

# Συνοπτικά Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο .....	1
Κεφάλαιο 2	Επίπεδο Εφαρμογής .....	73
Κεφάλαιο 3	Επίπεδο Μεταφοράς .....	158
Κεφάλαιο 4	Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων .....	263
Κεφάλαιο 5	Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Ελέγχου .....	329
Κεφάλαιο 6	Επίπεδο Ζεύξης και Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN) ....	389
Κεφάλαιο 7	Ασύρματα και Κινητά Δίκτυα .....	466
Κεφάλαιο 8	Ασφάλεια σε Δίκτυα Υπολογιστών .....	557
Βιβλιογραφία .....		635
Ευρετήριο .....		677

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1 Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο</b>	<b>1</b>
1.1 Τι Είναι το Διαδίκτυο;	2
1.1.1 Πρακτική Περιγραφή	2
1.1.2 Περιγραφή με Βάση τις Υπηρεσίες	5
1.1.3 Τι Είναι ένα Πρωτόκολλο;	6
1.2 Η Περιφέρεια του Δικτύου	9
1.2.1 Δίκτυα Προσπέλασης	11
1.2.2 Φυσικά Μέσα	16
1.3 Ο Πυρήνας του Δικτύου	19
1.3.1 Μεταγωγή Πακέτου	19
1.3.2 Μεταγωγή Κυκλώματος	23
1.3.3 Ένα Δίκτυο Δικτύων	28
1.4 Καθυστέρηση, Απώλεια και Διεκπεραιωτικότητα σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου	32
1.4.1 Επισκόπηση της Καθυστέρησης σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου	32
1.4.2 Καθυστέρηση Ουράς και Απώλεια Πακέτου	36
1.4.3 Καθυστέρηση από-Άκρο-σε-Άκρο	38
1.4.4 Διεκπεραιωτικότητα σε Δίκτυα Υπολογιστών	40
1.5 Επίπεδα Πρωτοκόλλων και τα Μοντέλα Υπηρεσιών τους	43
1.5.1 Πολυεπίπεδη Αρχιτεκτονική	43
1.5.2 Ενθυλάκωση	48
1.6 Δίκτυα Υπό Επίθεση	49
1.7 Ιστορία της Δικτύωσης Υπολογιστών και του Διαδικτύου	53
1.7.1 Η Ανάπτυξη της Μεταγωγής Πακέτου: 1961–1972	53
1.7.2 Ιδιοσαγή Δίκτυα και Διαδικτύωση 1972–1980	55
1.7.3 Εξάπλωση των Δικτύων: 1980–1990	56
1.7.4 Η Έκρηξη του Διαδικτύου: Δεκαετία του 1990	56
1.7.5 Η Νέα Χιλιετία	57
1.8 Περίληψη	58
Οδικός Χάρτης του Βιβλίου	59
Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	60
Προβλήματα	62
Εργαστήριο Wireshark	68
Συνέντευξη: Leonard Kleinrock	70

