania zgoda jest udzielana bez dalszego rozważania. Jeśli jednak istnieje wiele żądań, punkt wyjściowy musi określić, który punkt wejściowy może wysyłać. Odbywa się to za pośrednictwem algorytmu karuzelowego, który przyznaje jedną zgodę pierwszemu żądaniu, podczas kolejnego wykonania iSLIP przyznaje zgodę kolejnemu żądaniu i tak dalej, w sposób cykliczny. Po podjęciu decyzji dotyczącej tego konkretnego wykonania iSLIP każdy punkt wyjściowy wysyła do odpowiedniego punktu wejściowego komunikat zgody, tym samym sygnalizując pozwolenie na wysyłanie.
3. **Akceptacja**. Punkt wejściowy rozpatruje komunikaty zgody, które otrzymał od punktów wyjściowych, wybierając zgodę za pomocą algorytmu karuzelowego. Po dokonaniu wyboru punkt wejściowy informuje punkt wyjściowy, że zgoda została zaakceptowana. Wtedy i tylko wtedy, gdy punkt wyjściowy zostanie poinformowany o zaakceptowaniu zgody, przejdzie on do następnego żądania. Jeśli nie ma odebranego komunikatu akceptacji, punkt wyjściowy spróbuje obsłużyć poprzednie żądanie podczas kolejnego wykonania iSLIP.

Zrozumienie procesu żądania, zgody i akceptacji daje nam wgląd w to, w jaki sposób pakiety mogą być dostarczane jednocześnie za pośrednictwem krzyżowego pola komutacyjnego bez kolizji. Jeśli jednak zastanowisz się nad złożonym zestawem wejść, VOQ i wyjść, możesz zdać sobie sprawę, że pojedynczy przebieg iSLIP nigdy nie planuje do wysyłki maksymalnej możliwej liczby pakietów.

Z pewnością niektóre wejścia uzyskały dostęp do wyjść i niektóre pakiety można przekazać dalej, ale możliwe jest także, że niektóre wyjścia nigdy nie zostały dopasowane do oczekujących danych wejściowych. Innymi słowy, jeśli ograniczysz iSLIP do pojedynczego wykonania na cykl zegara, zostanie pewna nieużywana przepustowość wyjściowa.

Dlatego normalną praktyką jest uruchamianie iSLIP w wielu iteracjach. Rezultatem jest zmaksymalizowana liczba dopasowanych wejść i wyjść. Można przesłać przez krzyżowe pole komutacyjne więcej pakietów naraz. Ilu przebiegów iSLIP potrzeba, aby zmaksymalizować liczbę pakietów, które mogą być przełączane przez krzyżowe pole komutacyjne w cyklu zegara? Badania sugerują, że w odniesieniu do wzorców ruchu panujących w większości sieci czterokrotny przebieg iSLIP najlepiej dopasowuje wejścia i wyjścia w całym krzyżowym polu komutacyjnym. Wykonanie iSLIP więcej niż cztery razy nie daje istotnie większej liczby dopasowań. Innymi słowy, w większości środowisk sieciowych nie ma nic do zyskania dzięki uruchomieniu iSLIP pięć, sześć lub dziesięć razy.

Wychodząc poza iSLIP

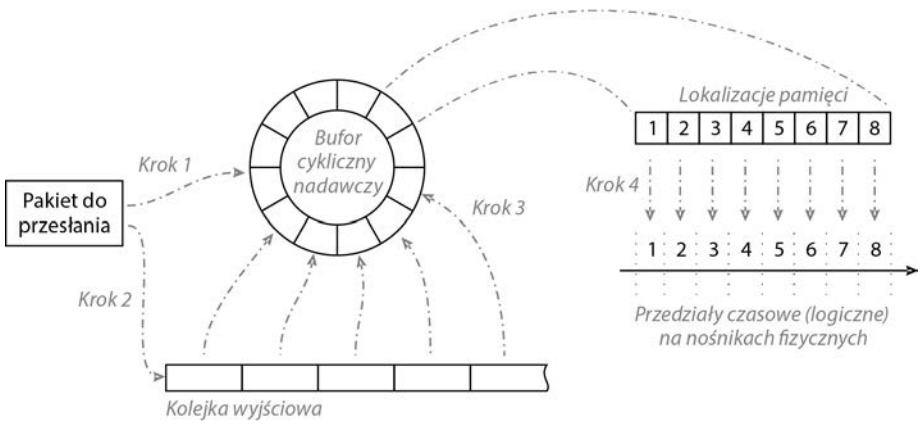
Przyjęliśmy dotychczas założenie, że cały ruch przepływający przez krzyżowe pole komutacyjne jest równie ważny. Jednak w nowoczesnych centrach danych niektóre klasy ruchu mają priorytet nad innymi. Na przykład ramki Fibre Channel przez Ethernet (ang. *Fibre Channel over Ethernet* — FCoE) muszą przechodzić przez łącze bezstratnie, podczas gdy sesja TCP należąca do klasy QoS ruchu śmieciowego nie musi.

Czy iSLIP obsługuje ruch o różnych priorytetach, przyznając niektórym żądaniom pierwszeństwo przed innymi? Tak, ale w zmodyfikowanej formie algorytmu, który widzieliśmy. Istnieją warianty iSLIP: priorytetyzujący, progowy i ważony.

Wychodząc poza iSLIP, używany tutaj jedynie jako wygodny przykład zarządzania rywalizacją, producenci będą pisać własne algorytmy, aby dopasować je do możliwości sprzętowych swoich krzyżowych pól komutacyjnych. W tym podrozdziale omówiono tylko krzyżowe pole komutacyjne z kolejkami wejściowymi, ale wiele łączy oferuje również kolejkowanie wyjściowe po stronie wychodzącej łącza.

