



Μάθημα 7.3: Τοπολογίες

7.3.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, η τοπολογία ενός δικτύου επικοινωνιών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η φυσική σύνδεση των κόμβων του. Επομένως η τοπολογία προσδιορίζει τους αγωγούς διέλευσης των πληροφοριών και κατά συνέπεια τους δυνατούς τρόπους διασύνδεσης δύο οποιωνδήποτε κόμβων του δικτύου. Ασφαλώς ο τρόπος σύνδεσης των κόμβων (ένας προς έναν ή ένας προς πολλούς), καθώς και η κατηγορία του μέσου (ενσύρματο ή ασύρματο) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την ταξινόμηση των τοπολογιών ενός τοπικού δικτύου.



Η εύρεση του συντομότερου δρόμου διασύνδεσης δύο οποιωνδήποτε κόμβων του δικτύου συνιστά το πρόβλημα της δρομολόγησης, που είναι ένα από τα σπουδαιότερα ανοικτά προβλήματα των δικτύων.

7.3.2 Τοπολογίες ενσύρματων τοπικών δικτύων

Οι βασικές τοπολογίες των ενσύρματων τοπικών δικτύων είναι ο δίαυλος, ο δακτύλιος και το άστρο. Υπάρχουν όμως και τοπολογίες που προκύπτουν από τροποποίηση, επέκταση ή συνδυασμό των βασικών τοπολογιών, όπως είναι για παράδειγμα η τοπολογία του διπλού δακτυλίου (επέκταση του δακτυλίου), του δέντρου (τροποποίηση του διαύλου), του άστρου - δακτυλίου (συνδυασμός των δύο βασικών τοπολογιών), καθώς και πιο πολύπλοκες τοπολογίες (δικτυωτά), οι οποίες δεν εντάσσονται σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες και αφορούν κυρίως περιπτώσεις δικτύων ευρείας περιοχής.

Στη συνέχεια θα εξεταστούν αναλυτικότερα οι κυριότερες τοπολογίες που αφορούν τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, καταγράφοντας τα κύρια πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματά τους.

7.3.2.1 Τοπολογία διαύλου

Με την τοπολογία αυτή όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται άμεσα –χωρίς τη μεσολάβηση άλλων διατάξεων– διαμέσου του κατάλληλου προσαρμοστικού υλικού (συνδετήρες, βύσματα, τερματισμοί κτλ.) σε μια κοινή γραμμή επικοινωνίας που λέγεται **δίαυλος**². Τα πακέτα μεταδίδονται σε όλο το μήκος του φυσικού μέσου και μπορεί να παραληφθούν από όλους τους άλλους κόμβους (σχήμα 7.6). Κάθε κόμβος βλέπει το μήνυμα, ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και, αν τον αφορά, το αντιγράφει. Επειδή οι κόμβοι που βρίσκονται κοντά σ' αυτόν που εκπέμπει λαμβάνουν

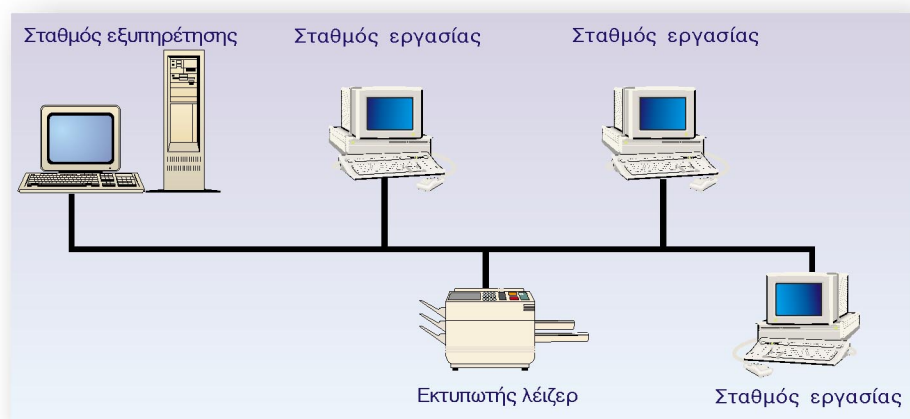


Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της τοπολογίας είναι το είδος των εφαρμογών, η πολυπλοκότητα που προκύπτει από τις τυχόν πρόσθετες διαδικασίες ελέγχου και η επίδρασή της στην απόδοση του δικτύου, καθώς και η ευκολία επέκτασης του δικτύου.