<b>Κεφάλαιο 2 Επίπεδο Εφαρμογής</b>	<b>73</b>
2.1 Αρχές Δικτυακών Εφαρμογών	74
2.1.1 Αρχιτεκτονικές Δικτυακών Εφαρμογών	76
2.1.2 Επικοινωνία Διεργασιών	77
2.1.3 Υπηρεσίες Μεταφοράς Διαθέσιμες σε Εφαρμογές	80
2.1.4 Υπηρεσίες Μεταφοράς Παρεχόμενες απ' το Διαδίκτυο	82
2.1.5 Πρωτόκολλα Επιπέδου Εφαρμογής	85
2.1.6 Δικτυακές Εφαρμογές που Καλύπτονται σε Αυτό το Βιβλίο	86
2.2 Το Web και το HTTP	86
2.2.1 Επισκόπηση του HTTP	87
2.2.2 Μη Παραμένουσες και Παραμένουσες Συνδέσεις	89
2.2.3 Μορφές Μηνυμάτων HTTP	91
2.2.4 Αλληλεπίδραση Χρήστη-Εξυπηρετητή: Cookies	95
2.2.5 Προσωρινή Αποθήκευση Φυλλομετρητή	97
2.2.6 HTTP/2	99
2.2.7 HTTP/3 και QUIC	101
2.3 Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο στο Διαδίκτυο	105
2.3.1 SMTP	106
2.3.2 Μορφές Μηνυμάτων Ταχυδρομείου	109
2.3.3 Πρωτόκολλα Προσπέλασης Ταχυδρομείου	110
2.4 DNS – Η Υπηρεσία Καταλόγου του Διαδικτύου	111
2.4.1 Υπηρεσίες που Παρέχονται από το DNS	112
2.4.2 Επισκόπηση του Τρόπου Λειτουργίας του DNS	114
2.4.3 Εγγραφές και Μηνύματα του DNS	119
2.5 Συνεχής Ροή Βίντεο και Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου	124
2.5.1 Διαδικτυακά Βίντεο	124
2.5.2 Συνεχής Ροή μέσω HTTP και DASH	125
2.5.3 Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου	126
2.5.4 Μελέτες Περιπτώσεων: Netflix και YouTube	131
2.6 Προγραμματισμός Υποδοχών: Δημιουργία Δικτυακών Εφαρμογών	134
2.6.1 Προγραμματισμός Υποδοχών με UDP	135
2.6.2 Προγραμματισμός Υποδοχών με TCP	140
2.6.3 Προγραμματισμός Υποδοχών με QUIC	145
2.7 Περίληψη	145
Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	146
Προβλήματα	147
Ασκήσεις Προγραμματισμού Υποδοχών	153
Εργαστήρια Wireshark: HTTP, DNS	154
Εργαστήριο Wireshark: DNS	154
Συνέντευξη: Paul Mockapetris	155

<b>Κεφάλαιο 3 Επίπεδο Μεταφοράς</b>	<b>158</b>
3.1 Εισαγωγή και Υπηρεσίες Επιπέδου Μεταφοράς	159
3.1.1 Σχέση Ανάμεσα στα Επίπεδα Μεταφοράς και Δικτύου	160
3.1.2 Επισκόπηση του Επιπέδου Μεταφοράς στο Διαδίκτυο	162
3.2 Πολύπλεξη και Αποπολύπλεξη	163
3.3 Ασυνδεσμική Μεταφορά: UDP	170
3.3.1 Δομή Τμήματος UDP	173
3.3.2 Άθροισμα Ελέγχου UDP	174
3.4 Αρχές της Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων	175
3.4.1 Δημιουργία ενός Πρωτοκόλλου Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων	177
3.4.2 Πρωτόκολλα για Αξιόπιστη Μεταφορά Δεδομένων με Διοχέτευση	186
3.4.3 Οπισθοχώρηση κατά N (GBN)	188
3.4.4 Επιλεκτική Επανάληψη (SR)	192
3.5 Συνδεσμική Μεταφορά: TCP	195
3.5.1 Η Σύνδεση TCP	196
3.5.2 Δομή Τμήματος TCP	198
3.5.3 Εκτίμηση Χρόνου Διαδρομής Μετ' Επιστροφής και Λήξη Χρόνου	203
3.5.4 Αξιόπιστη Μεταφορά Δεδομένων	206
3.5.5 Έλεγχος Ροής	211
3.5.6 Διαχείριση Σύνδεσης TCP	213
3.6 Αρχές Ελέγχου Συμφόρησης	219
3.6.1 Οι Αιτίες και το Κόστος της Συμφόρησης	219
3.6.2 Από-άκρο-σε-άκρο και Υποβοηθούμενες απ' το Δίκτυο Προσεγγίσεις για τον Έλεγχο Συμφόρησης	226
3.7 Έλεγχος Συμφόρησης TCP	227
3.7.1 Κλασικός έλεγχος συμφόρησης TCP από-άκρο-σε-άκρο	227
3.7.2 Πρόσφατοι αλγόριθμοι ελέγχου συμφόρησης TCP από-άκρο-σε-άκρο	234
3.7.3 Ρητή Ειδοποίηση Συμφόρησης Υποβοηθούμενη απ' το Δίκτυο	238
3.7.4 Δικαιοσύνη	239
3.8 Εξέλιξη της Λειτουργικότητας του Επιπέδου Μεταφοράς	242
3.9 Περίληψη	245
Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	246
Προβλήματα	248
Ασκήσεις Προγραμματισμού	260
Εργαστήρια Wireshark: Εξερεύνηση TCP και UDP	260
Συνέντευξη: Van Jacobson	261

