

Spis treści

O autorach	13
Przedmowa	15
Rozdział 1. Sieci komputerowe i internet	25
1.1. Czym jest internet?	26
1.1.1. Opis podstawowych komponentów	26
1.1.2. Omówienie usług	29
1.1.3. Czym jest protokół?	31
1.2. Obrzeże sieci	33
1.2.1. Sieci dostępne	36
1.2.2. Fizyczny nośnik	43
1.3. Rdzeń sieci	46
1.3.1. Przełączanie pakietów	46
1.3.2. Przełączanie obwodów	51
1.3.3. Sieć sieci	57
1.4. Opóźnienie, utrata pakietów i przepustowość w sieciach z przełączaniem pakietów	60
1.4.1. Omówienie opóźnień w sieciach z przełączaniem pakietów	61
1.4.2. Opóźnienie kolejgowania i utrata pakietów	64
1.4.3. Opóźnienie międzywęzłowe	67
1.4.4. Przepustowość w sieciach komputerowych	69
1.5. Warstwy protokołów i modele ich usług	72
1.5.1. Architektura warstwowa	72
1.5.2. Kapsułkowanie	79
1.6. Sieci pod atakiem	80
1.7. Historia sieci komputerowych i internetu	85
1.7.1. Rozwój technologii przełączania pakietów: 1961 - 1972	85
1.7.2. Sieci zastrzeżone i łączenie sieci: 1972 - 1980	88
1.7.3. Popularyzacja sieci: 1980 - 1990	89
1.7.4. Eksplozja internetu: lata 90.	90
1.7.5. Ostatnie dokonania	91
1.8. Podsumowanie	92
Problemy do rozwiązania i pytania	94
Ćwiczenie realizowane za pomocą narzędzia Wireshark	105
WYWIAD Z... Leonard Kleinrock	107
Rozdział 2. Warstwa aplikacji	111
2.1. Zasady dotyczące aplikacji sieciowych	112
2.1.1. Architektury aplikacji sieciowych	114
2.1.2. Komunikacja procesów	116

2.1.3. Usługi transportowe dostępne aplikacjom	118
2.1.4. Usługi transportowe dostępne w internecie	121
2.1.5. Protokoły warstwy aplikacji	124
2.1.6. Aplikacje sieciowe uwzględnione w książce	125
2.2. Technologia WWW i protokół HTTP	126
2.2.1. Omówienie protokołu HTTP	127
2.2.2. Połączenia nietrwałe i trwałe	129
2.2.3. Format komunikatu HTTP	132
2.2.4. Interakcja między użytkownikiem i serwerem — pliki cookies	136
2.2.5. Buforowanie stron internetowych	139
2.3. Internetowa poczta elektroniczna	145
2.3.1. Protokół SMTP	146
2.3.2. Porównanie protokołów SMTP i HTTP	149
2.3.3. Formaty wiadomości pocztowych	150
2.3.4. Protokoły dostępu do skrzynki pocztowej	151
2.4. System DNS, czyli internetowa usługa katalogowa	156
2.4.1. Usługi oferowane przez system DNS	156
2.4.2. Przegląd zasad działania systemu DNS	159
2.4.3. Rekordy i komunikaty systemu DNS	164
2.5. Udostępnianie plików w sieciach P2P	170
2.6. Strumieniowanie wideo i sieci CDN	176
2.6.1. Wideo w internecie	176
2.6.2. Strumieniowanie HTTP i DASH	177
2.6.3. Sieci CDN	178
2.6.4. Studia przypadków — Netflix, YouTube i Kankan	183
2.7. Programowanie gniazd — tworzenie aplikacji sieciowych	187
2.7.1. Programowanie gniazd protokołu UDP	188
2.7.2. Programowanie gniazd z użyciem protokołu TCP	193
2.8. Podsumowanie	198
Problemy do rozwiązania i pytania	199
Zadania związane z programowaniem gniazd	209
Ćwiczenie wykorzystujące narzędzie Wireshark — protokół HTTP	211
Ćwiczenie wykorzystujące narzędzie Wireshark — protokół DNS	211
WYWIAD Z... Marc Andreessen	212