Z pamięci do medium fizycznego

Kiedy już pakiet jest przeniesiony poprzez magistralę do wychodzącej karty liniowej lub wskaźnik do pakietu jest przeniesiony z kolejki wejściowej do kolejki wyjściowej, urządzenie sieciowe nadal ma coś do zrobienia. Pokazuje to rysunek 7.11.



Rysunek 7.11. *Kopiowanie pakietu z powrotem na łącze*

Zwróć uwagę, że bufor cykliczny pokazany na rysunku 7.11 to bufor nadawczy, a nie odbiorczy. Na rysunku 7.11 są cztery kroki:

Krok 1. Pakiet jest przekazywany do strony nadawczej routera w celu przekazania dalej. W zależności od platformy i specyficznych funkcji tutaj może zostać wykonane jakieś przetwarzanie po przełączeniu. Nie jest ono pokazane na tym rysunku. Najpierw zostanie podjęta próba umieszczenia pakietu bezpośrednio w buforze nadawczym, skąd może zostać przesłany. Jeśli bufor zawiera już pakiet lub jest pełny (w zależności od implementacji), pakiet nie zostanie umieszczony w buforze nadawczym. Jeśli pakiet jest umieszczony w buforze nadawczym, krok 2 jest pomijany (co oznacza, że pakiet nie będzie przetwarzany przy użyciu wychodzących zasad *Quality of Service* [QoS]). W przeciwnym razie pakiet zostanie umieszczony w kolejce wyjściowej, gdzie będzie czekał na przeniesienie do bufora nadawczego.

Krok 2. Jeśli pakiet nie może zostać umieszczony w buforze nadawczym, zostanie umieszczony w kolejce wyjściowej i przetrzymany tam przez jakiś czas.

Krok 3. Okresowo kod transmisji przenosi pakiety z kolejki wyjściowej do bufora nadawczego. Kolejność pobierania pakietów z kolejki wyjściowej zależy od konfiguracji QoS. W rozdziale 8. „Jakość usług" znajdziesz więcej informacji na temat zastosowania QoS do kolejek w różnych sytuacjach.

Krok 4. W pewnym momencie po przeniesieniu pakietu do bufora nadawczego układ transmitujący PHY, który odczytuje każdy bit z bufora pakietów, koduje go we właściwym formacie dla typu wychodzącego medium fizycznego i kopiuje pakiet na łącze.

Końcowe rozważania dotyczące przełączania pakietów

Szczegóły przełączania pakietów mogą wydawać się zbyt drobiazgowe. Bo czy ostatecznie ma znaczenie, w jaki sposób pakiet lub ramka przemieszczają się między dwoma urządzeniami? Czy naprawdę tak ważne jest zrozumienie serializacji i deserializacji, wielu ścieżek o równym koszcie, rywalizacji w krzyżowym polu komutacyjnym, pierścieni nadawczych i tym podobnych?

W pewnym sensie szczegóły te nie mają znaczenia dla przeciętnego inżyniera sieci. Kiedy urządzenie sieciowe wykonuje swoje zadanie przekazywania danych, rzeczywiste procesy przełączania, które się na to zadanie składają, są błahostkami. „To po prostu działa".

Jednak wewnętrzne elementy przełączające często mają duży wpływ na projektowanie sieci. Rozważmy na przykład opóźnienie między portami. W niektórych sieciach o dużym natężeniu ruchu czas potrzebny na przełączenie ramki z portu wejściowego na port wyjściowy ma wpływ na ogólną wydajność aplikacji. W nowoczesnych przełącznikach opóźnienie między portami mierzone jest w mikrosekundach lub setkach nanosekund. Jeśli jeden przełącznik wykona zadanie w ciągu 1 mikrosekundy, podczas gdy inny może je wykonać w ciągu 400 nanosekund, może to wpłynąć na wybór sprzętu.

Kolejną kwestią jest rozwiązywanie problemów. Co się dzieje, gdy urządzenie sieciowe wydaje się nie przekazywać wszystkich odebranych pakietów, tzn. jest więcej danych na wejściu niż na wyjściu? Niewielkie straty pakietów w sieci są kłopotliwe do wyśledzenia. Zrozumienie wewnętrznego procesu przełączania pakietów w urządzeniu sieciowym rzuca dużo światła na to, gdzie może wystąpić awaria.

Dlatego nie należy odrzucać przełączania pakietów jako czegoś „zbyt blisko okablowania", aby było istotne dla ambitnego inżyniera sieci. Zamiast tego warto skorzystać z wiedzy na temat przełączania pakietów, aby uzyskać głęboki wgląd w ogólną wydajność sieci.

Dalsza lektura

1.5. Basics of How Operating Systems Work. Operating Systems Study Guide, *http://faculty.salina.k-state.edu/tim/ossg/Introduction/OSworking.html* [dostęp: 22 kwietnia 2017].

Bollapragada Vijay, White Russ, Murphy Curtis, *Inside Cisco IOS Software Architecture*, Cisco Press, Indianapolis 2000.

Cisco Nexus 5548P Switch Architecture, Cisco, *http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/nexus-5548p-switch/white_paper_c11-622479.html* [dostęp: 29 lipca 2017].

Fast Ethernet | Integrating 100mbps into Existing 10mbps Networks, Savvius, *https://www.savvius.com/resources/compendium/fast_ethernet/overview* [dostęp: 22 kwietnia 2017].

