

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

- P. Nicopolitidis
- M. S. Obaidat
- G. I. Papadimitriou
- A. S. Pomportsis

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	15
1 Εισαγωγή στα ασύρματα δίκτυα.....	19
1.1 Εξέλιξη των ασύρματων δικτύων.....	20
1.1.1 Πρώιμη κινητή τηλεφωνία.....	21
1.1.2 Αναλογική κυψελική τηλεφωνία	22
1.1.3 Ψηφιακή κυψελική τηλεφωνία.....	24
1.1.4 Ασύρματα τηλέφωνα.....	27
1.1.5 Ασύρματα συστήματα μεταφοράς δεδομένων	29
1.1.6 Σταθερές ασύρματες συνδέσεις.....	33
1.1.7 Δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών	34
1.1.8 Κυψελικά συστήματα τρίτης γενιάς και πέρα.....	35
1.2 Προκλήσεις	36
1.2.1 Αναξιοπιστία του ασύρματου μέσου μετάδοσης.....	36
1.2.2 Χρήση φάσματος.....	37
1.2.3 Διαχείριση ισχύος.....	37
1.2.4 Ασφάλεια	38
1.2.5 Εντοπισμός και δρομολόγηση.....	38
1.2.6 Διασύνδεση με ενσύρματα δίκτυα	38
1.2.7 Θέματα υγείας	38
1.3 Επισκόπηση του βιβλίου	39
1.3.1 Κεφάλαιο 2: Βασικές αρχές ασύρματων επικοινωνιών.....	39
1.3.2 Κεφάλαιο 3: Κυψελικά συστήματα πρώτης γενιάς (1G)	41
1.3.3 Κεφάλαιο 4: Κυψελικά συστήματα δεύτερης γενιάς (2G)	42
1.3.4 Κεφάλαιο 5: Κυψελικά συστήματα τρίτης γενιάς (3G)	43
1.3.5 Κεφάλαιο 6: Μελλοντικές προοπτικές: συστήματα τέταρτης γενιάς (4G) και πέρα.....	44
1.3.6 Κεφάλαιο 7: Δορυφορικά δίκτυα.....	45
1.3.7 Κεφάλαιο 8: Συστήματα σταθερής ασύρματης πρόσβασης.....	46

1.3.8	Κεφάλαιο 9: Ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	46
1.3.9	Κεφάλαιο 10: Ασύρματο ΑΤΜ και δρομολόγηση σε αδόμητα δίκτυα	47
1.3.10	Κεφάλαιο 11: Δίκτυα προσωπικής περιοχής	48
1.3.11	Κεφάλαιο 12: Ζητήματα ασφάλειας στα ασύρματα συστήματα.....	49
1.3.12	Κεφάλαιο 13: Προσομοίωση ασύρματων δικτυακών συστημάτων.....	50
1.3.13	Κεφάλαιο 14: Οικονομικά ζητήματα ασύρματων δικτύων	50
	Πηγές στο Διαδίκτυο	51
	Αναφορές	51
2	Βασικές αρχές ασύρματων επικοινωνιών.....	53
2.1	Εισαγωγή.....	53
2.1.1	Δομή του κεφαλαίου.....	55
2.2	Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	55
2.2.1	Οι περιοχές του φάσματος και οι ιδιότητές τους.....	57
2.2.2	Διαχείριση φάσματος.....	60
2.3	Χαρακτηριστικά και μοντελοποίηση της ασύρματης διάδοσης	63
2.3.1	Η φυσική της διάδοσης.....	63
2.3.2	Μοντελοποίηση ασύρματης διάδοσης.....	67
2.3.3	Μοντελοποίηση του ρυθμού εμφάνισης σφαλμάτων δυναδικών ψηφίων σε ασύρματα κανάλια.....	73
2.4	Μετάδοση αναλογικών και ψηφιακών δεδομένων	74
2.4.1	Κωδικοποίηση φωνής	77
2.5	Τεχνικές διαμόρφωσης σε ασύρματα συστήματα	81
2.5.1	Διαμόρφωση αναλογικών δεδομένων.....	81
2.5.2	Διαμόρφωση ψηφιακών πληροφοριών.....	85
2.6	Μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης σε ασύρματα συστήματα	90
2.6.1	Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)	91
2.6.2	Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA)	92
2.6.3	Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)	95
2.6.4	Τα πρωτόκολλα ALOHA και CSMA.....	97
2.6.5	Πρωτόκολλα βολιδοσκόπησης.....	100
2.7	Τεχνικές αύξησης απόδοσης σε ασύρματα δίκτυα.....	108
2.7.1	Τεχνικές διαφορισμού.....	109
2.7.2	Κωδικοποίηση.....	113
2.7.3	Εξίσωση	118
2.7.4	Έλεγχος ισχύος.....	119
2.7.5	Πολυκαναλική διαμόρφωση	120
2.8	Η έννοια της κυψελικής αρχιτεκτονικής.....	121
2.8.1	Θέματα κινητότητας: διαχείριση θέσης και μεταπομπή.....	125
2.9	Αδόμητα και ημιαδόμητα δίκτυα	126
2.9.1	Προσδιορισμός τοπολογίας	128
2.9.2	Διατήρηση συνεκτικότητας	129
2.9.3	Δρομολόγηση πακέτων	130
2.9.4	Ημιαδόμητα δίκτυα.....	131
2.10	Ασύρματες υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων	132
2.10.1	Μεταγωγή κυκλώματος.....	132
2.10.2	Μεταγωγή πακέτων	133
2.11	Σχήματα εκπομπής δεδομένων.....	134
2.11.1	Συστήματα έλξης και υβριδικά συστήματα.....	136

2.11.2	Συστήματα προώθησης.....	136
2.11.3	Το προσαρμοστικό σύστημα εκπομπής μέσω προώθησης.....	138
2.12	Επισκόπηση των βασικών τεχνικών και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων επιπέδων ενός δικτύου	138
2.13	Σύνοψη	141
	Πηγές στο Διαδίκτυο	142
	Αναφορές	142
	Πρόσθετη βιβλιογραφία.....	144
3	Κυψελικά συστήματα πρώτης γενιάς (1G)	145
3.1	Εισαγωγή.....	145
3.1.1	Αναλογικά κυψελικά συστήματα.....	146
3.1.2	Δομή του κεφαλαίου	148
3.2	Το σύστημα AMPS	148
3.2.1	Κατανομή συχνοτήτων στο σύστημα AMPS.....	148
3.2.2	Κανάλια AMPS.....	149
3.2.3	Λειτουργίες δικτύου	151
3.3	Το σύστημα NMT	154
3.3.1	Αρχιτεκτονική του συστήματος NMT.....	154
3.3.2	Κατανομή συχνοτήτων στο σύστημα NMT.....	156
3.3.3	Κανάλια NMT	156
3.3.4	Λειτουργίες δικτύου: διαχείριση κινητότητας	157
3.3.5	Άλλες λειτουργίες δικτύου.....	160
3.3.6	Ασφάλεια στο σύστημα NMT.....	161
3.4	Σύνοψη	163
	Πηγές στο Διαδίκτυο	164
	Αναφορές	164
4	Κυψελικά συστήματα δεύτερης γενιάς (2G).....	165
4.1	Εισαγωγή.....	165
4.1.1	Δομή του κεφαλαίου.....	168
4.2	Το πρότυπο D-AMPS.....	169
4.2.1	Κωδικοποίηση φωνής	170
4.2.2	Χαρακτηριστικά ραδιομετάδοσης	170
4.2.3	Κανάλια.....	172
4.2.4	Το πρότυπο IS-136	172
4.3	Το πρότυπο cdmaOne (IS-95).....	173
4.3.1	Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων του cdmaOne	174
4.3.2	Αρχιτεκτονική δικτύου — ραδιοεκπομπή.....	174
4.3.3	Κανάλια.....	176
4.3.4	Λειτουργίες δικτύου	178
4.4	Το πρότυπο GSM	179
4.4.1	Αρχιτεκτονική δικτύου.....	181
4.4.2	Κωδικοποίηση φωνής	185
4.4.3	Χαρακτηριστικά ραδιομετάδοσης	185
4.4.4	Κανάλια.....	190
4.4.5	Λειτουργίες δικτύου	191
4.4.6	Πιστοποίηση και ασφάλεια στο σύστημα GSM.....	195