<b>Κεφάλαιο 4 Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων</b>	<b>263</b>
4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου	264
4.1.1 Προώθηση και Δρομολόγηση: Τα Επίπεδα Δεδομένων και Ελέγχου	264
4.1.2 Μοντέλο Υπηρεσιών Δικτύου	268
4.2 Τι Υπάρχει Μέσα σε έναν Δρομολογητή;	270
4.2.1 Επεξεργασία Θύρας Εισόδου και Προώθηση με Βάση τον Προορισμό	273
4.2.2 Μεταγωγή	275
4.2.3 Επεξεργασία Θύρας Εξόδου	278
4.2.4 Πού Δημιουργούνται Ουρές Αναμονής;	278
4.2.5 Χρονοπρογραμματισμός Πακέτων	283
4.3 Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP): IPv4, Διευθυνσιοδότηση, IPv6 και Άλλα	288
4.3.1 Μορφή Δεδομενογράμματος IPv4	288
4.3.2 Διευθυνσιοδότηση IPv4	291
4.3.3 Μετάφραση Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)	300
4.3.4 IPv6	303
4.4 Γενικευμένη Προώθηση και SDN	308
4.4.1 Ταίριασμα	310
4.4.2 Ενέργεια	311
4.4.3 Παραδείγματα Ταϊριάσματος και Ενέργειας του OpenFlow στην Πράξη	312
4.4.4 Ενδιάμεσα Κουτιά	314
4.5 Αρχές Αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου	315
4.6 Περίληψη	317
Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	318
Προβλήματα	320
Εργαστήριο Wireshark: IP	326
Συνέντευξη: Vinton G. Cerf	327
<b>Κεφάλαιο 5 Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Ελέγχου</b>	<b>329</b>
5.1 Εισαγωγή	330
5.2 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης	332
5.2.1 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Κατάστασης Ζεύξεων (LS)	334
5.2.2 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Διανύσματος Αποστάσεων (DV)	338
5.3 Εσωτερική Δρομολόγηση Αυτόνομου Συστήματος (AS) στο Διαδίκτυο: OSPF	345

5.4	Δρομολόγηση Μεταξύ των ISP: BGP	348
5.4.1	Ο Ρόλος του BGP	348
5.4.2	Δημοσιοποίηση Πληροφοριών Διαδρομής BGP	349
5.4.3	Προσδιορισμός των Βέλτιστων Διαδρομών	351
5.4.4	IP-Anycast	354
5.4.5	Πολιτική Δρομολόγησης	355
5.4.6	Σύνθεση των Κομματιών: Απόκτηση Παρουσίας στο Διαδίκτυο	357
5.5	Το Επίπεδο Ελέγχου SDN	359
5.5.1	Το Επίπεδο Ελέγχου SDN: Ελεγκτής SDN και Εφαρμογές SDN Ελέγχου Δικτύου	361
5.5.2	Πρωτόκολλο OpenFlow	363
5.5.3	Αλληλεπίδραση Επιπέδων Δεδομένων και Ελέγχου: Ένα Παράδειγμα	364
5.5.4	SDN: Παρελθόν και Μέλλον	368
5.6	ICMP: Το Πρωτόκολλο Μηνυμάτων Ελέγχου Διαδικτύου	369
5.7	Διαχείριση Δικτύου και SNMP, NETCONF/YANG	371
5.7.1	Πλαίσιο Διαχείρισης Δικτύου	372
5.7.2	Απλό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Δικτύου (SNMP) και Βάση Πληροφοριών Διαχείρισης (MIB)	374
5.7.3	Πρωτόκολλο Διαμόρφωσης Δικτύου (NETCONF) και YANG	377
5.8	Περίληψη	379
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	379
	Προβλήματα	380
	Άσκηση Προγραμματισμού Υποδοχών 5: ICMP Ping	384
	Άσκηση Προγραμματισμού: Δρομολόγηση	385
	Εργαστήριο Wireshark: ICMP	385
	Συνέντευξη: Jennifer Rexford	386