² **Δίαυλος (bus):** Ο όρος *bus* στην ελληνική μετάφρασή του έχει πολλές παραλλαγές, όπως αρτηρία, κανάλι, λεωφόρος κτλ., αφού στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέεται με τη γραμμή επικοινωνίας.



Ισχυρότερο σήμα από αυτούς που βρίσκονται μακρύτερα, τίθενται περιορισμοί που αφορούν το υλικό του καλωδιακού μέσου, το μήκος του, τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων και τα προσαρμοστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις, ώστε να μην αποδυναμώνεται η ισχύς των σημάτων. Τα δίκτυα διαύλου δεν παρουσιάζουν κατασκευαστική πολυπλοκότητα και μπορούν εύκολα να αναδιαταχθούν ή να επεκταθούν προσθέτοντας ή αφαιρώντας διατάξεις. Επίσης βλάβη σε κάποιον κόμβο δεν επηρεάζει το δίκτυο, αφού αυτός μπορεί εύκολα να απομονωθεί.



Σχήμα 7.6: Τοπολογία διαύλου

Τα δίκτυα διαύλου αποτελούν καλή επιλογή, όταν:

- ✓ Ο αριθμός των κόμβων που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο είναι μικρός.
- ✓ Η κυκλοφορία είναι μικρή.

Τέλος, τα δίκτυα διαύλου παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση σε κάθε ενέργεια που προκαλεί αύξηση της κυκλοφορίας.

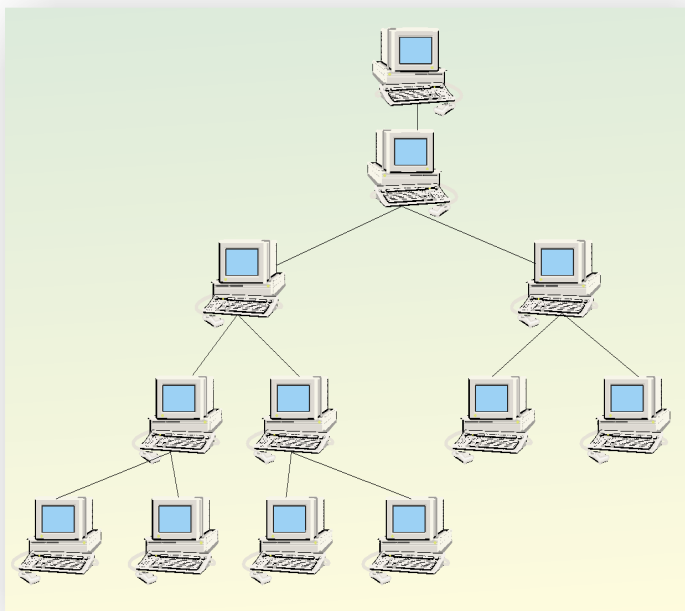
7.3.2.2 Τοπολογία δέντρου

Η τοπολογία δέντρου αποτελεί τροποποίηση της τοπολογίας διαύλου. Το διάγραμμα της μοιάζει μ' αυτό του ανεστραμμένου δέντρου, στο οποίο τόσο ο κορμός όσο και τα κλαδιά αποτελούνται από δίκτυα διαύλου (σχήμα 7.7). Στην τοπολογία δέντρου το μέσο μετάδοσης είναι ένα διακλαδιζόμενο καλώδιο χωρίς κλειστούς βρόχους, το οποίο ξεκινά από έναν κόμβο που λέγεται **κεφαλή ή ρίζα**. Η ρίζα μεταδίδει σε όλο το δίκτυο το σήμα το οποίο λαμβάνει από κάθε κόμβο που εκπέμπει, με αποτέλεσμα ο δίαυλος που περνά από τη ρίζα να έχει συνήθως και μεγάλο φόρτο κίνησης. Κάθε δίαυλος που περνά από τη ρίζα μπορεί να έχει διακλαδώσεις, οι οποίες μπορούν με τη



σειρά τους να έχουν άλλες διακλαδώσεις, δημιουργώντας μ' αυτό τον τρόπο πολύπλοκα σχεδιαγράμματα.