Rozdział 3. Warstwa transportowa **215**

3.1. Wprowadzenie i usługi warstwy transportowej	216
3.1.1. Związek występujący między warstwami transportową i sieci	217
3.1.2. Przegląd zastosowania warstwy transportowej w internecie	219
3.2. Multipleksowanie i demultipleksowanie	221
3.3. Bezpołączeniowy protokół transportowy UDP	228
3.3.1. Struktura segmentu UDP	232
3.3.2. Suma kontrolna segmentu UDP	233
3.4. Podstawy dotyczące niezawodnego transferu danych	234
3.4.1. Tworzenie protokołu niezawodnego transferu danych	236
3.4.2. Potokowane protokoły niezawodnego transferu danych	246
3.4.3. Go-Back-N	250
3.4.4. Powtarzanie selektywne	255

3.5. Połączeniowy protokół TCP	261
3.5.1. Połączenie TCP	261
3.5.2. Struktura segmentu TCP	264
3.5.3. Wyznaczanie czasu RTT i czas oczekiwania	269
3.5.4. Niezawodny transfer danych	273
3.5.5. Kontrola przepływu	281
3.5.6. Zarządzanie połączeniem TCP	284
3.6. Podstawy dotyczące kontroli przeciążenia	290
3.6.1. Przyczyny przeciążenia i jego konsekwencje	291
3.6.2. Metody kontroli przeciążenia	297
3.7. Kontrola przeciążenia w protokole TCP	298
3.7.1. Sprawiedliwy przydział przepustowości	310
3.7.2. Mechanizm ECN — kontrola przeciążenia wspomagana przez sieć	313
3.8. Podsumowanie	314
Problemy do rozwiązania i pytania	317
Zadania związane z programowaniem	333
Ćwiczenie wykorzystujące narzędzie Wireshark — poznawanie protokołu TCP	334
Ćwiczenie wykorzystujące narzędzie Wireshark — poznawanie protokołu UDP	334
WYWIAD Z... Van Jacobson	335
Rozdział 4. Warstwa sieciowa — aspekt danych	337
4.1. Przegląd warstwy sieci	338
4.1.1. Przekazywanie i routing — aspekty danych i sterowania	338
4.1.2. Model usług sieciowych	343
4.2. Co znajduje się wewnątrz routera?	345
4.2.1. Porty wejściowe i przekazywanie oparte na docelowej lokalizacji	348
4.2.2. Przełączanie	351
4.2.3. Przetwarzanie w portach wyjściowych	353
4.2.4. Gdzie ma miejsce kolejkowanie?	353
4.2.5. Szeregowanie pakietów	357
4.3. Protokół IP: IPv4, adresowanie, IPv6 i inne zagadnienia	361
4.3.1. Format datagramu	362
4.3.2. Fragmentacja datagramu IPv4	365
4.3.3. Funkcja adresowania protokołu IPv4	366
4.3.4. Funkcja NAT	377
4.3.5. Protokół IPv6	381
4.4. Uogólnione przekazywanie i sieci SDN	386
4.4.1. Dopasowanie	389
4.4.2. Działania	390
4.4.3. Praktyczne przykłady stosowania techniki „dopasowanie plus działanie”	391
4.5. Podsumowanie	393
Problemy do rozwiązania i pytania	394
Problemy	397
WYWIAD Z... Vinton G. Cerf	403