## **Κεφάλαιο 6 Επίπεδο Ζεύξης και Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN) 389**

6.1	Εισαγωγή στο Επίπεδο Ζεύξης	390
6.1.1	Οι Υπηρεσίες που Παρέχονται απ' το Επίπεδο Ζεύξης	391
6.1.2	Πού Υλοποιείται το Επίπεδο Ζεύξης;	393
6.2	Τεχνικές Ανίχνευσης και Διόρθωσης Σφαλμάτων	394
6.2.1	Έλεγχοι Ισοτιμίας	395
6.2.2	Μέθοδοι Αθροίσματος Ελέγχου	397
6.2.3	Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (CRC)	397
6.3	Ζεύξεις και Πρωτόκολλα Πολλαπλής Προσπέλασης	399

6.3.1	Πρωτόκολλα Διαμέρισης Καναλιού	402
6.3.2	Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης	403
6.3.3	Πρωτόκολλα Λειτουργίας εκ Περιτροπής	411
6.3.4	DOCSIS: Το Πρωτόκολλο Επιπέδου Ζεύξης για Καλωδιακή Προσπέλαση του Διαδικτύου	412
6.4	Δίκτυα Τοπικής Περιοχής Μεταγωγής	413
6.4.1	Διευθυνοδότηση Επιπέδου Ζεύξης και ARP	414
6.4.2	Ethernet	420
6.4.3	Μεταγωγείς Επιπέδου Ζεύξης	426
6.4.4	Εικονικά Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (VLAN)	431
6.5	Εικονικοποίηση Ζεύξεων: Ένα Δίκτυο ως Επίπεδο Ζεύξης	434
6.5.1	Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPLS)	435
6.5.2	VXLAN: Ethernet επάνω από IP	438
6.6	Δικτύωση Κέντρων Δεδομένων	440
6.6.1	Αρχιτεκτονικές Κέντρων Δεδομένων	440
6.6.2	Τάσεις στη Δικτύωση Κέντρων Δεδομένων	445
6.7	Ανασκόπηση: Μία Μέρα στη Ζωή μίας Αίτησης Ιστοσελίδας	447
6.7.1	Έναρξη: DHCP, UDP, IP και Ethernet	448
6.7.2	Συνέχεια Έναρξης: DNS και ARP	449
6.7.3	Περαιτέρω Συνέχεια Έναρξης: Ενδοτομεακή Δρομολόγηση προς τον Εξυπηρετητή DNS	450
6.7.4	Αλληλεπίδραση Πελάτη-Εξυπηρετητή Ιστού: TCP και HTTP	451
6.8	Περίληψη	453
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	454
	Προβλήματα	455
	Εργαστήρια Wireshark: 802.11 Ethernet	461
	Συνέντευξη: Amin Vahdat	462

## **Κεφάλαιο 7 Ασύρματα και Κινητά Δίκτυα 466**

7.1	Εισαγωγή	467
7.2	Το Φυσικό Επίπεδο στα Ασύρματα Δίκτυα	470
7.2.1	Χαρακτηριστικά των ασύρματων καναλιών	470
7.2.2	Κωδικοποίηση και διαμόρφωση: από bit σε σύμβολα σε κυματομορφές	481
7.3	Το Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης	487
7.3.1	Κοινή χρήση του ασύρματου καναλιού	488
7.3.2	WiFi: το Ασύρματο LAN 802.11	494
7.3.3	Το Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης 5G	503