4.5	Το πρότυπο IS-41	195
4.5.1	Αρχιτεκτονική δικτύου	196
4.5.2	Μεταπομπή μεταξύ συστημάτων	197
4.5.3	Αυτόματη περιαγωγή	199
4.6	Λειτουργίες μεταφοράς δεδομένων	200
4.6.1	Η υπηρεσία CDPD	200
4.6.2	Το πρότυπο HSCSD	202
4.6.3	Το πρότυπο GPRS	203
4.6.4	Το πρότυπο D-AMPS+	205
4.6.5	Το πρότυπο cdmaTwo (IS-95b)	205
4.6.6	Χρήση του πρωτοκόλλου TCP/IP με το IP Κινητής Τηλεφωνίας ασύρματων δικτύων	206
4.6.7	Πρωτόκολλο Ασύρματης Πρόσβασης (WAP)	209
4.7	Ασύρματη τηλεφωνία	209
4.7.1	Αναλογική ασύρματη τηλεφωνία	210
4.7.2	Ψηφιακή ασύρματη τηλεφωνία	210
4.7.3	Το πρότυπο DECT	211
4.7.4	Το πρότυπο PHS	215
4.8	Σύνοψη	215
	Πηγές στο Διαδίκτυο	217
	Αναφορές	217
5	Κυψελικά συστήματα τρίτης γενιάς (3G)	219
5.1	Εισαγωγή	219
5.1.1	Θέματα σχετικά με την ανάπτυξη των δικτύων τρίτης γενιάς	222
5.1.2	Δομή του κεφαλαίου	223
5.2	Κατανομή φάσματος στα δίκτυα τρίτης γενιάς	224
5.2.1	Ανάγκες σε φάσμα	224
5.2.2	Προηγμένες τεχνολογίες	227
5.3	Κατηγορίες υπηρεσιών και εφαρμογές σε δίκτυα τρίτης γενιάς	229
5.3.1	Κατηγορίες υπηρεσιών σε δίκτυα τρίτης γενιάς	230
5.3.2	Εφαρμογές σε δίκτυα τρίτης γενιάς	231
5.4	Πρότυπα τρίτης γενιάς	232
5.4.1	Διαδικασίες προτυποποίησης: IMT-2000	232
5.4.2	Πρότυπα ραδιοπρόσβασης	233
5.4.3	Εξέλιξη του σταθερού τμήματος του δικτύου	261
5.5	Σύνοψη	264
	Πηγές στο Διαδίκτυο	265
	Αναφορές	266
	Πρόσθετη βιβλιογραφία	267
6	Μελλοντικές προοπτικές: συστήματα τέταρτης γενιάς (4G) και πέρα	269
6.1	Εισαγωγή	269
6.1.1	Δομή του κεφαλαίου	270
6.2	Σχεδιαστικοί στόχοι και σχετικά ερευνητικά ζητήματα για τα συστήματα τέταρτης γενιάς και πέρα	271
6.2.1	Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας	274
6.3	Υπηρεσίες και εφαρμογές τέταρτης γενιάς	278

6.4	Η πρόκληση της πρόβλεψης του μέλλοντος των ασύρματων δικτύων.....	279
6.4.1	Τα σενάρια ως προβλέψεις του μέλλοντος.....	280
6.4.2	Οι μελλοντικές τάσεις για τα ασύρματα δίκτυα.....	280
6.4.3	Σενάριο 1: Σημαντική αποδοχή των τηλεπικοινωνιών.....	281
6.4.4	Σενάριο 2: Μεγάλος Αδελφός.....	283
6.4.5	Σενάριο 3: Υπολογιστές τσέπης.....	284
6.5	Σύνοψη.....	285
	Πηγές στο Διαδίκτυο.....	285
	Αναφορές.....	286
7	Δορυφορικά δίκτυα	287
7.1	Εισαγωγή.....	287
7.1.1	Ιστορική ανασκόπηση.....	287
7.1.2	Χαρακτηριστικά δορυφορικών επικοινωνιών.....	289
7.1.3	Ζητήματα φάσματος.....	290
7.1.4	Εφαρμογές των δορυφορικών επικοινωνιών.....	291
7.1.5	Δομή του κεφαλαίου.....	292
7.2	Δορυφορικά συστήματα.....	292
7.2.1	Χαμηλή τροχιά (Low Earth Orbit, LEO).....	293
7.2.2	Μέση τροχιά (Medium Earth Orbit, MEO).....	295
7.2.3	Γεωσύγχρονη τροχιά (Geosynchronous Earth Orbit, GEO).....	296
7.2.4	Ελλειπτικές τροχιές.....	298
7.3	Τερματικά πολύ μικρού ανοίγματος (VSAT).....	300
7.4	Παραδείγματα δορυφορικών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας	302
7.4.1	Το σύστημα Iridium.....	303
7.4.2	Το σύστημα Globalstar	309
7.5	Δορυφορική πρόσβαση στο Διαδίκτυο	312
7.5.1	Αρχιτεκτονικές.....	312
7.5.2	Ζητήματα δρομολόγησης	314
7.5.3	Βελτιώσεις στο πρωτόκολλο TCP.....	316
7.6	Σύνοψη.....	318
	Πηγές στο Διαδίκτυο	319
	Αναφορές.....	319
	Πρόσθετη βιβλιογραφία.....	320
8	Συστήματα σταθερής ασύρματης πρόσβασης	321
8.1	Σύγκριση ασύρματου τοπικού βρόχου και ενσύρματης πρόσβασης	321
8.2	Ασύρματος τοπικός βρόχος.....	324
8.2.1	Πολυκάναλη κατανεμημένη υπηρεσία πολλαπλών σημείων (MMDS)	325
8.2.2	Τοπική κατανεμημένη υπηρεσία πολλαπλών σημείων (LMDS)	326
8.3	Τερματικά συνδρομητών ασύρματου τοπικού βρόχου σταθερής ασύρματης πρόσβασης	327
8.4	Διασυνδέσεις του ασύρματου τοπικού βρόχου στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής	328
8.5	Τα πρότυπα IEEE 802.16	329
8.6	Σύνοψη.....	333
	Αναφορές.....	334

9	Ασύρματα τοπικά δίκτυα	335
9.1	Εισαγωγή	335
9.1.1	Οφέλη των ασύρματων τοπικών δικτύων	337
9.1.2	Εφαρμογές ασύρματων τοπικών δικτύων	337
9.1.3	Ζητήματα που αφορούν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα	338
9.1.4	Δομή του κεφαλαίου	341
9.2	Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων	342
9.3	Απαιτήσεις ασύρματων τοπικών δικτύων	345
9.4	Το φυσικό επίπεδο	347
9.4.1	Το φυσικό επίπεδο υπερύθρων	347
9.4.2	Εναλλακτικές λύσεις για το φυσικό επίπεδο που βασίζονται στα μικροκύματα	350
9.5	Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC)	361
9.5.1	Το υποεπίπεδο MAC του προτύπου HIPERLAN 1	362
9.5.2	Το υποεπίπεδο MAC του πρωτοκόλλου IEEE 802.11	367
9.6	Τελευταίες εξελίξεις	376
9.6.1	Το πρότυπο 802.11a	376
9.6.2	Το πρότυπο 802.11b	377
9.6.3	Το πρότυπο 802.11g	378
9.6.4	Άλλες τρέχουσες δραστηριότητες της ομάδας εργασίας 802.11	379
9.7	Σύνοψη	380
	Πηγές στο Διαδίκτυο	382
	Αναφορές	382
	Πρόσθετη βιβλιογραφία	383
10	Ασύρματο ATM και δρομολόγηση σε αδόμητα δίκτυα	385
10.1	Εισαγωγή	385
10.1.1	Ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς (ATM)	386
10.1.2	Ασύρματο ATM	388
10.1.3	Δομή του κεφαλαίου	389
10.2	Αρχιτεκτονική του ασύρματου ATM	390
10.2.1	Το επίπεδο ασύρματης πρόσβασης	390
10.2.2	ATM κινητής τηλεφωνίας	393
10.3	HIPERLAN 2: ένα δίκτυο WLAN συμβατό με ATM	395
10.3.1	Αρχιτεκτονική δικτύου	395
10.3.2	Η στοιβή πρωτοκόλλων του HIPERLAN 2	397
10.4	Δρομολόγηση σε αδόμητα ασύρματα δίκτυα	405
10.4.1	Πρωτόκολλα δρομολόγησης που βασίζονται σε πίνακες	406
10.4.2	Πρωτόκολλα δρομολόγησης κατ' απαίτηση	410
10.5	Σύνοψη	416
	Πηγές στο Διαδίκτυο	417
	Αναφορές	417
11	Δίκτυα προσωπικής περιοχής	419
11.1	Εισαγωγή στις τεχνολογίες και εφαρμογές των προσωπικών δικτύων	419
11.1.1	Ιστορική ανασκόπηση	419
11.1.2	Ζητήματα των δικτύων προσωπικής περιοχής	422
11.1.3	Εφαρμογές δικτύων PAN	424