Heineman George T., Pollice Gary, Selkow Stanley, *Algorytmy. Almanach*, Helion, Gliwice 2010.

Inniss Daryl, Rubenstein Roy, *Silicon Photonics: Fueling the Next Information Revolution*, wyd. I, Morgan Kaufmann, 2016.

Intel Ethernet Switch Family Hash Efficiency, Intel, kwiecień 2009, *https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/ethernet-switch-hash-efficiency-paper.pdf*.

Interrupt, Wikipedia, *https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Interrupt&oldid=763436239* [dostęp: 3 lutego 2017].

Kloth Axel K., *Advanced Router Architectures*, CRC Press, Boca Raton 2005.

Konheim Alan G., *Hashing in Computer Science: Fifty Years of Slicing and Dicing*, wyd. I, Wiley-Interscience, 2011.

Lekkas Panos, *Network Processors: Architectures, Protocols and Platforms*, wyd. I, McGraw-Hill Education, New York 2003.

Meiners Chad R., Liu Alex X., Torng Eric, *Hardware Based Packet Classification for High Speed Internet Routers*, wyd. 2010, Springer, New York 2010.

Noubir Guevara, *Signal Encoding Techniques*, *http://www.ccs.neu.edu/home/noubir/Courses/CS6710/S12/slides/signals-encoding.pdf* [dostęp: 22 kwietnia 2017].

Scudder F.J., Reynolds J.N., *Crossbar Dial Telephone Switching System*, „BSTJ 18", 1 stycznia 1939, *http://archive.org/details/bstj18-1-76*.

Stringfield Nakia, White Russ, McKee, Stacia *Cisco Express Forwarding*, wyd. I, Cisco Press, Indianapolis 2007.

Thakur Dinesh, *Encoding Techniques and Codec*, Computer Notes, *http://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/communication-networks/encoding-techniques-and-codec* [dostęp: 22 kwietnia 2017].

Understanding IEEE 802.3ad Link Aggregation — Technical Documentation — Support — Juniper Networks, 26 marca 2013, *https://www.juniper.net/documentation/en_US/junose14.2/topics/concept/802.3ad-link-aggregation-understanding.html*.

Pytania kontrolne

1. Co się stanie, jeśli jeden koniec łącza zostanie skonfigurowany jako pakiet łączy zagregowanych, a drugi nie? Konkretnie: co się stanie, jeśli jedno urządzenie uważa, że STP działa, a drugie nie?
2. Dlaczego obliczanie funkcji skrótu dla przepływu jest zwykle używane zamiast *round-robin* jako algorytm przesyłania w ECMP?
3. Jaki jest cel istnienia wieloetapowych układów? Podaj przykład.
4. Krótko podsumuj techniki stosowane w krzyżowych polach komutacyjnych do łagodzenia rywalizacji.
5. Algorytm iSLIP zawiera kroki: żądania, zgody i akceptacji. Wyjaśnij krótko — po jednym zdaniu na krok — co dzieje się na każdym etapie.
6. Ile razy iSLIP musi zostać uruchomiony, zanim przestanie skutecznie poprawiać dopasowania wejścia-wyjścia?
7. Ile pakietów można jednocześnie umieścić w buforze cyklicznym?
8. Dlaczego nie ustawia się wystarczająco dużych buforów nadawczych i odbiorczych, aby zapobiec nadpisywaniu pakietów z powodu zbyt wolnego przetwarzania pakietów będących w buforze cyklicznym? Jakie są kompromisy pod względem szybkości przełączania poprzez przełącznik, wykorzystania pamięci i innych czynników?
9. Zbadaj i opisz wpływ burzy rozgłoszeniowej w sieci. Jak routing zapobiega burzom rozgłoszeniowym?
10. Wymień kilka zalet korzystania z MLAG do budowy bardzo dużych, płaskich sieci bez routingu. Jakie mogą być wady?

Skorowidz

A

ABR, Area Border Router, 490
adres
  IPv4, 126
  IPv6, 128, 130
  MAC, 108
    randomizacja, 253
adresacja urządzeń i aplikacji, 71
adresowanie OSI, 397
agregacja, 495
  BGP, 495
  informacji o osiągalności, 470
  łączy, 175, 178
aktualizacja oprogramowania, 566
algorytm
  Bellmana-Forda, 304, 377–381
  Diffusing Update, 310
  Dijkstry, 317, 318
  DUAL Garcii, 310
  expotential backoff, 500
  iSLIP, 184
  przeszukiwania w głąb, 336
  rozłącznej ścieżki Suurballe'a, 332
  SPF Dijkstry, 319, 321, 401
  Suurballe'a, 336
algorytmy zachłanne, 298
anycast, 76
aplikacje, 23
  awarie sieci, 560
  zdezagregowane, 595
  zwirtualizowane, 595
architektura
  hiperkonwergentna, 594
  I2RS, 449
  konwergentna, 594
  sieci, 509
  zdezagregowana, 594
ARP, 159
ASIC, Application-Specific Integrated Circuits, 181
atak, 516
  odbicia DDoS, 523, 525
  siłowy, 244
  spalenia, 525
  typu man-in-the-middle, 255, 520
  typu odmowa usługi, 523
  wzmocnienia, 525
automatyzacja, 643
  infrastruktury, 628
  interfejsy programowalne, 624
  na potrzeby wdrażania, 629
  na poziomie urządzenia, 627
  narzędzia, 628
  otwarta, 688
  sieci, 615
awaria, 463, 505, 560
  łącza, 382
  pamięci podręcznej, 477
  płaszczyzny sterowania, 467