Η τοπολογία δέντρου παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με την τοπολογία διαύλου, αφού ουσιαστικά αποτελεί παράγωγό της. Πρόσθετο όμως μειονέκτημα αποτελεί ο καθοριστικός ρόλος της ρίζας στη μετάδοση, αφού σε περίπτωση βλάβης της προκαλείται κατάρρευση ολόκληρου του τμήματος του δικτύου που ελέγχει.



Σχήμα 7.7: Τοπολογία δέντρου

7.3.2.3 Τοπολογία δακτυλίου

Στην τοπολογία δακτυλίου το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο διαδοχικών κόμβων με συνδέσεις σημείου προς σημείο, ώστε να σχηματίζεται ένας κλειστός βρόχος (σχήμα 7.8α). Κάθε κόμβος συνδέεται στο δίκτυο διαμέσου μιας διάταξης που λέγεται **αναμεταδότης**. Η διάταξη αυτή έχει στόχο την ενίσχυση του σήματος και την αποστολή του στον κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένη.

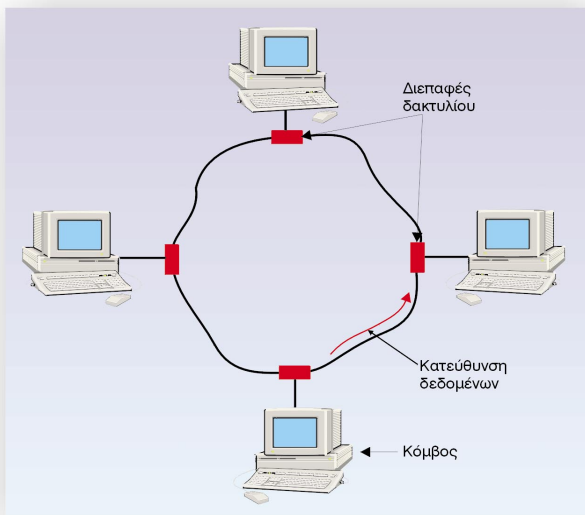
Οι συνδέσεις είναι μιας κατεύθυνσης, δηλαδή η ροή των πληροφοριών έχει την ίδια πάντα φορά επάνω στο δακτύλιο (είτε αυτήν των δεικτών του ρολογιού είτε την αντίστροφη). Τα πακέτα μεταδίδονται από κόμβο σε κόμβο χωρίς ιδιαίτερη καθυστέρηση και χωρίς επιβάρυνση του δικτύου με πληροφορίες δρομολόγησης (όπως η διεύθυνση του παραλήπτη). Κάθε κόμβος που βλέπει το μήνυμα ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και, αν τον αφορά, το αντιγράφει. Από τη στιγμή που πολλοί κόμβοι μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, απαιτείται έλεγχος προκειμένου να καθοριστεί πότε κάθε σταθμός μπορεί να μεταδώσει πακέτα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να είναι κεντρικός ή κατανεμημένος. Καταστροφή ενός κόμβου δε σημαίνει απαραίτητα και διακοπή της κυκλοφορίας, αφού υπάρχουν μέθοδοι απομόνωσής του.

Η τοπολογία δακτυλίου αποτελεί καλή επιλογή, όταν:

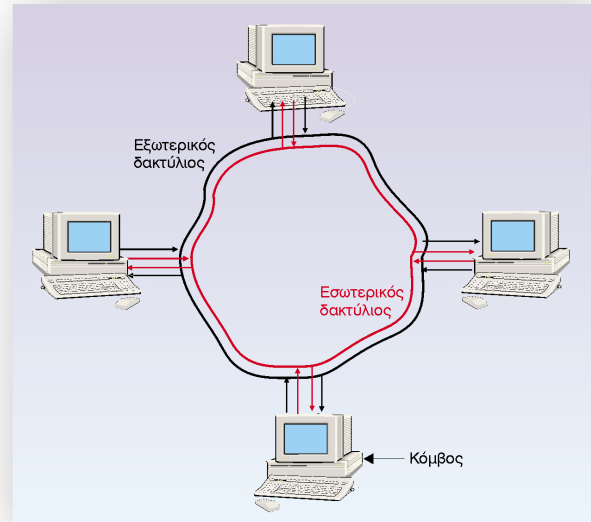
- ✓ Απαιτείται ισοκατανομή της χωρητικότητας στους κόμβους του δικτύου.
- ✓ Υπάρχει σε μικρές αποστάσεις μικρός αριθμός κόμβων οι οποίοι απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.



