

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
<i>Działanie przełączania pakietów</i>	<i>34</i>
<i>Kontrola przepływu w sieci z przełączaniem pakietów</i>	<i>36</i>
Ramki o stałej a ramki o zmiennej długości	37
Obliczanie ścieżek pozbawionych pętli	40
Jakość usług	42
Zemsta scentralizowanych płaszczyzn sterowania	44
Złożoność	44
<i>Skąd ta złożoność?</i>	<i>45</i>
<i>Definiowanie złożoności</i>	<i>46</i>
<i>Zarządzanie złożonością poprzez talię osy</i>	<i>49</i>
Końcowe rozważania	51
Dalsza lektura	51
Pytania kontrolne	52
Rozdział 2. Problemy i rozwiązania związane z transportem danych	55
Cyfrowe gramatyki i organizowanie	57
<i>Cyfrowe gramatyki i słowniki</i>	<i>57</i>
<i>Pola o stałej długości</i>	<i>60</i>
<i>Format TLV</i>	<i>62</i>
<i>Współdzielone słowniki obiektów</i>	<i>63</i>

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 bezpieczeństwo	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
<i>Redukcja początkowego uzgadniania</i>	142
<i>Ograniczanie retransmisji</i>	142
<i>Zmniejszenie blokowania początku linii</i>	143
ICMP	146
Końcowe rozważania	147
Dalsza lektura	148
Pytania kontrolne	150
Rozdział 6. Odnajdowanie międzywarstwowe	151
Rozwiązania w zakresie odnajdowania międzywarstwowego	152
<i>Powszechnie znane lub ręcznie skonfigurowane identyfikatory</i>	153
<i>Mapowanie bazy danych i protokołu</i>	154
<i>Ogłaszanie mapowania identyfikatorów za pomocą protokołu</i>	155
<i>Wyliczanie jednego identyfikatora z innego</i>	155
Przykłady odnajdowania międzywarstwowego	155
<i>System nazw domen (DNS)</i>	155
<i>DHCP</i>	157
<i>Protokół rozwiązywania adresów IPv4</i>	159
<i>IPv6 Neighbor Discovery — odnajdowanie sąsiadów</i>	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
<i>Przełączanie</i>	172
<i>Routing</i>	173
<i>Po co routować?</i>	174
<i>Wiele ścieżek o równym koszcie</i>	175
Przez magistralę	182
<i>Krzyżowe pola komutacyjne i rywalizacja</i>	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
<i>Dlaczego po prostu nie zrobić wystarczająco szybkich łącz?</i>	193
Klasyfikacja	194
<i>Zachowywanie klasyfikacji</i>	199
<i>Nieoznaczony Internet</i>	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 — ważne 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 miejsca docelowe	268
Topologia	270
Poznanie 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
Poznanie 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
Krótką 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 zalenie	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
<i>Systematyka interfejsów</i>	<i>442</i>
<i>Podział pracy</i>	<i>444</i>
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
<i>Definiowanie zakresu stanu płaszczyzny sterowania</i>	<i>464</i>
<i>Pętle dodatniego sprzężenia zwrotnego</i>	<i>465</i>
Przestrzeń rozwiązań	468
<i>Sumaryzacja informacji o topologii</i>	<i>469</i>
<i>Agregowanie informacji o osiągalności</i>	<i>470</i>
<i>Filtrowanie informacji o osiągalności</i>	<i>473</i>
<i>Uwarstwienie płaszczyzn sterowania</i>	<i>474</i>
<i>Buforowanie</i>	<i>475</i>
<i>Spowalnianie</i>	<i>479</i>
Końcowe rozważania dotyczące ukrywania informacji	481
Dalsza lektura	481
Pytania kontrolne	482
Rozdział 20. Przykłady ukrywania informacji	483
Sumaryzacja informacji o topologii	484
<i>Protokół IS-IS</i>	<i>484</i>
<i>Protokół OSPF</i>	<i>489</i>
Agregacja	495
Uwarstwienie	496
<i>Protokół BGP jako nakładka osiągalności</i>	<i>496</i>
<i>Routing segmentowy z nakładką kontrolera</i>	<i>498</i>
Zmniejszenie prędkości stanu	500
<i>Exponential backoff</i>	<i>500</i>
<i>Redukcja zalewania stanem łącza</i>	<i>503</i>
Końcowe rozważania dotyczące domen awarii	505
Dalsza lektura	505
Pytania kontrolne	507