B

baza danych FIB, 357
bezpieczeństwo, 513
  IoT, 673
  przez zaciemnienie, 247
  transportu, 239, 259
  w chmurze, 665
  warstwy transportowej, TLS, 257

bezpieczna sesja TLS, 258
bezpołączeniowość, 99
BGP, Border Gateway Protocol, 97, 414, 421, 444
  agregacja, 495
  nakładka osiągalności, 496
  proces peeringu, 416
  reflektory tras, 420
  reguły rozgłaszania, 419
  wybór najlepszej ścieżki, 417
bit dołączenia, 487
BLE, Bluetooth Low Energy, 678
blokowanie
  początku linii, 143
  sesji, 525
  upstreamu DDoS, 529
błędy, 64
brama domyślna, 163
Broadcast, 107
budowanie dokładnych modeli, 578
buforowanie, 475, 478
bufory rozdęte, 210
burze broadcastowe, 377

C

CAP, Consistency, Accessibility, and Partition tolerance, 457, 511
charakterystyka
  konwergencji, 551
  odporności, 551
  skalowania, 550
chipsety Ethernet, 107
chmury publiczne, 589, 653
  bezpieczeństwo, 665
  ciężar danych, 664
  kompromisy
    biznesowe, 660
    operacyjne, 657
  kontrola dostępu, 667
  monitorowanie sieci, 668
  ochrona danych, 665
  opóźnienie, 661
  wydatki
    inwestycyjne, 656
    operacyjne, 656
  wypełnianie zdalnej przestrzeni, 663
  wyzwania techniczne, 661
  z wieloma podmiotami, 667
CoDel, 210
CRC, 66
CSMA/CD, 105, 109
CSNP, Complete Sequence Number Packet, 400
cyfrowe gramatyki, 57
czarne dziury routingu, 283
czynnik zagrożenia, 516

D

dane
  ochrona, 240
  sprawdzanie prawidłowości, 240
dane IoT, 673, 683
DDoS, distributed denial of service, 523
definiowanie
  odporności, 561
  złożoności, 46, 48
deskryptor bazy danych, 405
dezagregacja, 591, 607, 611
DHCP, 157
DMZ, 535
DNS, 155
DoD, 90
  warstwa aplikacji, 91
  warstwa fizyczna, 91
  warstwa Internetu, 91
  warstwa łącza, 92
  warstwa narzędziowa, 92
  warstwa sieci, 92
  warstwa transportowa, 91
domeny
  awarii, 463, 505
  floodingowe, 486
    w IS-IS, 486, 488
    w OSPF, 489
dostęp do sieci korporacyjnej, 220
dostępność, 363
  usług, 523
dostrajanie MTU, 222
drzewo, 296
  maksymalnie redundantne, MRT, 336
  MST, 298
  najkrótszych ścieżek, SPT, 318, 323, 377, 413
  skrótów, 700
  wolne od pętli, 371
DSCP, Differentiated Service Code Points, 197
  mutacja, 199
  translacja, 199

dystrybucja zmian, 354
działanie
  NETCONF, 622
  protokołów warstwowania, 545
  sieci na domeny floodingowe, 545
  sieci nazwanych danych, 697

E

ECMP, Equal Cost Multipath, 175
efektywność, 45
EIGRP, Enhanced Interior Gateway Routing Protocol, 383, 444
  działanie protokołu, 385
  metryki, 384
  niezawodny transport, 388
  reagowanie na awarię, 387
  wykrywanie sąsiadów, 388
  zasięg zapytań, 388
eksploit, 516
elastyczność, 58
  skalowania sieci, 544
Ethernet, 104, 219

F

FaaS, Functions as a Service, 654
fibbing, 446
filtrowanie
  informacji o osiągalności, 473
  nieroutowalnych adresów, 528
  tras, 473
firewalle, 535
format TLV, 41, 62
fragmentacja, 128, 361
  pakietów, 144
funkcje
  jako usługi, FaaS, 654
  skrótu, 176
  zwirtualizowane, 633

G

gałęzie, 603
grupy łączy, 565
  wspólnego ryzyka, 232
gwiazda, 555

H

hierarchia
  dwuwarstwowa, 548
  rekurencyjna, 549
hiperkonwergencja, 591

I

I2RS, 449
IaaS, 654
ICMP, Internet Control Message Protocol, 124, 146
identyfikatory, 153
IKE, Internet Key Exchange, 522
informacje
  o osiągalności, 470, 473
  o topologii, 469, 484
infrastruktura
  jako usługa, IaaS, 654
  klucza publicznego, PKI, 251
interfejs
  południowy, 442
  północny, 442
interfejsy programowalne, 624
Internet, 201
internet rzeczy, 589, 671
  bezpieczeństwo, 673
  BLE, 678
  dane, 673, 683
  IPv6, 681
  izolacja, 674
  LoRaWAN, 680
  łączność, 673, 678
  unikernele, 676
IoT, Internet of Things, *Patrz*: internet rzeczy
IP, Internet Protocol, 124, 219
IPsec, 97, 666
IPv4
  rozwiązywanie adresów, 159
IPv6
  agregacja adresów, 131
  format nagłówka, 129
  fragmentacja, 128
  internet rzeczy, 681
  multipleksowanie, 130
  multipleksowanie między procesami, 134
  Neighbor Discovery, 161
  routing segmentowy, 228
  ustalanie stanu połączenia, 165

IS-IS, Intermediate System to Intermediate System, 396, 403, 484
  adresowanie OSI, 397
  domeny floodingowe, 488
  łącza wielodostępowe, 410
  marshalling danych, 399
  wykrywanie sąsiadów, 399
  zalewanie, 402
  zalewanie kopiami, 484
iSLIP, 184
izolacja
  na poziomie usługi, 674
  punktu końcowego, 675