11.1.4	Δομή του κεφαλαίου	425
11.2	Εμπορικές εναλλακτικές λύσεις: δίκτυα Bluetooth	425
11.2.1	Οι προδιαγραφές του προτύπου Bluetooth	425
11.2.2	Το κανάλι ραδιοεπικοινωνίας του προτύπου Bluetooth.....	429
11.2.3	Μικροδίκτυα (Piconets) και δίκτυα διασποράς (Scatternets).....	430
11.2.4	Αναζήτηση, ειδοποίηση, και δημιουργία σύνδεσης	433
11.2.5	Μορφή πακέτου	434
11.2.6	Τύποι συνδέσεων.....	436
11.2.7	Διαχείριση ενέργειας	439
11.2.8	Ασφάλεια	440
11.3	Εμπορικές εναλλακτικές λύσεις: δίκτυα HomeRF.....	442
11.3.1	Η τοπολογία του προτύπου HomeRF.....	442
11.3.2	Το φυσικό επίπεδο του προτύπου HomeRF	445
11.3.3	Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο του προτύπου HomeRF	446
11.4	Σύνοψη	452
	Πηγές στο Διαδίκτυο	454
	Αναφορές	454
	Πρόσθετη βιβλιογραφία.....	455
12	Ζητήματα ασφάλειας στα ασύρματα συστήματα.....	457
12.1	Η ανάγκη για ασφάλεια στα ασύρματα δίκτυα	458
12.2	Επιθέσεις σε ασύρματα δίκτυα.....	458
12.3	Υπηρεσίες ασφάλειας.....	462
12.4	Πρωτόκολλο ασφάλειας αντίστοιχης με των ενσύρματων μέσων (WEP).....	463
12.5	IP Κινητής Τηλεφωνίας.....	466
12.6	Αδυναμίες του μοντέλου WEP.....	468
12.7	Εικονικό ιδιωτικό δίκτυο (VPN).....	470
12.7.1	Πρωτόκολλο σήραγγας σημείου-προς-σημείο (PPTP)	471
12.7.2	Πρωτόκολλο μεταφοράς επιπέδου 2 (L2TP)	472
12.7.3	Ασφαλές πρωτόκολλο Διαδικτύου (IPSec).....	472
12.8	Σύνοψη	473
	Αναφορές	474
13	Προσομοίωση ασύρματων δικτυακών συστημάτων.....	477
13.1	Βασικά στοιχεία της προσομοίωσης διακριτών συμβάντων.....	477
13.1.1	Μοντελοποίηση υποσυστημάτων	481
13.1.2	Εκτίμηση των μεταβλητών και των παραμέτρων.....	481
13.1.3	Επιλογή περιβάλλοντος προγραμματισμού	481
13.1.4	Επαλήθευση και επικύρωση	482
13.1.5	Εφαρμογές και πειραματισμός.....	482
13.2	Μοντέλα προσομοίωσης	483
13.3	Συνηθισμένες κατανομές πιθανοτήτων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση	486
13.4	Παραγωγή τυχαίων αριθμών	490
13.4.1	Γεννήτριες γραμμικής σύγκλισης	491
13.4.2	Μέθοδος μέσου τετραγώνου	491
13.4.3	Μέθοδος Tausworthe	492
13.4.4	Εκτεταμένη μέθοδος Fibonacci.....	492

13.5	Έλεγχος γεννητριών τυχαίων αριθμών	493
13.6	Παραγωγή τυχαίων παρατηρήσεων	495
13.6.1	Η τεχνική του αντίστροφου μετασχηματισμού	495
13.6.2	Μέθοδος της απόρριψης.....	496
13.6.3	Τεχνική της σύνθεσης.....	497
13.6.4	Τεχνική της συνέλιξης.....	497
13.6.5	Τεχνική του χαρακτηρισμού.....	498
13.7	Μελέτη περιπτώσεων	498
13.7.1	Παράδειγμα 1: Αξιολόγηση απόδοσης δικτύου WLAN IEEE 802.11 με τη χρήση προσομοίωσης.....	498
13.7.2	Παράδειγμα 2: Ανάλυση προσομοίωσης ποιότητας υπηρεσιών (QoS) σε δίκτυα WLAN IEEE 802.11.....	502
13.7.3	Παράδειγμα 3: Σύγκριση μέσω προσομοίωσης των πρωτοκόλλων TRAP και RAP.....	511
13.7.4	Παράδειγμα 4: Μοντελοποίηση μέσω προσομοίωσης του πρωτοκόλλου εκπομπής τοπολογίας με βάση αντίστροφη προώθηση διαδρομής (TBRPF) με χρήση μοντέλου MANET βασισμένου σε ασύρματο δίκτυο 802.11 [27].....	515
13.8	Σύνοψη	525
	Αναφορές	525
14	Οικονομικά ζητήματα ασύρματων δικτύων	527
14.1	Εισαγωγή.....	527
14.1.1	Δομή του κεφαλαίου.....	528
14.2	Οικονομικά οφέλη των ασύρματων δικτύων	529
14.3	Τα μεταβαλλόμενα οικονομικά στοιχεία της βιομηχανίας των ασύρματων τηλεπικοινωνιών	529
14.3.1	Κατασκευαστές τερματικών.....	530
14.3.2	Ο ρόλος των κυβερνήσεων.....	531
14.3.3	Κατασκευαστές υποδομής.....	532
14.3.4	Φορείς παροχής κινητής τηλεφωνίας	532
14.4	Προγνώσεις για τη μεταφορά δεδομένων μέσω ασύρματων δικτύων	534
14.4.1	Εφαρμογές μεγάλων δυνατοτήτων.....	535
14.4.2	Εναλλακτικές τεχνολογίες και τα οικονομικά τους στοιχεία	536
14.5	Ζητήματα χρέωσης.....	537
14.5.1	Χρεώσεις κινητότητας.....	538
14.5.2	Χρεώσεις περιαγωγής.....	540
14.5.3	Συμβόλαια έναντι προπληρωμένου χρόνου	540
14.5.4	Χρέωση.....	542
14.6	Σύνοψη	547
	Αναφορές	547
	Πρόσθετη βιβλιογραφία.....	547
	Λεξικό όρων.....	549
	Ευρετήριο.....	561

Ασύρματα τοπικά δίκτυα

9.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLAN) άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και πυροδοτήθηκε από την απόφαση της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (Federal Communications Committee, FCC) των ΗΠΑ να εγκρίνει τη δημόσια χρήση των αποκαλούμενων βιομηχανικών, επιστημονικών, και ιατρικών ζωνών συχνοτήτων (Industrial, Scientific and Medical [ISM] bands). Μετά από αυτή την απόφαση, οι επιχειρήσεις και οι τελικοί χρήστες δεν χρειαζόταν να λαμβάνουν πλέον άδεια από την FCC για να ενεργοποιούν τα ασύρματα προϊόντα τους. Από τότε έχει υπάρξει μια ουσιαστική ανάπτυξη στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN). Ωστόσο, η έλλειψη προτύπων επέτρεψε την εμφάνιση πολλών ανεξάρτητων λύσεων, διαιρώντας έτσι την αγορά σε αρκετά (και συχνά ασύμβατα) τμήματα. Έτσι έγινε επιτακτική η ανάγκη για προτυποποίηση στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων.