Część III. Projektowanie sieci	509
Trzy podstawowe modele	510
<i>Prawo nieszczelnych abstrakcji</i>	<i>510</i>
<i>Triada stan-optimalizacja-powierzchnia (SOS)</i>	<i>510</i>
<i>Triada spójność-dostępność-odporność na partycjonowanie (CAP)</i>	<i>511</i>
Rozdział 21. Kwestie bezpieczeństwa w szerszym ujęciu	513
Zakres problemu	514
<i>Zagadnienie tożsamości biometrycznej</i>	<i>514</i>
<i>Definicje</i>	<i>516</i>
<i>Przestrzeń problemów</i>	<i>517</i>
Przestrzeń rozwiązań	517
<i>Obrona w głąb</i>	<i>517</i>
<i>Kontrola dostępu</i>	<i>518</i>
<i>Ochrona danych</i>	<i>519</i>
<i>Gwarantowanie dostępności usług</i>	<i>523</i>
Pętla OODA jako model bezpieczeństwa	532
<i>Obserwuj</i>	<i>533</i>
<i>Zorientuj się</i>	<i>533</i>
<i>Zdecyduj</i>	<i>534</i>
<i>Działaj</i>	<i>535</i>
Końcowe rozważania dotyczące kwestii bezpieczeństwa	535
Dalsza lektura	536
Pytania kontrolne	538
Rozdział 22. Wzorce projektowania sieci	539
Przestrzeń problemu	540
<i>Rozwiązywanie problemów biznesowych</i>	<i>540</i>
<i>Przekładanie wymagań biznesowych na techniczne</i>	<i>544</i>
<i>Co to jest dobry projekt sieci?</i>	<i>546</i>
Projektowanie hierarchiczne	547
Powszechne topologie	549
<i>Topologie pierścienia</i>	<i>550</i>
<i>Topologie siatki</i>	<i>553</i>
<i>Topologie gwiazdy</i>	<i>555</i>
<i>Topologie planarne, nieplanarne i regularne</i>	<i>556</i>
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
<i>Inne „wskaźniki”</i>	<i>563</i>

Redundancja jako narzędzie do tworzenia odporności	563
<i>Grupy łączy współdzielonego ryzyka</i>	565
<i>Aktualizacja oprogramowania w trakcie działania i płynny restart</i>	566
<i>Rdzenie dwupłaszczyznowe i wielopłaszczyznowe</i>	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
<i>Budowanie modeli „jak”</i>	575
<i>Budowanie modeli „co”</i>	576
<i>Budowanie dokładnych modeli</i>	578
<i>Przełączanie się między modelami</i>	579
Podziel na pół i idź dalej	581
<i>Manipulowanie</i>	583
<i>Upraszczenie przed testowaniem</i>	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
<i>Konwergentne, zdezagregowane, hiperkonwergentne i kompozycyjne</i>	592
<i>Zwirtualizowane i zdezagregowane aplikacje</i>	595
Wpływ na projektowanie sieci	597
<i>Wzrost ruchu na linii wschód – zachód</i>	597
<i>Wzrost odchyień i opóźnień</i>	599
Sieci szkieletowe z przełączaniem pakietów	599
<i>Szczególne własności sieci szkieletowej</i>	599
<i>Gałęzie i liście</i>	603
<i>Inżynieria ruchu w sieci gałęzi i liści</i>	606
<i>Sieć gałęzi i liści o większej skali</i>	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