J

jakość usług, 42
język YANG, 452, 689
języki modelowania, 689

K

klasyfikacja, 199
klucze
  prywatne, 248
  publiczne, 248, 521
kodowanie flowspec, 530
kolejki, 209
kolejkowanie
  o niskim opóźnieniu, 202
  ważone według klasy, 207
kolizje, 105
kombinacje sygnałów, 116
komponenty, 573
  routera, 609
  TLS, 257
kompromisy
  biznesowe, 660
  operacyjne, 657
komutacja łączy, 30
konceptualizacja łączy, 412
konfiguracja
  IPsec, 666
  OpenFlow, 455
  sesji protokołu TCP, 141
kontrola
  błędów, 110, 119, 140
  dostępu, 518
  przepływu, 36, 78, 112, 119
  transmisji, 135
kontrolery sieciowe, 32, 629
konwergencja, 346, 551
  pierścienia, 552
korekcja błędów, 69
korzyści obliczeniowe, 646
krawędź, 268
kryptografia klucza, 248
krytyczne przeciążenie, 208
krzyżowe pole komutacyjne, 183
kształtowanie wiązki, 117

L

LACP, Link Aggregation Control Protocol, 177
LFA, Loop-Free Alternates, 295, 324
lista węzłów, 296
liść, 268, 603
LoRaWAN, 680
losowe wczesne wykrywanie, RED, 209
LSA, Link State Advertisement, 489
  routera międzyobszarowego, 493
LSP, Link State Packet, 402, 485
luki w zabezpieczeniach, 516

Ł

łańcuch
  bloków, 696, 700
  usług, 637–640
łącza
  konceptualizacja, 412
  równoległe routowane, 179
  wielodostępowe, 410
  współdzielonego ryzyka, 232, 437, 565
  wirtualne, 217
łączenie usług, 637
łączność
  dwukierunkowa, 339, 414
  IoT, 673, 678

M

magistrala, 182
maksymalna jednostka transmisji, MTU, 274
maksymalnie redundantne drzewa, 336
manipulowanie, 583
mapowanie
  bazy danych, 154
  identyfikatorów, 155

portów TCP, 154
QoS, 43
marshalling danych
w protokole IS-IS, 399
w protokole OSPF, 404
mechanizm przetwarzania pakietów, 180
metadane, 34
metody automatyzacji, 620
metryki, 285
EIGRP, 384
miejsce docelowe, 268
mierzenie odporności, 561
mikropętle, 356
model, 574, 689
„co", 576
DoD, 50, 90
hybrydowy, 443
iteracyjny, 99
OSI, 93, 578
podmiany, 443
RINA, 97, 98, 578
rozproszony, 443
rozszerzony, 443
scentralizowanej płaszczyzny sterowania, 443
wodospadu, 300
modelowanie transportu sieciowego, 89
modułowość, 544, 567
modyfikacje systemów operacyjnych, 525
monitorowanie sieci, 668
MPLS, Multiprotocol Label Switching, 223, 227, 498
stos etykiet, 227
MRT, Maximally Redundant Trees, 336
MST, Minimum Spanning Tree, 298
MTU, Maximum Transmission Unit, 124, 274
multicast, 73, 75, 107
multipleksowanie, 71, 104, 130, 266
między procesami, 134
przestrzenne, 114, 117
mutacja DSCP, 199

N

nakładka
kontrolera, 498
osiągalności, 496
NDN, Named Data Networking, 696
negocjowane szybkości transmisji, 83
NETCONF, 620
działania, 622
warstwy, 621
NFV, Network Function Virtualization, 635, 647, 649
nieplanarne topologie sieci, 556
niezawodność, 45
NPU, Network Processing Unit, 181

O

obliczanie
CRC, 66
klucza sesji, 521
LFA, 325
metryki EIGRP, 384
rLFA, 325
ścieżek, 40
obrona w głąb, 517, 518
obszar
normalny, 490
stub area, 491, 494
stubby area, 492
totally not-so-stubby area, 493
ochrona
danych, 240, 519
prywatności użytkowników, 241
odcięcie ogona, 203
odcisk palca, 514
odnajdowanie
międzywarstwowe, 151, 152
DHCP, 157
DNS, 155
sąsiadów, 161
odporność, 551, 561, 563, 567
na partycjonowanie, 363
sieci, 559
odpytywanie, 347, 350
ograniczanie przepustowości żądań połączeń, 526
OODA, 532
OpenFlow, 455, 457
oprogramowanie
jako usługa, SaaS, 653
sieciowe, 23
optymalizacja aplikacji, 429, 438
organizacja danych, 57
organizowanie danych, 111, 119, 127

OSI, Open Systems Interconnect, 93, 397, 485
  warstwa
    aplikacji, 96
    fizyczna, 95
    łącza danych, 95
    prezentacji, 96
    sesji, 96
    sieci, 95
    transportowa, 95
osiągalne miejsca docelowe, 269, 375
OSPF, Open Shortest Path First, 396, 409, 442, 489
  agregacja, 495
  domeny floodingowe, 489
  łącza wielodostępowe, 410
  marshalling danych, 404
  obszary, 489, 494
  wykrywanie sąsiadów, 406
  zalewanie, 407
OTT, over-the-top, 219