Η πρώτη προσπάθεια καθορισμού σχετικών προτύπων έγινε προς το τέλος της δεκαετίας του 1980 από την ομάδα εργασίας IEEE 802.4, η οποία ήταν αρμόδια για την ανάπτυξη της μεθόδου προσπέλασης διαύλου με μεταβίβαση σκυτάλης (token passing). Η ομάδα αποφάσισε ότι η συγκεκριμένη μέθοδος ήταν ανεπαρκής για τον έλεγχο ενός ασύρματου δικτύου και πρότεινε την ανάπτυξη εναλλακτικών προτύπων. Έτσι, η εκτελεστική επιτροπή του Προγράμματος 802 αποφάσισε να ιδρύσει την ομάδα εργασίας IEEE 802.11, η οποία και είναι από τότε αρμόδια για τον καθορισμό προτύπων που σχετίζονται με το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control, MAC) των ασύρματων τοπικών δικτύων. Το πρώτο πρότυπο 802.11 οριστικοποιήθηκε το 1997 και αναπτύχθηκε αφού ελήφθησαν υπόψη υπάρχουσες ερευνητικές προσπάθειες και σχετικά προϊόντα της αγοράς, σε μια προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τόσο τα τεχνικά ζητήματα όσο και ζητήματα που αφορούσαν τις αγορές. Πρόσφερε ρυθμό μετάδοσης δεδομέ-

νων μέχρι 2 Mbps με τη χρήση διαμόρφωσης φάσματος στις ζώνες συχνοτήτων ISM. Το Σεπτέμβριο του 1999, εγκρίθηκαν από την επιτροπή προτύπων του IEEE δύο συμπληρωματικά πρότυπα. Τα πρώτο από αυτά, το 802.11b, επεκτείνει την απόδοση του υπάρχοντος φυσικού επιπέδου των 2,4 GHz, με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 11 Mbps. Το δεύτερο συμπληρωματικό πρότυπο, το 802.11a, στοχεύει στην παροχή ακόμη υψηλότερων ταχυτήτων (από 20 μέχρι 54 Mbps) στη ζώνη των 5 GHz. Η οικογένεια των προτύπων 802.11 παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.1.

Εκτός από το πρότυπο IEEE 802.11, αναπτύχθηκε από την ομάδα RES 10 του Ευρωπαϊκού Ιδρύματος Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) και ένα άλλο πρότυπο για WLAN, το ασύρματο τοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης (High Performance Radio LAN, HIPERLAN) ως το πανευρωπαϊκό πρότυπο για δίκτυα WLAN υψηλής ταχύτητας. Το πρότυπο HIPERLAN 1, όπως και το 802.11, καλύπτει το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC, παρέχοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μεταξύ 2 και 25 Mbps με χρήση των παραδοσιακών τεχνικών ασύρματης διαμόρφωσης στη ζώνη συχνοτήτων των 5,2 GHz. Με την ολοκλήρωση του προτύπου HIPERLAN 1, το ίδρυμα ETSI αποφάσισε να συγχωνεύσει τις εργασίες για τον ασύρματο τοπικό βρόχο (Radio Local Loop) και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Radio LAN) μέσω του προγράμματος για τα ευρυζωνικά ραδιοδίκτυα πρόσβασης (BRAN). Αυτό το πρόγραμμα στοχεύει στον καθορισμό προτύπων για ασύρματο ATM (HIPERLAN 2, 3, 4). Η οικογένεια προτύπων HIPERLAN παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.2.

	802.11	802.11a	802. 11b
Εφαρμογή	WLAN	WLAN	WLAN
Ζώνη συχνοτήτων	2,4 GHz	2,4 GHz	5 GHz
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	2 Mbps	54 Mbps	11 Mbps

Σχήμα 9.1 Η οικογένεια προτύπων IEEE 802.11.

	HIPERLAN 1	HIPERLAN 2	HIPERLAN 3	HIPERLAN 4
Εφαρμογή	WLAN	WATM Εσωτερική πρόσβαση	Σταθερή ασύρματη πρόσβαση — απομακρυσμένη πρόσβαση WATM	Ασύρματες συνδέσεις σημείου προς σημείο — διασύνδεση WATM
Ζώνη συχνοτήτων	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
Μέγ. ρυθμός μετάδοσης	23,5 Mbps	20 Mbps	20 Mbps	155 Mbps

Σχήμα 9.2 Η οικογένεια προτύπων ETSI HIPERLAN

9.1.1 Οφέλη των ασύρματων τοπικών δικτύων

Η συνεχής ανάπτυξη στον τομέα των ασύρματων τοπικών δικτύων μπορεί να αποδοθεί ως ένα βαθμό στην ανάγκη να υποστηριχθούν δικτυακές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας. Πολλές εργασίες απαιτούν σήμερα από τους ανθρώπους να μετακινούνται και να χρησιμοποιούν κάποια κινητή συσκευή, όπως ένα φορητό υπολογιστή παλάμης με τον οποίο ανταλλάσσονται πληροφορίες με συσκευές άλλων χρηστών ή κάποιον κεντρικό υπολογιστή. Παραδείγματα τέτοιων επαγγελματιών αποτελούν οι εργαζόμενοι στις υγειονομικές υπηρεσίες, οι αστυνομικοί, και οι γιατροί. Τα ενσύρματα δίκτυα απαιτούν φυσική σύνδεση μεταξύ των μερών που επικοινωνούν μεταξύ τους, γεγονός που θέτει μεγάλες δυσκολίες στη χρήση κατάλληλου και πρακτικού εξοπλισμού. Κατά συνέπεια, η τεχνολογία WLAN εμφανίζεται ως η κατάλληλη επιλογή για τέτοιες εφαρμογές.

Ένα άλλο όφελος της χρήσης της τεχνολογίας WLAN είναι η μείωση της απαιτούμενης υποδομής και των λειτουργικών δαπανών. Ένα δίκτυο WLAN δεν χρειάζεται καμία καλωδιακή υποδομή, μειώνοντας έτσι σημαντικά το συνολικό κόστος του συστήματος. Επιπλέον, σε καταστάσεις όπου η εγκατάσταση καλωδίωσης είναι ακριβή ή αδύνατη (π.χ., ιστορικά κτίρια, μνημεία, ή το πεδίο μάχης) τα ασύρματα τοπικά δίκτυα εμφανίζονται να είναι τα μόνα εφικτά μέσα για να υπάρξει δικτύωση. Η έλλειψη καλωδίωσης σημαίνει επίσης μείωση του χρόνου εγκατάστασης, γεγονός που μειώνει ακόμη περισσότερο το συνολικό κόστος του δικτύου.

Ένα γεγονός που είναι κοινό σε όλα τα ενσύρματα δίκτυα είναι τα προβλήματα που προκύπτουν από ελαττώματα των καλωδίων. Τα ελαττώματα αυτά ευθύνονται για τις περισσότερες βλάβες στη λειτουργία των ενσύρματων δικτύων. Η υγρασία που προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών αγωγών και τα τυχαία σπασίματα των καλωδίων είναι δυνατό να θέσουν ένα ενσύρματο δίκτυο εκτός λειτουργίας. Επομένως, η χρήση ασύρματων τοπικών δικτύων βοηθά στην ελάττωση του χρονικού διαστήματος κατά τον οποίο το δίκτυο βρίσκεται εκτός λειτουργίας και εξαλείφει τις δαπάνες που συνδέονται με την αντικατάσταση καλωδίων.