7.3.4 Ανακάλυψη: σύνδεση σε ένα ασύρματο δίκτυο	511
7.3.5 Χρονοπρογραμματισμός μεταδόσεων μέσω RAN/WLAN	513
7.3.6 Ενεργειακά ζητήματα: ύπνος/αφύπνιση	517
7.4 Το Ασύρματο Δίκτυο Κορμού	520
7.4.1 Ο Κορμός 5G και οι Λειτουργίες Δικτύου	521
7.4.2 Λειτουργία Επιπέδου Χρήστη	524
7.4.3 Ταυτότητα χρήστη, εγγραφή και εγκαθίδρυση συνεδρίας	526
7.5 Κινητικότητα	528
7.5.1 Αρχές Κινητικότητας	529
7.5.2 Κινητικότητα σε δίκτυο WiFi	531
7.5.3 Κινητικότητα σε δίκτυο 5G	532
7.5.4 Κινητικότητα στο Διαδίκτυο	535
7.6 Ασύρματα δίκτυα Bluetooth, Δορυφορικά και IoT	536
7.6.1 Δίκτυα Bluetooth	536
7.6.2 Δορυφορικά Δίκτυα	540
7.6.3 Δίκτυα Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)	543
7.7 Περίληψη	545
Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	546
Προβλήματα	548
Άσκηση Προγραμματισμού: Υλοποίηση ενός χρονοπρογραμματιστή 4G/5G RAN	554
Εργαστήρια Wireshark: WiFi και 4G/5G	554
Συνέντευξη: Deborah Estrin	555

## **Κεφάλαιο 8 Ασφάλεια σε Δίκτυα Υπολογιστών 557**

8.1 Τι Σημαίνει Ασφάλεια Δικτύων;	558
8.2 Αρχές της Κρυπτογραφίας	560
8.2.1 Κρυπτογραφία Συμμετρικού Κλειδιού	561
8.2.2 Κρυπτογραφία Δημόσιου Κλειδιού	567
8.3 Ακεραιότητα Μηνύματος και Ψηφιακές Υπογραφές	573
8.3.1 Κρυπτογραφικές Συναρτήσεις Κατακερματισμού	574
8.3.2 Κώδικας Αυθεντικοποίησης Μηνύματος	576
8.3.3 Ψηφιακές Υπογραφές	577
8.4 Αυθεντικοποίηση Τερματικού Σημείου	583
8.5 Ασφάλιση E-Mail	586
8.5.1 Ασφαλές E-Mail	587
8.5.2 PGP	590
8.6 Ασφάλιση Συνδέσεων TCP και HTTP: TLS	591
8.6.1 Η Μεγάλη Εικόνα	592

8.6.2	Μία Πληρέστερη Εικόνα: TLS 1.3	595
8.7	Ασφάλεια Επιπέδου Δικτύου: IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα	598
8.7.1	IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (VPN)	598
8.7.2	Τα Πρωτόκολλα AH και ESP	600
8.7.3	Συσχετίσεις Ασφάλειας	600
8.7.4	Το Δεδομενόγραμμα IPsec	601
8.7.5	IKE: Διαχείριση Κλειδιών στο IPsec	604
8.8	Ασφάλιση Ασύρματων LAN και Κυψελοειδών Δικτύων 4G/5G	605
8.8.1	Αυθεντικοποίηση και Συμφωνία Κλειδιών σε Ασύρματα LAN 802.11	606
8.8.2	Αυθεντικοποίηση και Συμφωνία Κλειδιών σε Κυψελοειδή Δίκτυα 5G	611
8.9	Επιχειρησιακή Ασφάλεια: Τείχη Προστασίας και Συστήματα Ανίχνευσης Εισβολών	614
8.9.1	Τείχη Προστασίας	614
8.9.2	Συστήματα Ανίχνευσης Εισβολών	621
8.10	Περίληψη	624
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	625
	Προβλήματα	627
	Εργαστήριο Wireshark: TLS	632
	Εργαστήριο IPsec	632
	Συνέντευξη: Lorrie Faith Cranor	633

<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>635</b>
---------------------	------------

<b>Ευρετήριο</b>	<b>677</b>
------------------	------------