P

PaaS, Platform as a Service, 654
pakiet, 33, 111
  CSNP, 400
  LSP, 402, 485
  PSNP, 400
pakiety
  kopiowanie
    do pamięci, 171
    na łącze, 186
  przekazywanie, 217
  przełączanie, 169, 172
  przenoszenie, 170
  przetwarzanie, 172
  routing, 173
partycjonowanie, 362
PCEP, Path Computation Element Protocol, 496
PCEP, Path Control Element Protocol, 453
peering BGP, 415
pętla
  OODA, 532
  sprzężenia zwrotnego, 465
  redystrybucji i routingu, 287
pierścień, 550
PKI, Public Key Infrastructure, 251
planarne topologie sieci, 556
platforma jako usługa, PaaS, 654
płaszczyzna
  danych, 23, 33
  możliwego, 48
  sterowania, 33, 234, 263, 284, 361, 464
    awaria, 467
    klasyfikacja, 368
    modele, 443
    protokoły wektora odległości, 367
    przestrzeń rozwiązań, 468
    reguły, 425
    rozproszona, 368
    scentralizowana, 44, 359, 368, 441, 444, 460
    ukrywanie informacji, 474
    zakres stanu, 464
    złożoność, 435
  zarządzania, 33
płaszczyzny sieciowe, 32
płynny restart, 566
PN, Programmable Network, 442
podzielony horyzont, 359
pola o stałej długości, 60
pole
  DSCP, 195, 199
  typu usługi, 195
połączenie, 99
pomiar rozciągnięcia, 47
pomocniczość, 457
porty TCP, 140
potwierdzenie
  negatywne, 82
  pozytywne, 82
  wybiórcze, 82
  zbiorcze, 82
powierzchnia
  ataku, 516
  interakcji, 49, 234
powtórne przetwarzanie, 225
prawo nieszczelnych abstrakcji, 510
priorytetyzacja QoS, 194
proaktywne rozpowszechnianie osiągalności, 283
problemy, 571
  biznesowe, 540
  ukrytego węzła, 118
  z bramą domyślną, 163
  z wirtualizacją, 222
programowalność, 627

projektowanie
hierarchiczne, 547
sieci, 509, 546, 558, 597
automatyzacja, 643
elastyczność, 635
łączenie usług, 637
skalowanie horyzontalne, 642
protokoły
kontroli błędów, 98
stanu łącza, 41, 340, 395, 412
transmisyjne niższych warstw, 120
transportu danych, 98
wektora odległości, 41, 340, 367, 377, 390
wektora ścieżki, 41, 395
protokół
ARP, 155, 159
BGP, 97, 414
DHCP, 157
drzewa rozpinającego, STP, 371, 377
EIGRP, 383, 388
IKE, 522
ICMP, 124
IP, 124
organizowanie danych, 127
transport, 127
IS-IS, 396, 397, 484
LACP, 177
OpenFlow, 455
OSPF, 396, 404, 489
PCEP, 453, 496
QUIC, 124
RIP, 378, 380, 383
SNMP, 618
TCP, 36, 124, 135
UDP, 405
przeciążenie łącza, 208
przekazywanie pakietu, 217
przekształcenia Internetu, 702
przeładowanie kodu, 29
przełączanie
etykiet, 37
pakietów, 33, 169, 599
się między modelami, 579
przenoszenie danych, 23
przepływy
myszowate, 177, 429
słoniowate, 177, 208, 429
przepustowość, 120
VNF, 647
przeskok po przeskoku, 358
przestrzeń P/Q, 302
przetwarzanie
pakietu, 172
w chmurze, 653
przypinanie przepływów, 429, 438
PSNP, Partial Sequence Number Packet, 400
punkty
awarii, 563
przewężenia, 545

Q

QoS, Quality of Service, 43, 186, 193, 212
schematy priorytetyzacji, 194
wybór ścieżki, 201
zarządzanie zatorami, 208
QUIC, Quick User Datagram Protocol Internet Connections, 124, 141
blokowanie początku linii, 143
ograniczanie retransmisji, 142
redukcja początkowego uzgadniania, 142

R

ramka Ethernet, 111
ramki
o stałej długości, 37
o zmiennej długości, 37
randomizacja adresu MAC, 253
rdzenie wielopłaszczyznowe, 566
reaktywne rozpowszechnianie osiągalności, 280
RED, Random Early Detection, 209
redukcja zalewania, 503
redundancja, 559, 563
redystrybucja, 285
reguła
podzielonego horyzontu, 359
zatruwania zwrotnego, 359
reguły
BGP, 435
płaszczyzny sterowania, 425, 439
definiowanie, 434
routing i ziemniaki, 426
segmentacja zasobów, 428
rekursywna architektura internetowa, 97
RESTCONF, 623
RINA, Recursive Internet Architecture, 97, 123

RIP, Routing Information Protocol, 305, 378, 444
rLFA, remote Loop-Free Alternates, 324
router
  granicy obszaru, 490
  komponenty, 609
routing, 173
  cebulowy, 254
  czarne dziury, 283
  i ziemniaki, 426, 435
  segmentowy, SR, 223, 496, 498
    w IPv6, 228
    z MPLS, 224
  sygnalizowanie etykiet, 229
routowane
  ECMP, 179
  łącza równoległe, 179
rozciągnięcie, 47
rozgłaszanie
  BGP, 419
  osiągalności i topologii, 278
rozkładanie
  ataku DDoS, 527
  ruchu, 526
rozpowszechnianie osiągalności
  proaktywne, 283
  reaktywne, 280
rozwiązywanie problemów, 571, 581
  przełączanie się między modelami, 579
  usuwanie problemu, 585
równoległe uruchamianie, 566
ruch
  północ – południe, 598
  VoIP, 205
  wschód – zachód, 597
rywalizacja, 184
ryzyka, 516