Οι **αναμεταδότες** είναι μονάδες που ενισχύουν το σήμα προκειμένου να μην υποστεί εξασθένηση κατά τη μετάδοσή του. Πρόκειται για μια απλή συσκευή με δύο συνδέσεις, ικανή να λαμβάνει και να αποστέλλει δυαδικά ψηφία με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης και χωρίς να απαιτείται προσωρινή αποθήκευση.



(α)



(β)

Σχήμα 7.8: Τοπολογία απλού (α) και διπλού (β) δακτυλίου

- ✓ Κάθε κόμβος πρέπει να μεταδώσει οπωσδήποτε πριν από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Τα δίκτυα δακτυλίου παρουσιάζουν:

- ✓ Σημαντική μέση καθυστέρηση μετάδοσης, ακόμη και στην περίπτωση μικρών φορτίων κίνησης.
- ✓ Μη αναλογική με το φορτίο αύξηση της μέσης καθυστέρησης μετάδοσης.
- ✓ Σταθερή χρησιμοποίηση του καναλιού κάτω από μεγάλα φορτία κίνησης.

Επέκταση της τοπολογίας του δακτυλίου αποτελεί ο **διπλός δακτύλιος** (σχήμα 7.8 β), με αντίθετες κατευθύνσεις μετάδοσης σε κάθε δακτύλιο που χρησιμοποιείται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων, όπως είναι αυτά που θα εξεταστούν λεπτομερέστερα στο Μάθημα 12.4.

7.3.2.4 Τοπολογία άστρου

Στην τοπολογία άστρου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με έναν κεντρικό σταθμό εξυπηρέτησης διαμέσου δύο συνδέσεων σημείου προς σημείο, μίας ανά κατεύθυνση μετάδοσης (σχήμα 7.9). Η τοπολογία αυτή έχει όλα τα χαρακτηριστικά της τοπολογίας διαύλου, επειδή η μετάδοση κάποιου κόμβου γνωστοποιείται σε όλους τους άλλους κόμβους και επειδή μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει επιτυχημένα κάθε χρονική στιγμή. Τα μηνύματα των κόμβων μεταδίδονται στον κεντρικό κόμβο, ο οποίος ενεργεί ανάλογα με τη μορφή ελέγχου που ασκείται.

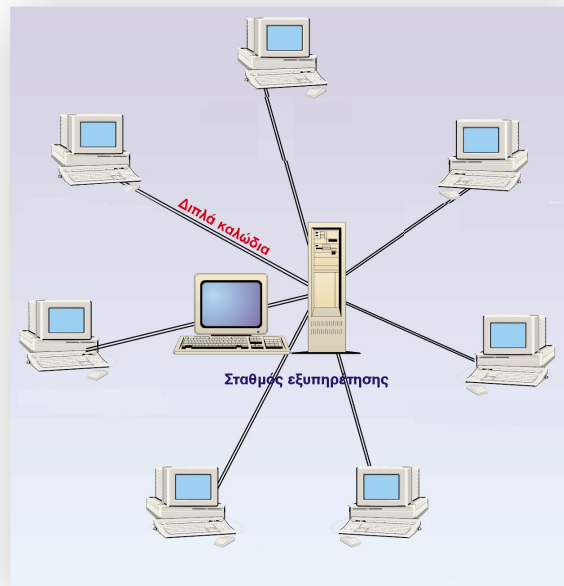


Υπάρχουν τρεις μορφές ελέγχου που μπορούν να υλοποιηθούν σε μια τοπολογία άστρου. Στην πρώτη μορφή ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για όλες τις διαδικασίες δρομολόγησης των μηνυμάτων. Τα μηνύματα που φθάνουν στον κεντρικό κόμβο υφίστανται επεξεργασία και αποστέλλονται σε κάποιον από τους κόμβους προκειμένου να σταλούν στον παραλήπτη. Στη δεύτερη περίπτωση ο έλεγχος ασκείται από κάποιον περιφερειακό κόμβο, ενώ ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί σαν διακόπτης μεταγωγής (επαναλήπτης), που εγκαθιστά συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, αποστέλλοντας τα μηνύματα σε όλους τους κόμβους. Στην τρίτη περίπτωση ο έλεγχος είναι ισοκαταναμημένος στους κόμβους, ενώ ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση και την αποφυγή των συγκρούσεων.

Η τοπολογία άστρου αποτελεί καλή επιλογή, όταν:

- ✓ Απαιτούνται ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής - δεδομένων.
- ✓ Απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.