9.1.2 Εφαρμογές ασύρματων τοπικών δικτύων

Οι τέσσερις σημαντικότεροι τομείς εφαρμογών των δικτύων WLAN [1] είναι η επέκταση ενός υπάρχοντος τοπικού δικτύου, η διασύνδεση κτιρίων, η «νομαδική» πρόσβαση, και η απευθείας δικτύωση κινητών συσκευών. Στις ενότητες που ακολουθούν εξετάζεται με συντομία καθένας από αυτούς τους τομείς.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα πρώτα προϊόντα WLAN είχαν στόχο να αντικαταστήσουν τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο μειώνει τις δαπάνες εγκατάστασης με τη χρήση λιγότερων καλωδίων απ' ό,τι ένα ενσύρματο τοπικό δίκτυο. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας μετάδοσης δεδομένων, οι επιχειρήσεις εξακολουθούν να βασίζονται σε ενσύρματα τοπικά δίκτυα, ειδικά σε εκείνα που χρησιμοποιούν καλώδια αθωράκιστου συνεστραμμένου ζεύγους (UTP) κατηγορίας 3. Τα περισσότερα υπάρχοντα κτίρια είναι ήδη εφοδιασμένα με αυτόν τον τύπο καλωδίωσης, και τα νέα κτίρια σχεδιάζονται με δεδομένη την ανάγκη για υποστήριξη εφαρμογών μετάδοσης δεδομένων, οπότε και καλωδιώνονται από την αρχή με αυτόν το τρόπο.

Έτσι, παρά το γεγονός ότι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα δεν ήταν στην πραγματικότητα ικανά να αντικαταστήσουν τα αντίστοιχα ενσύρματα δίκτυα, αποδείχθηκαν κατάλληλα για τις περιπτώσεις που χρειαζόταν μια ευέλικτη επέκταση της υπάρχουσας δικτυακής υποδομής. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αποτελούν οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι αποθήκες εμπορευμάτων, κ.λπ. Οι περισσότεροι από αυτούς τους χώρους διαθέτουν ήδη εγκατεστημένο κάποιο ενσύρματο τοπικό δίκτυο για την υποστήριξη κεντρικών υπολογιστών και σταθερών τερματικών σταθμών. Για παράδειγμα, μια βιομηχανική εγκατάσταση έχει συνήθως έναν εργοστασιακό χώρο όπου δεν υπάρχει καλωδίωση, και ο οποίος πρέπει να συνδεθεί με τους χώρους των γραφείων. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα δίκτυο WLAN για τη σύνδεση των συσκευών που λειτουργούν στη μη καλωδιωμένη περιοχή με το υπάρχον ενσύρματο δίκτυο της εγκατάστασης. Αυτός ο τομέας εφαρμογής των WLAN αναφέρεται και ως επέκταση τοπικού ενσύρματου δικτύου.

Ένα άλλο πεδίο εφαρμογής των ασύρματων τοπικών δικτύων είναι η «νομαδική» πρόσβαση, η οποία παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα μεταξύ ενός φορητού τερματικού και ενός κομβικού σημείου (hub) τοπικού δικτύου. Παράδειγμα τέτοιας σύνδεσης είναι όταν ένας υπάλληλος μεταφέρει δεδομένα από το φορητό του PC προς τον κεντρικό υπολογιστή στο γραφείο του, μετά την επιστροφή του από ένα ταξίδι ή μια συνάντηση. Ένα άλλο παράδειγμα νομαδικής πρόσβασης είναι η περιοχή μιας πανεπιστημιούπολης, όπου οι σπουδαστές και το προσωπικό προσπελάζουν μέσω των φορητών υπολογιστών τους εφαρμογές και πληροφορίες που προσφέρονται από το κεντρικό σύστημα του πανεπιστημίου.

Η αδόμητη (ad hoc) δικτύωση αποτελεί ακόμη έναν τομέα όπου βρίσκουν εφαρμογή τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Αδόμητο δίκτυο είναι ένα δίκτυο ομότιμων κόμβων που εγκαθίσταται προκειμένου να καλυφθεί μια προσωρινή ανάγκη δικτύωσης. Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής θα μπορούσε να είναι μια αίθουσα διασκέψεων ή μια επαγγελματική σύσκεψη, όπου οι παρευρισκόμενοι χρησιμοποιούν τους φορητούς υπολογιστές τους προκειμένου να σχηματίσουν ένα προσωρινό δίκτυο και να μοιραστούν πληροφορίες κατά τη διάρκεια της συνεδρίασης.

Μια άλλη εφαρμογή της τεχνολογίας WLAN είναι η διασύνδεση ενσύρματων τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε γειτονικά κτίρια. Μια ασύρματη σύνδεση τύπου σημείου-προς-σημείο, η οποία ελέγχεται από συσκευές που συνήθως λειτουργούν ως γέφυρες ή δρομολογητές, συνδέει μεταξύ τους δύο ενσύρματα δίκτυα. Παρόλο που σε αυτή την περίπτωση το τελικό σύστημα δεν αποτελεί στην πραγματικότητα τοπικό δίκτυο, συμπεριλαμβάνεται συχνά στο πεδίο εφαρμογών των ασύρματων τοπικών δικτύων.

9.1.3 Ζητήματα που αφορούν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα

Το βασικό μειονέκτημα της ασύρματης μετάδοσης σε σύγκριση με την ενσύρματη μετάδοση είναι ο αυξημένος ρυθμός σφαλμάτων. Το ασύρματο μέσο χαρακτηρίζεται από ρυθμούς σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων (Bit Error Rate, BER) μεγέθους μέχρι και δέκα φορές μεγαλύτερου από τον αντίστοιχο ρυθμό ενός ενσύρματου τοπικού δικτύου. Οι

κύριες αιτίες για τον αυξημένο ρυθμό BER είναι ο ατμοσφαιρικός θόρυβος, τα φυσικά εμπόδια που βρίσκονται στην πορεία του σήματος, η πολύδρομη διάδοση (multipath propagation), και οι παρεμβολές από άλλα συστήματα (με το τελευταίο φαινόμενο να έχει είτε εσωτερική είτε εξωτερική κατεύθυνση).

Οι εσωτερικές παρεμβολές προέρχονται από συσκευές οι οποίες εκπέμπουν στο φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από το ασύρματο τοπικό δίκτυο. Ωστόσο, στα περισσότερα ασύρματα τοπικά δίκτυα εφαρμόζεται σήμερα διαμόρφωση διασποράς φάσματος (spread spectrum), η οποία λειτουργεί σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Οι παρεμβολές στενής ζώνης επιφέρουν επιπτώσεις σε ένα μόνο τμήμα του σήματος, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο μικρό πλήθος σφαλμάτων — ή ακόμη και καθόλου σφάλματα — στο σήμα ευρέος φάσματος. Από την άλλη μεριά, οι παρεμβολές ευρείας ζώνης, όπως αυτές που προκαλούνται από τους φούρνους μικροκυμάτων που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz, είναι δυνατό να έχουν καταστρεπτικά αποτελέσματα για οποιονδήποτε τύπο ραδιομετάδοσης. Παρεμβολές προκαλούνται επίσης από την πολύδρομη εξασθένηση (multipath fading) των σημάτων ενός ασύρματου δικτύου, η οποία οδηγεί σε τυχαίες διακυμάνσεις της φάσης και του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος. Κατά συνέπεια, πρέπει να ληφθούν προφυλάξεις προκειμένου να μειωθούν οι εσωτερικές παρεμβολές στην περιοχή λειτουργίας ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Γι' αυτόν το σκοπό χρησιμοποιούνται συχνά διάφορες τεχνικές που λειτουργούν είτε στο φυσικό επίπεδο είτε στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) — όπως οι εναλλακτικές τεχνικές διαμόρφωσης, ο διαφορισμός κεραίας (antenna diversity), και η εξίσωση ανάδρασης (feedback equalization) στο φυσικό επίπεδο, τα αιτήματα αυτόματης επανάληψης (Automatic Repeat Requests, ARQ) και ο ευθύς έλεγχος σφαλμάτων (Forward Error Control, FEC) στο υποεπίπεδο MAC. Οι εξωτερικές παρεμβολές εμφανίζονται όταν τα σήματα ενός ασύρματου τοπικού δικτύου παρεμποδίζουν τη λειτουργία παρακείμενων ασύρματων δικτύων ή ραδιοσυσκευών, όπως είναι ο εξοπλισμός ιατρικής παρακολούθησης ή τα συστήματα πλοήγησης. Ωστόσο, καθώς τα περισσότερα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούν τεχνολογία διασποράς φάσματος, το φαινόμενο της εξωτερικής παρεμβολής θεωρείται τις περισσότερες φορές ασήμαντο.