S

SaaS, Software as a Service, 653
scentralizowane
  płaszczyzny sterowania, 281, 441, 460
  zarządzanie konfiguracjami, 643
scentralizowany magazyn, 359
SDN, Software-Defined Network, 442, 444
SD-WAN, Software-Defined Wide Area Network, 231
segmentacja zasobów, 428, 436
sesja TLS, 258
siatka, 553
sieci
  fizyczne, 24
  hiperkonwergentne, 691
  nazwanych danych, NDN, 696
  oparte na intencjach, 645, 692
  pakietowe, 35
  promieniste, 230
  routingu segmentowego, 498
  rozległe, 230
    definiowane programowo, SD-WAN, 231
  rozwiązywanie problemów, 571, 581
  szkieletowe, 606
    z przełączaniem pakietów, 34, 599
  sieci wirtualne, 216
sieć
  bezprzewodowa 802.11, 112
    kontrola błędów, 119
    kontrola przepływu, 119
    multipleksowanie, 113
    multipleksowanie przestrzenne, 114
    organizowanie danych, 119
    problem ukrytego węzła, 118
    współdzielenie kanału, 118
  dwupołączona, 331
  gałęzi i liści, 607
skalowanie, 550
  horyzontalne, 602, 642
  sieci w górę, 602
skrót, hash, 176
skróty kryptograficzne, 252
słowniki, 57, 59
  obiektów, 63
  współdzielone, 63
SNMP, Simple Network Management Protocol, 618
software defined, 442
SOS, State/Optimization/Surface, 457, 510
SPF
  częściowy, 324
  przyrostowy, 324
spłukiwanie, 403
spowalnianie prędkości stanu, 480
spójność, 362
sprawdzenie łącza zwrotnego, 414
sprzężenie zwrotne, 465
SPT, Shortest Path Tree, 318, 377, 413
SR, Segment Routing, 223, 496
SRLG, Shared Risk Link Group, 437, 565

SSL, Secure Socket Layer, 257
stan-optymalizacja-powierzchnia, 510
sterowanie przepływem, 82
STP, Spannine Tree Protocol, 371
strefa zdemilitaryzowana, DMZ, 535
style degradacji sieci, 546
sumaryzacja informacji o topologii, 469, 484
sygnał, 115
synchronizacja TCP, 210
system
  kompozycyjny, 596
  nazw domen, DNS, 155
  okien dystrybucji, 79
sztuczna inteligencja, 694
szybkość transmisji bitów
  dostępna, ABR, 83
  stała, CBR, 83
  zmienna, VBR, 83
szyfrowanie, 242, 248

Ś

ścieżki, 370
  najkrótsze, 293, 295
    algorytm Dijkstry, 317
  o równym koszcie, 175
  pozbawione pętli, 40
  przełączania, 180
  redundantne, 564
  rLFA, 325
  rozgłaszania, 370
  sieciowe, 268
    wąskie gardło, 192
  wektor, 327
  wolne od pętli, LFA, 294, 325, 417
    algorytm Bellmana-Forda, 304
    alternatywne, 299
    unicastowe, 293, 317
    zdalne alternatywne, 303

T

tabela Unicode, 59
tablica routingu, 390
talia osy, 50
TCP, Transmission Control Protocol, 36, 124, 405
  konfiguracja sesji, 141
  kontrola błędów, 140
  kontrola przepływu, 135
  numery portów, 140
  okno odbioru, 138
  okno zatoru, 138
  próg powolnego startu, 139
TE, Traffic Engineering, 496
testowanie, 583
timer
  blokowania, 383
  nieaktywności, 375
  nieważności, 382
  retransmisji, 375
  spłukiwania, 383
  wstrzymania, 283
TLS, Transport Layer Security, 257
TLV, Type Length Value, 62
TLV, Type Length Vector, 452
topologie sieci, 265, 271
  fizyczne i wirtualne, 216
  gwiazdy, 555
  nieregularne, 600
  pierścienia, 550
  planarne, 556
  reagowanie na zmiany, 345, 386
  regularne, 556, 600
  siatki, 553
ToS, Type of Service, 195
tożsamość biometryczna, 514
translacja DSCP, 199
transmisja danych
  błędy, 64
transport danych, 55, 127
  bezpieczeństwo, 239
  w wyższych warstwach, 123
  w niższych warstwach, 103
tryb
  asynchroniczny, 352
    z echem, 353
  awarii pamięci podręcznej, 477
  na żądanie, 353
    z echem, 353
  nieograniczony, 107
  PIM Sparse Mode, 75
tunel, 227
twierdzenie CAP, 362, 457, 511
tworzenie
  łańcucha usług, 637
  odporności, 563
  warstw wirtualnych, 545
  wiązki, 115

U

ucho, 339
uczenie
  maszynowe, 694
  się proaktywnie, 277
  się reaktywne, 276
UDP, User Datagram Protocol, 405
ukrywanie informacji, 463, 481, 483
unicastowe przekazywanie przez ścieżkę powrotną, 528
Unicode, 59
unikernele, 676
upraszczanie przed testowaniem, 585
uRPF, Unicast Reverse Path Forwarding, 528
urządzenia sieciowe, 24, 271, 646
usługa, 42, 191
  ochrony przed DDoS, 531
  OTT, 219
usługi
  pole ToS, 195
  bezserwerowe, 654
usuwanie problemu, 585
uwarstwienie, 496
uwierzytelnianie, authentication, 519

V

VNF
  poprawianie przepustowości, 647
VoIP, Voice over Internet Protocol, 204, 551
VPN, 221
VOQ, virtual output queues, 184