Rozdział 5. Warstwa sieciowa — aspekt sterowania	405
5.1. Wprowadzenie	406
5.2. Algorytmy routingu	408
5.2.1. Algorytm routingu stanu łącza	411
5.2.2. Algorytm wektora odległości	416
5.3. Wewnętrzny protokół routingu systemu autonomicznego w internecie — protokół OSPF	425
5.4. Routing między sieciami dostawców ISP — protokół BGP	429
5.4.1. Rola protokołu BGP	429
5.4.2. Udostępnianie informacji o trasach w protokole BGP	430
5.4.3. Określanie najlepszych tras	432
5.4.4. IP-anycast	435
5.4.5. Zasady dotyczące routingu	437
5.4.6. Łączenie różnych elementów — obecność w internecie	439
5.5. Aspekt sterowania w sieciach SDN	441
5.5.1. Aspekt sterowania w sieci SDN — kontroler sieci SDN i aplikacje sterowania siecią	443
5.5.2. Protokół OpenFlow	446
5.5.3. Interakcja między aspektami danych i sterowania — przykład	447
5.5.4. Sieci SDN — przeszłość i przyszłość	449
5.6. Protokół ICMP	452
5.7. Zarządzanie siecią i SNMP	455
5.7.1. Model zarządzania siecią	455
5.7.2. Protokół SNMP	457
5.8. Podsumowanie	460
Problemy do rozwiązania i pytania	461
Zadanie z zakresu programowania gniazd	468
Zadanie programistyczne	468
WYWIAD Z... Jennifer Rexford	470
Rozdział 6. Warstwa łącza danych i sieci lokalne	473
6.1. Wprowadzenie do warstwy łącza danych	474
6.1.1. Usługi świadczone przez warstwę łącza danych	476
6.1.2. Gdzie zaimplementowana jest warstwa łącza danych?	477
6.2. Metody wykrywania i usuwania błędów	478
6.2.1. Kontrola parzystości	480
6.2.2. Suma kontrolna	482
6.2.3. Kontrola nadmiarowości cyklicznej	483
6.3. Łącza i protokoły wielodostępu	485
6.3.1. Protokoły dzielące kanał	488
6.3.2. Protokoły dostępu losowego	490
6.3.3. Protokoły cykliczne	498
6.3.4. DOSCIS: protokół warstwy łącza danych dla kablowego dostępu do internetu	499
6.4. Sieci lokalne z przełączaniem	501
6.4.1. Adresowanie w warstwie łącza danych i ARP	501
6.4.2. Ethernet	509
6.4.3. Przełączniki warstwy łącza danych	515

6.4.4. Wirtualne sieci lokalne (VLAN)	522
6.5. Wirtualizacja łącza — sieć jako warstwa łącza danych	525
6.5.1. Protokół MPLS	526
6.6. Sieci w centrach danych	530
6.7. Retrospekcja — dzień z życia żądania strony internetowej	535
6.7.1. Zaczynamy — DHCP, UDP, IP i Ethernet	535
6.7.2. Nadal zaczynamy — DNS i ARP	537
6.7.3. Wciąż zaczynamy — routing wewnętrzny do serwera DNS	538
6.7.4. Interakcja między klientem i serwerem — TCP i HTTP	539
6.8. Podsumowanie	541
Problemy do rozwiązania i pytania	542
WYWIAD Z... Simon S. Lam	552
Rozdział 7. Sieci bezprzewodowe i mobilne	555
7.1. Wprowadzenie	556
7.2. Cechy łączy i sieci bezprzewodowych	561
7.2.1. CDMA	564
7.3. Wi-Fi — bezprzewodowe sieci lokalne 802.11	567
7.3.1. Architektura sieci 802.11	568
7.3.2. Protokół kontroli dostępu do nośnika 802.11	572
7.3.3. Ramka IEEE 802.11	577
7.3.4. Mobilność w tej samej podsieci IP	580
7.3.5. Zaawansowane funkcje protokołu 802.11	581
7.3.6. Sieci PAN — Bluetooth i Zigbee	583
7.4. Dostęp do internetu za pomocą sieci komórkowych	586
7.4.1. Omówienie architektury komórkowej	586
7.4.2. Sieci komórkowe 3G — udostępnianie internetu abonentom sieci komórkowych	589
7.4.3. W kierunku sieci 4G — LTE	592
7.5. Zasady zarządzania mobilnością	595
7.5.1. Adresowanie	598
7.5.2. Routing do węzła mobilnego	599
7.6. Mobile IP	604
7.7. Zarządzanie mobilnością w sieciach komórkowych	608
7.7.1. Routing rozmów z użytkownikiem mobilnym	609
7.7.2. Transfery w GSM	610
7.8. Wpływ bezprzewodowości i mobilności na protokoły wyższych warstw	614
7.9. Podsumowanie	616
Pytania i problemy do rozwiązania	617
WYWIAD Z... Deborah Estrin	623
Rozdział 8. Bezpieczeństwo w sieciach komputerowych	627
8.1. Czym jest bezpieczeństwo sieci?	628
8.2. Zasady kryptografii	630
8.2.1. Kryptografia z kluczem symetrycznym	631
8.2.2. Szyfrowanie z kluczem publicznym	638
8.3. Integralność komunikatów i podpisy cyfrowe	644