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων τοπικών δικτύων είναι το γεγονός ότι, γενικά, δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί μια πλήρως συνδεδεμένη τοπολογία μεταξύ των κόμβων ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Το πρόβλημα αυτό προκαλεί με τη σειρά του τα προβλήματα των «κρυφών» και των «εκτεθειμένων» τερματικών (hidden-exposed terminal problems) που απεικονίζονται στο Σχήμα 9.3. Το πρόβλημα των «κρυφών» τερματικών περιγράφει μια κατάσταση στην οποία ένας σταθμός Α, ο οποίος δεν βρίσκεται στην εμβέλεια μετάδοσης ενός άλλου σταθμού Γ, δεν ανιχνεύει φέρον σήμα και ξεκινά να μεταδίδει. Αν ο σταθμός Γ μετέδιδε ήδη, τα πακέτα των δύο σταθμών θα συγκρουστούν σε όλους τους άλλους σταθμούς (Β) που μπορούν να «ακούσουν» τόσο τον Α όσο και τον Γ. Το αντίθετο αυτού του προβλήματος είναι το σενάριο των «εκτεθειμένων» τερματικών, όταν ο σταθμός Β αναβάλλει τη μετάδοση δεδομένων επειδή ανιχνεύει το φέρον σήμα του Α. Ωστόσο, ο στόχος του



Σχήμα 9.3 Σενάρια (α) «κρυφού» και (β) «εκτεθειμένου» τερματικού.

σταθμού B, δηλαδή ο σταθμός Γ, βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του A. Σε αυτή την περίπτωση, η μετάδοση του σταθμού B θα μπορούσε να παραληφθεί επιτυχώς από τον Γ· ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει επειδή ο B καθυστερεί λόγω της μετάδοσης του σταθμού A.

Μια άλλη διαφορά μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων τοπικών δικτύων αποτελεί το γεγονός ότι στη δεύτερη περίπτωση είναι δύσκολο να εφαρμοστεί ανίχνευση σύγκρουσης. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία κάθε ασύρματου κόμβου να «ακούσει» το κανάλι ενώ εκπέμπει, επειδή η ίδια η μετάδοσή του θα κατέκλυζε όλα τα άλλα εισερχόμενα σήματα. Επομένως, η χρήση πρωτοκόλλων που υιοθετούν τεχνικές ανίχνευσης σύγκρουσης δεν είναι πρακτική στα δίκτυα WLAN.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που αφορά κάθε δίκτυο WLAN είναι η διαχείριση της ενέργειας. Ένας φορητός υπολογιστής τροφοδοτείται συνήθως από μια μπαταρία που έχει πεπερασμένο χρόνο λειτουργίας. Επομένως, πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας στους κινητούς κόμβους του WLAN. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συμβιβασμούς μεταξύ απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Στην πλειονότητα των σημερινών εφαρμογών χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας που σχεδιάστηκαν για ενσύρματα δίκτυα. Τα περισσότερα από αυτά τα πρωτόκολλα υποβαθμίζονται σημαντικά όταν χρησιμοποιούνται σε μια ασύρματη σύνδεση. Το πρωτόκολλο TCP, για παράδειγμα, σχεδιάστηκε με σκοπό να παρέχει αξιόπιστες συνδέσεις σε ενσύρματα δίκτυα. Η απόδοσή του, όμως, μειώνεται σημαντικά στις ασύρματες συνδέσεις, ειδικά όταν οι κόμβοι ενός δικτύου WLAN λειτουργούν σε μια περιοχή στην οποία υπάρχουν παρεμβολές. Οι παρεμβολές οδηγούν το πρωτόκολλο TCP σε απώλεια συνδέσεων, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η απόδοση του δικτύου.

Μια άλλη διαφορά μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων τοπικών δικτύων αφορά την εγκατάστασή τους. Κατά την προετοιμασία της εγκατάστασης ενός δικτύου WLAN, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος. Σε ένα συνηθισμένο κτίριο ή σε ένα μικρό γραφείο, αυτός ο στόχος είναι πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να επιτευχθεί. Οι πανκατευθυντικές (omnidirectional) κεραίες εκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις εφόσον δεν παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο στην πορεία του σήματος. Οι τοίχοι, τα παράθυρα, τα έπιπλα, ακόμη και οι άνθρωποι είναι δυνατό να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο μοντέλο διάδοσης των σημάτων προκαλώντας ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Τις περισσότερες φορές, αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εκτέλεση δοκιμών στη διάδοση του σήματος πριν από την εγκατάσταση του εξοπλισμού του δικτύου WLAN.

Η ασφάλεια είναι ένα ακόμη ευαίσθητο ζήτημα για τα δίκτυα WLAN. Τα ραδιοσήματα είναι δυνατό να διαδοθούν πέρα από το γεωγραφικό χώρο ενός οργανισμού. Έτσι, ένας επίδοξος εισβολέας αρκεί να προσεγγίσει την περιοχή λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου και, με λίγη τύχη, να «κρυφακούσει» τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται. Ωστόσο, για να γίνει πραγματικότητα αυτό το σενάριο, ο επίδοξος εισβολέας θα πρέπει να κατέχει κάποιον κωδικό πρόσβασης του δικτύου προκειμένου να συνδεθεί με αυτό. Για να αυξηθεί η ασφάλεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κρυπτογράφηση των δεδομένων, η οποία βέβαια επιφέρει αύξηση του κόστους και της επιβάρυνσης του δικτύου. Τα ασύρματα δίκτυα είναι επίσης ευάλωτα στην ηλεκτρονική δολιοφθορά. Τα περισσότερα χρησιμοποιούν πρωτόκολλα βασισμένα στο μηχανισμό πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος σήματος (Carrier Sense Multiple Access, CSMA), όπου όλοι οι κόμβοι είναι υποχρεωμένοι να παραμένουν σιωπηλοί όσο «ακούν» μια μετάδοση που είναι σε εξέλιξη. Αν κάποιος ρυθμίσει έναν κόμβο έτσι ώστε να μεταδίδει συνεχώς πακέτα μέσα στην περιοχή του WLAN, όλοι οι άλλοι κόμβοι δεν θα μπορούν να προσπελάσουν το μέσο προκειμένου να μεταδώσουν, με αποτέλεσμα το δίκτυο να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Τέλος, ένα δημοφιλές ζήτημα, που δεν αφορά μόνο τα δίκτυα WLAN, αλλά γενικά τις ασύρματες επικοινωνίες, είναι η ανθρώπινη ασφάλεια. Παρά το γεγονός ότι δεν έχει δοθεί ακόμη κάποια τελική απάντηση σε αυτό το ζήτημα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα φαίνεται να είναι, στη χειρότερη περίπτωση, εξίσου ασφαλή με τα κινητά τηλέφωνα. Τα στοιχεία ασύρματης μετάδοσης ενός WLAN λειτουργούν σε επίπεδα ισχύος μεταξύ 50 και 100 mW, τα οποία βρίσκονται σημαντικά χαμηλότερα από την περιοχή των 600 mW με 3 W στην οποία λειτουργεί ένα κοινό κινητό τηλέφωνο. Στα δίκτυα WLAN υπερύθρων, η απειλή για την ανθρώπινη ασφάλεια είναι ακόμη μικρότερη. Όσα βασίζονται στη διάχυτη υπέρυθρη (Infrared, IR) ακτινοβολία, δεν δημιουργούν κανέναν κίνδυνο υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