W

warstwa
  aplikacji, 91, 96
  bezpiecznych gniazd, SSL, 257
  fizyczna, 91, 95
  Internetu, 91
  łącza danych, 92, 95
  narzędziowa, 92
  prezentacji, 96
  sesji, 96
  sieci, 92, 95
  transportowa, 91, 95
warstwy NETCONF, 621
wąskie gardło, 636
wczesne wykrywanie
  losowe ważone, 210
wektor
  odległości, 315
  ścieżki, 327
węzeł, node, 267
  liścia, 268
  tranzytowy, 267
wiązka, 115
wieloprotokołowe przełączanie etykiet, MPLS, 223
Wi-Fi, 112
wirtualizacja, 222, 232, 236
  funkcji, 589
    sieciowych, NFV, 633, 635, 649
  sieci, 215
wirtualne sieci prywatne, VPN, 221
wirtualny prywatny dostęp, 220
wskaźnik
  MTBM, 563
  MTTI, 563
współdzielenie kanału, 118
współdzielone bazy danych, 486
wybór najlepszej ścieżki, 417
wydajność zasobów, 58
wydatki
  inwestycyjne, 656
  operacyjne, 656
wykrywanie
  awarii, 347, 348
  błędów, 64
  kolizji, 106
  oparte na odpytywaniu, 350
  oparte na zdarzeniach, 350
  osiągalności, 276
  przekazywania dwukierunkowego, 351
  sąsiadów, 388, 399, 406
  topologii, 265, 289, 399, 406
  tras źródłowych, 281
  urządzeń sieciowych, 271
  zmian w topologii, 347
wyliczanie identyfikatora, 155
wymagania
  biznesowe, 544
  techniczne, 544
wymiana kluczy, 249–251
wzorce projektowania sieci, 539, 558

Y

YANG, 689

Z

zachowywanie klasyfikacji, 199
zaciemnianie danych użytkownika, 247, 252, 522
zagrożenie, 516
zalewanie, 484
  niezawodne, 401, 407
  stanem łącza, 503
  urządzeń sieciowych, 355
zarządzanie
  bezpiecznymi połączeniami, 666
  kolejką, 209
  konfiguracjami, 643
  opóźnieniami bufora, 210
  pełnym buforem, 209
  zatorami, 202, 208
  złożonością, 49
zasada
  konwergencji pierścienia, 552
  pomocniczości, 459
zasoby, 516
zator, 202
zatruwanie zwrotne, 359, 383
złożoność, 44, 232
  płaszczyzny sterowania, 435
  przetwarzania, 249
  sieci, 616
złudzenie optyczne, 533
zmiany
  topologii, 360
  w zasobach, 592
zmniejszenie prędkości stanu, 500
zwinność biznesowa, 656

Ź

źródła, 268

INNOWACYJNE PODEJŚCIE DO BUDOWANIA ODPORNYCH, NOWOCZESNYCH SIECI

Zrozumienie budowy i działania sieci komputerowych nie jest łatwe. Trzeba przyswoić wiele pojęć, zrozumieć bardzo zawiłe mechanizmy, a także przygotować się na gwałtowny rozwój technologii sieciowych. Mimo dostępności licznych podręczników i wypracowania różnych podejść do nauczania podstaw sieci komputerowych wciąż wielu inżynierów nie rozumie tych zagadnień. Te braki w wiedzy i w umiejętnościach należy traktować jako istotny problem: w przyszłości będą się pojawiać coraz to nowsze rozwiązania sieciowe, a ich znaczenie dla niemal każdego przedsiębiorstwa będzie rosło.

W książce zastosowano podejście problemowe, dzięki czemu łatwiej jest zrozumieć budowę oraz działanie współczesnych sieci komputerowych i protokołów, jak również wyzwania, z jakimi mierzą się dzisiejsze systemy. W praktyczny sposób opisano zagadnienia transportu danych i sterowania pracą sieci, przeanalizowano też kilka typowych projektów i architektur sieci, w tym sieci szkieletowe centrów danych i nowoczesne sieci rozległe definiowane programowo (SD-WAN). Szczegółowo zaprezentowano takie technologie jak sieci definiowane programowo (SDN). Każdemu zagadnieniu towarzyszy omówienie typowych problemów i ich rozwiązań, a także sposobów ich implementacji w protokołach oraz metod wdrożenia.

W TEJ KSIĄŻCE MIĘDZY INNYMI:

- protokoły transportu w warstwach sieci i komunikacja międzywarstwowa
- pakiety, usługi, topologia sieci
- zabezpieczanie sieci, redundancja i odporność
- wzorce projektowe w sieciach
- automatyzacja zarządzania siecią
- internet rzeczy oraz inne nowości w sieciach

Russ White od ponad 30 lat projektuje wielkie sieci, zajmuje się też ich zabezpieczeniami i rozwiązywaniem problemów. Jest współautorem ponad 40 patentów na oprogramowanie. Obecnie jest architektem w LinkedIn, pracuje także w grupie doradczej do spraw routingu IETF i współprzewodniczy grupom roboczym IETF I2RS i Babel.

Ethan Banks pracuje w branży IT od 1995 roku. Był inżynierem systemów: Novell, Windows i Linux, zajmował się technologiami: DNS, SMTP, HTTP i powiązanymi aplikacjami. Uzyskał wiele certyfikatów, w tym Microsoft Certified Systems Engineer, Cisco Certified Network Professional, Certified Ethical Hacker i Cisco Certified Security Professional.

Helion

helion.pl

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

ISBN 978-83-283-5043-4

INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU

Cena: 119,00 zł

Pearson