Η υλοποίηση των δικτύων άστρου είναι πολύπλοκη, αφού ορισμένοι κόμβοι μπορεί να είναι απλές περιφερειακές μονάδες και άλλοι να ασκούν έλεγχο. Σε περίπτωση κεντρικού ελέγχου ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί παρόμοια με ένα ιδιωτικό κέντρο μεταγωγής, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία. Πολλά χαρακτηριστικά του δικτύου εξαρτώνται από τις δυνατότητες του κεντρικού κόμβου. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η χωρητικότητα του δικτύου, η δυνατότητα επέκτασής του όσον αφορά τον αριθμό των κόμβων που μπορεί να υποστηρίξει, ο ρυθμός μεταφοράς των γραμμών επικοινωνίας, η αξιοπιστία του κτλ.




Σχήμα 7.9: Τοπολογία άστρου

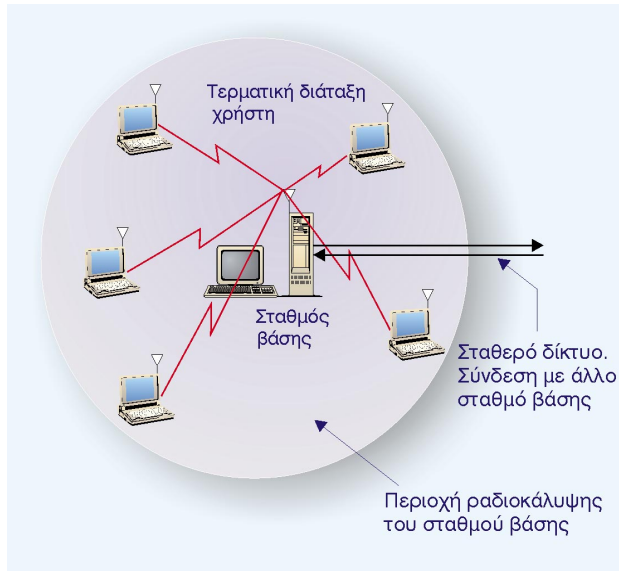
7.3.3 Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων

Οι τοπολογίες των ασύρματων τοπικών δικτύων διακρίνονται ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν συνδέσεις εκπομπής ή συνδέσεις σημείου προς σημείο. Στην περίπτωση των συνδέσεων εκπομπής τρία είναι τα βασικά σχήματα τοπολογιών. Το πρώτο, που είναι και το παλαιότερο, χρησιμοποιεί χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα — στη θέση των σταθερών και ενσύρματων γραμμών επικοινωνίας— προκειμένου να συνδέσει έναν κόμβο επικοινωνίας, ο οποίος είναι γνωστός και ως **σταθμός βάσης**, με ένα μεγάλο αριθμό από τερματικούς σταθμούς καταναμημένους συνήθως σε μια μικρή περιοχή γύρω από τη βάση (σχήμα 7.10). Επικοινωνία αυτής της μορφής είναι η κινητή ραδιοτηλεφωνία, της οποίας οι εφαρμογές ανάγονται αρκετά χρόνια πριν (ραδιοταξί, υπηρεσίες πρώτων βοηθειών, παράκτια επικοινωνία κτλ.), ενώ επέκτασή της αποτελεί η ψηφιακή κινητή τηλεφωνία.