8.3.1. Kryptograficzne funkcje skrótu	644
8.3.2. Kod MAC	646
8.3.3. Podpisy cyfrowe	648
8.4. Uwierzytelnianie punktów końcowych	654
8.4.1. Protokół uwierzytelniania pu1.0	654
8.4.2. Protokół uwierzytelniania pu2.0	655
8.4.3. Protokół uwierzytelniania pu3.0	655
8.4.4. Protokół uwierzytelniania pu3.1	657
8.4.5. Protokół uwierzytelniania pu4.0	657
8.5. Zabezpieczanie poczty elektronicznej	658
8.5.1. Bezpieczna poczta elektroniczna	659
8.5.2. PGP	662
8.6. Zabezpieczanie połączeń TCP — protokół SSL	663
8.6.1. Ogólny obraz	665
8.6.2. Bardziej kompletny obraz	668
8.7. Zabezpieczenia w warstwie sieciowej — IPsec i sieci VPN	670
8.7.1. IPsec i sieci VPN	671
8.7.2. Protokoły AH i ESP	672
8.7.3. Skojarzenia bezpieczeństwa	672
8.7.4. Datagram IPsec	674
8.7.5. IKE — zarządzanie kluczami w protokole IPsec	677
8.8. Zabezpieczanie bezprzewodowych sieci lokalnych	678
8.8.1. Wired Equivalent Privacy (WEP)	679
8.8.2. IEEE 802.11i	681
8.9. Bezpieczeństwo operacyjne — zapory i systemy wykrywania włamań	683
8.9.1. Zapory sieciowe	683
8.9.2. Systemy wykrywania włamań	691
8.10. Podsumowanie	694
Pytania i problemy do rozwiązania	695
WYWIAD Z... Steven M. Bellovin	705
Rozdział 9. Sieci a multimedia	707
9.1. Multimedialne aplikacje sieciowe	708
9.1.1. Cechy obrazu	708
9.1.2. Cechy dźwięku	710
9.1.3. Rodzaje multimedialnych aplikacji sieciowych	711
9.2. Strumieniowa transmisja zapisanego wideo	714
9.2.1. Strumieniowanie UDP	715
9.2.2. Strumieniowanie HTTP	716
9.3. Technologia VoIP	721
9.3.1. Ograniczenia usługi best-effort	721
9.3.2. Usuwanie fluktuacji po stronie odbiorcy	723
9.3.3. Eliminowanie skutków utraty pakietów	726
9.3.4. Studium przypadku — VoIP na przykładzie aplikacji Skype	729
9.4. Protokoły używane przez interaktywne aplikacje czasu rzeczywistego	732
9.4.1. RTP	732

9.4.2. SIP	735
9.5. Wspomaganie transmisji multimediiów w sieciach	740
9.5.1. Wymiarowanie sieci best-effort	742
9.5.2. Udostępnianie usług wielu klas	744
9.5.3. Diffserv	750
9.5.4. Gwarancje jakości usług na poziomie połączenia — rezerwowanie zasobów i zatwierdzanie połączeń	754
9.6. Podsumowanie	757
Pytania i problemy do rozwiązania	758
WYWIAD Z... Henning Schulzrinne	766
Źródła	769
Skorowidz	799

oprac. BPK