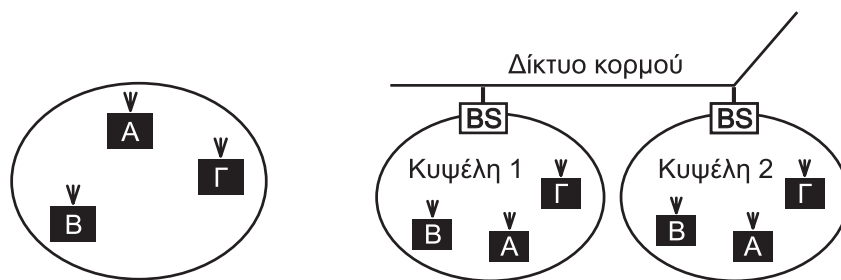
9.1.4 Δομή του κεφαλαίου

Το υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου αποτελεί μια επισκόπηση του τομέα των ασύρματων τοπικών δικτύων. Στην Ενότητα 9.2 ερευνώνται οι δύο τύποι τοπολογιών για συστήματα WLAN, η τοπολογία υποδομής (infrastructure) και η αδόμητη (ad hoc) τοπολογία. Στην Ενότητα 9.3 εξετάζονται οι απαιτήσεις που αναμένεται να καλύπτει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, οι οποίες και επηρεάζουν τον τρόπο υλοποίησης του φυσικού επιπέδου και του υποεπίπεδου MAC ενός WLAN. Στην Ενότητα 9.4 ερευνώνται ζητήματα σχετικά με το φυσικό επίπεδο και παρουσιάζονται οι πέντε εναλλακτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στην Ενότητα 9.5 εξετάζονται ζητήματα που αφορούν το υποεπίπεδο MAC και αναλύονται τα δύο υπάρχοντα πρότυπα, IEEE 802.11 και HIPERLAN 1. Στην Ενότητα 9.6 παρουσιάζονται οι πιο πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των ασυρμάτων τοπικών δικτύων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύνοψη στην Ενότητα 9.7.

9.2 Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων

Υπάρχουν δύο κύριες τοπολογίες δικτύων WLAN. Αυτή του αδόμητου δικτύου (ad hoc) και αυτή του δικτύου υποδομής (infrastructure), η οποία και απεικονίζεται στο Σχήμα 9.4. Αδόμητο ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι ένα ομότιμο δίκτυο που εγκαθίσταται προκειμένου να καλυφθεί μια προσωρινή ανάγκη. Δεν απαιτείται καμία υποδομή δικτύωσης, καθώς τα μόνα στοιχεία που χρειάζονται προκειμένου να σχηματιστεί είναι οι κινητοί κόμβοι και η χρήση ενός κοινού πρωτοκόλλου. Επειδή δεν υπάρχει κανένας κεντρικός συντονισμός σε αυτή την τοπολογία, τα αδόμητα δίκτυα πρέπει να χρησιμοποιούν αποκεντρωμένα πρωτόκολλα MAC — όπως αυτό της πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος σήματος και αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA) — με όλους τους κόμβους να έχουν την ίδια λειτουργικότητα και, επομένως, την ίδια πολυπλοκότητα υλοποίησης καθώς επίσης και το ίδιο κόστος. Επιπλέον, δεν υπάρχει πρόβλεψη για παροχή πρόσβασης σε υπηρεσίες ενσύρματων δικτύων που μπορεί να λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή με το αδόμητο δίκτυο. Μια άλλη σημαντική πτυχή των αδόμητων ασύρματων τοπικών δικτύων αποτελεί το γεγονός ότι σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη η ύπαρξη πλήρως συνδεδεμένων τοπολογιών [2]. Αυτό οφείλεται στο ότι δύο κινητοί κόμβοι είναι δυνατό να βρίσκονται προσωρινά εκτός εμβέλειας μετάδοσης μεταξύ τους.

Από την άλλη μεριά, ένα δίκτυο WLAN υποδομής χρησιμοποιεί κάποιο υψηλότερης ταχύτητας ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο κορμού (backbone network). Σε μια τέτοια τοπολογία, οι κινητοί κόμβοι προσπελάζουν το ασύρματο κανάλι κάτω από τον συντονισμό ενός σταθμού βάσης (Base Station, BS). Κατά συνέπεια, στα WLAN με υποδομή χρησιμοποιούνται συνήθως συγκεντρωτικά πρωτόκολλα MAC, όπως η βολιδοσκοπηση (polling), αν και μερικές φορές χρησιμοποιούνται και αποκεντρωμένα πρωτόκολλα (π.χ., το 802.11, το οποίο βασίζεται στη διεκδίκηση του μέσου, μπορεί να εφαρμοστεί σε μια τοπολογία υποδομής). Η προσέγγιση αυτή μετατοπίζει την πολυπλοκότητα υλοποίησης από τους κινητούς κόμβους στο σημείο πρόσβασης (Access



Σχήμα 9.4 Τοπολογίες ασυρμάτων τοπικών δικτύων: αδόμητη τοπολογία και τοπολογία υποδομής.

Point, AP), καθώς οι περισσότερες από τις διαδικασίες του πρωτοκόλλου εκτελούνται από το AP, αφήνοντας έτσι τους κινητούς κόμβους να εκτελούν μόνο ένα μικρό σύνολο λειτουργιών. Οι κινητοί κόμβοι, υπό την κάλυψη του σταθμού βάσης (BS), διαμορφώνουν την κυψέλη του συγκεκριμένου σταθμού βάσης. Παρά το γεγονός ότι ούτε σε αυτή την περίπτωση είναι δυνατό να θεωρηθεί μια πλήρως συνδεδεμένη δικτυακή τοπολογία, η σταθερή φύση του σταθμού βάσης υποδηλώνει πλήρη κάλυψη της κυψέλης στις περισσότερες περιπτώσεις. Η ροή των πληροφοριών από τους κινητούς κόμβους προς το σταθμό βάσης θεωρείται ανωφερής κυκλοφορία (uplink), και η αντίθετη ροή θεωρείται κατωφερής κυκλοφορία (downlink).

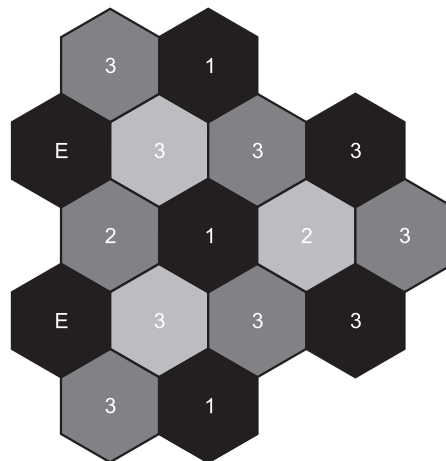
Μια άλλη χρήση του σταθμού βάσης είναι να διασυνδέει τους κινητούς κόμβους σε κάποιο υπάρχον ενσύρματο δίκτυο. Όταν ο σταθμός βάσης εκτελεί αυτή τη λειτουργία, αναφέρεται συχνά και ως σημείο πρόσβασης (AP). Παρά το γεγονός ότι δεν είναι υποχρεωτικό ο σταθμός βάσης και το σημείο πρόσβασης να υλοποιούνται στην ίδια συσκευή, τις περισσότερες φορές οι σταθμοί βάσης περιλαμβάνουν και τη λειτουργικότητα ενός σημείου πρόσβασης. Η παροχή συνδεσιμότητας προς υπηρεσίες ενσύρματων δικτύων αποτελεί βασική ανάγκη, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι κινητοί κόμβοι χρησιμοποιούν εφαρμογές οι οποίες είχαν αρχικά αναπτυχθεί για ενσύρματα δίκτυα.

Η παρουσία πολλών σταθμών βάσης — και, κατά συνέπεια, κυψελών — είναι συνηθισμένο φαινόμενο στα ασύρματα τοπικά δίκτυα υποδομής. Τέτοιες διαμορφώσεις πολλαπλών κυψελών (multicell) μπορούν να καλύψουν κτίρια πολλών ορόφων και υιοθετούνται όταν απαιτείται μεγαλύτερη εμβέλεια από εκείνη που προσφέρεται από μία μόνο κυψέλη. Σε αυτή την περίπτωση, οι κινητοί κόμβοι είναι δυνατό να κινηθούν από κυψέλη σε κυψέλη διατηρώντας τις λογικές τους συνδέσεις. Γι' αυτή τη διαδικασία, η οποία είναι γνωστή και ως περιαγωγή (roaming), θεωρείται ότι οι κυψέλες πρέπει να επικαλύπτονται καταλλήλως, έτσι ώστε οι χρήστες να μην αντιμετωπίζουν διακοπές συνδέσεων. Επιπλέον, απαιτείται συντονισμός μεταξύ των σημείων πρόσβασης προκειμένου οι χρήστες να μεταβαίνουν ομαλά από τη μια κυψέλη στην άλλη. Η περιαγωγή υλοποιείται μέσω διαδικασιών μεταπομπής (handoff). Η μεταπομπή μπορεί να ελέγχεται είτε από μια κεντρική υπηρεσία μεταγωγής (switching) είτε από τους ίδιους τους κινητούς κόμβους (αποκεντρωμένη μεταπομπή), και εφαρμόζεται με παρακολούθηση της ισχύος των σημάτων των κόμβων. Στην κεντρική μεταπομπή, ο σταθμός βάσης παρακολουθεί την ισχύ των σημάτων των κινητών κόμβων και τους ανακατανέμει στις κυψέλες αναλόγως. Σύμφωνα με την αποκεντρωμένη μεταπομπή, ένας κινητός κόμβος μπορεί να αποφασίσει να ζητήσει μετάβαση σε μια διαφορετική κυψέλη στην περίπτωση που διαπιστώσει ότι η ποιότητα σύνδεσης με τη συγκεκριμένη κυψέλη είναι ανώτερη απ' ό,τι με την προηγούμενη.

Σε ό,τι αφορά το μέγεθος των κυψελών, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται μικρές κυψέλες. Περιορισμένο μέγεθος σημαίνει μικρότερη εμβέλεια μετάδοσης για τους κινητούς κόμβους και, συνεπώς, μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, η χρήση μικρών κυψελών επιτρέπει την εφαρμογή μοντέλων επαναχρησιμοποίησης συχνотήτων (Frequency Reuse), τα οποία οδηγούν σε αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος. Η έννοια της επαναχρησιμοποίησης συχνотήτων επεξηγείται στο Σχήμα 9.5. Στο

συγκεκριμένο παράδειγμα, οι κυψέλες που δεν συνορεύουν είναι δυνατό να χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια συχνοτήτων. Αν κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί ένα κανάλι με εύρος ζώνης B , με την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι επαρκές ένα συνολικό εύρος ζώνης $3 \times B$ προκειμένου να καλυφθεί η περιοχή των 16 κυψελών. Χωρίς επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, κάθε κυψέλη θα έπρεπε να χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό κανάλι συχνοτήτων, γεγονός που θα απαιτούσε συνολικό εύρος ζώνης $16 \times B$.

Η παραπάνω στρατηγική είναι γνωστή και ως σταθερή κατανομή καναλιών (Fixed Channel Allocation, FCA). Με τη χρήση αυτής της τεχνικής, τα κανάλια εκχωρούνται στις κυψέλες και όχι στους κινητούς κόμβους. Το πρόβλημα με αυτή την στρατηγική είναι ότι δεν εκμεταλλεύεται την κατανομή των χρηστών. Μια κυψέλη μπορεί να περιέχει λίγους ή και κανέναν κινητό κόμβο, αλλά να χρησιμοποιεί παρόλα αυτά το ίδιο μέγεθος εύρους ζώνης με μια κυψέλη πολλών χρηστών. Επομένως, η χρήση του φάσματος δεν είναι η βέλτιστη. Η δυναμική κατανομή καναλιών (Dynamic Channel Allocation, DCA) [3-5], ο έλεγχος ισχύος (Power Control, PC), ή οι ενοποιημένες τεχνικές της δυναμικής κατανομής καναλιών και του ελέγχου ισχύος [6] επιχειρούν να αυξήσουν τη συνολική χωρητικότητα της κυψέλης, να μειώσουν τις παρεμβολές των καναλιών, και να επιτύχουν εξοικονόμηση ισχύος στους κινητούς κόμβους. Η τεχνική DCA λαμβάνει υπόψη όλα τα διαθέσιμα κανάλια και τα εκχωρεί δυναμικά στις κυψέλες, ανάλογα με το τρέχον φορτίο τους. Επιπλέον, οι κινητοί κόμβοι ενημερώνουν τους σταθμούς βάσης για τις παρεμβολές που υφίστανται, κάνοντας έτσι δυνατή την επαναχρησιμοποίηση των καναλιών με έναν τρόπο που ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές. Οι τεχνικές PC επιχειρούν να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές στο σύστημα και να εξοικονομήσουν ενέργεια στους κινητούς κόμβους μεταβάλλοντας την ισχύ μετάδοσης. Όταν παρατηρούνται αυξημένες παρεμβολές μέσα σε μια κυψέλη, οι τεχνικές PC προ-



Σχήμα 9.5: Παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων.

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

P. Nicopolitidis, *Aristotle University, Greece*

M. S. Obaidat, *Monmouth University, USA*

G. I. Papadimitriou, *Aristotle University, Greece*

A. S. Pomportsis, *Aristotle University, Greece*

Το πεδίο των ασύρματων δικτύων έχει να επιδείξει τεράστια ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, με συνέπεια να έχει εξελιχθεί σε έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών. Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων σε ό,τι αφορά το μέγεθος και τις δυνατότητες κερδοφορίας θα οδηγήσει στην ολοκλήρωσή τους με άλλες ασύρματες τεχνολογίες, με συνέπεια να αποκτήσουν τη δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών υπολογιστών κινητών επικοινωνιών και να αποδίδουν τόσο αποτελεσματικά όσο και τα ενσύρματα δίκτυα. Εξαιτίας των δυσκολιών που θέτει το ασύρματο μέσο και της ολοένα αυξανόμενης απαίτησης για καλύτερες και φθηνότερες υπηρεσίες, ο τομέας των ασύρματων δικτύων έχει επίσης αποδειχθεί ένα ιδιαίτερα πλούσιο πεδίο έρευνας. Το βιβλίο *Ασύρματα Δίκτυα* καλύπτει σε βάθος το μεγάλο εύρος των εναλλακτικών λύσεων που προσφέρουν σήμερα οι ασύρματες τεχνολογίες.

Εισαγωγή στα θεμελιώδη ζητήματα που συνδέονται με τα ασύρματα συστήματα, όπως τα φυσικά χαρακτηριστικά διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, οι τεχνικές διαμόρφωσης πολλαπλής πρόσβασης και βελτίωσης απόδοσης, και οι έννοιες των κυψελικών και αδόμητων συστημάτων

Παρουσίαση των παλαιών αναλογικών κυψελικών συστημάτων πρώτης γενιάς (1G) και των αρχιτεκτονικών των τρέχοντων συστημάτων δεύτερης γενιάς (2G) που υποστηρίζουν τη μεταφορά φωνής και δεδομένων, και εισαγωγή στον ραγδαία εξελισσόμενο κόσμο των δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3G)

Παρουσίαση του οράματος των συστημάτων κινητής και ασύρματης τηλεφωνίας από την τέταρτη γενιά (4G) και πέρα

Περιγραφή των δορυφορικών συστημάτων, των σταθερών ασύρματων συστημάτων, των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), των συστημάτων ασύρματου ATM και των αδόμητων (ad-hoc) συστημάτων, των δικτύων προσωπικής περιοχής (PAN), και εξέταση ζητημάτων ασφάλειας των ασύρματων δικτύων

Περιλαμβάνεται ένα κεφάλαιο με θέμα την προσομοίωση ασύρματων δικτύων

Ένας εύκολα προσβάσιμος και περιεκτικός οδηγός αναφοράς για όλους τους βασικούς τομείς των ασύρματων δικτύων που απευθύνεται σε μηχανικούς δικτύων, ερευνητές, μεταπτυχιακούς και τελειόφοιτους φοιτητές.



ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Στουρνάρα 37, 10682, ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210 3829029

Επισκεφθείτε μας στο Internet:
www.klidarithmos.gr

ISBN 960-209-989-5



9 789602 099896