Προκειμένου οι χρήστες να μοιραστούν τη διαθέσιμη χωρητικότητα ομαδοποιού-



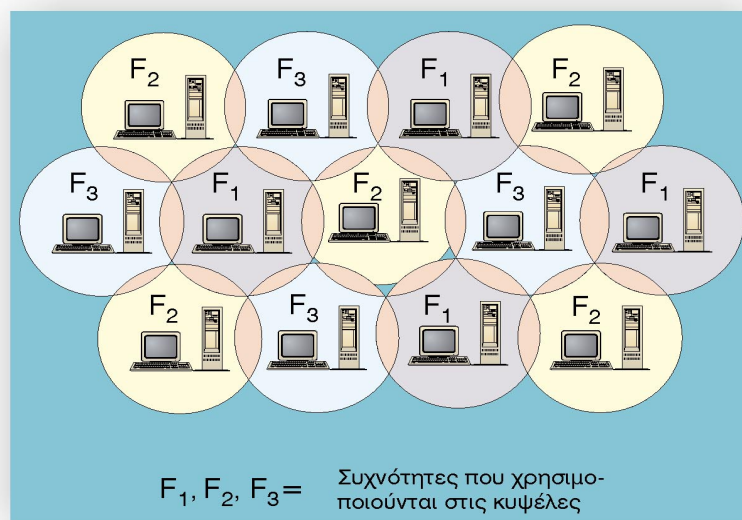
Στον παθητικό κεντρικό κόμβο το εισερχόμενο σήμα διαπερνά όλες τις συνδέσεις εξόδου. Στα κοινά καλωδιακά μέσα η σύνδεση στον κόμβο επιτυγχάνεται με ηλεκτρομαγνητική σύζευξη, ενώ στην καλωδίωση με οπτικές ίνες η σύζευξη επιτυγχάνεται με συνένωση των ινών. Στην περίπτωση ενεργού κεντρικού κόμβου το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα επαναμεταδίδεται σε όλες τις γραμμές εξόδου του κόμβου, ο οποίος δρα σαν επαναλήπτης. Αν φτάσουν ταυτόχρονα πολλά σήματα εισόδου, μεταδίδεται ένα σήμα σύγκρουσης σε όλες τις γραμμές εξόδου.



Σχήμα 7.10: Επίγεια ραδιοεπικοινωνία - Δομή κυψέλης

νται σε μικρές **κυψέλες**. Οι χρήστες κάθε κυψέλης επικοινωνούν με το μοναδικό κεντρικό κόμβο της κυψέλης, που λέγεται **βάση**. Η βάση κάθε κυψέλης συντονίζει τις μεταδόσεις των χρηστών της διαμέσου ενός σταθερού, ενσύρματου δικτύου που συνδέει όλες τις βάσεις. Οι μεταδόσεις κρατιούνται σε χαμηλά επίπεδα ισχύος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διακίνηση σε γειτονικές κυψέλες και να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση της ίδιας ζώνης συχνοτήτων σε διαφορετικές αλλά μη γειτονικές κυψέλες (σχήμα 7.11). Σε φυσιολογικές συνθήκες ο ρυθμός μετάδοσης κάθε τερματικής διάταξης μέσα στην κυψέλη είναι της τάξης λίγων δεκάδων Kbps. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να επεκταθεί η γεωγραφική κάλυψη του δικτύου σε μεγαλύτερες περιοχές.

Το σχήμα 7.12 αφορά την περίπτωση επίγειας μικροκυματικής ή υπέρυθρης επικοινωνίας, κατά την οποία μια μονάδα πρόσβασης φορητών ή σταθερών τερματικών διατάξεων (λέγεται και *PAU: Portable Access Unit*) συνδέεται ασύρματα με έναν αριθμό κατανεμημένων τερματικών διατάξεων (λέγονται και *PD: Portable Devices*), ενώ το σύνολο συνδέεται μέσω της βάσης και με ενσύρματη γραμμή σε ένα τοπικό δίκτυο 3. Οι αποστάσεις των διατάξεων από το



Σχήμα 7.11: Επίγεια ραδιοεπικοινωνία - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

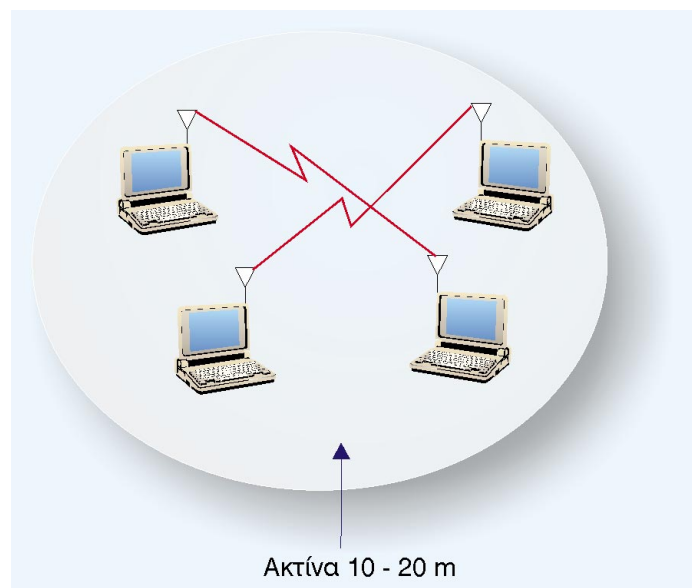
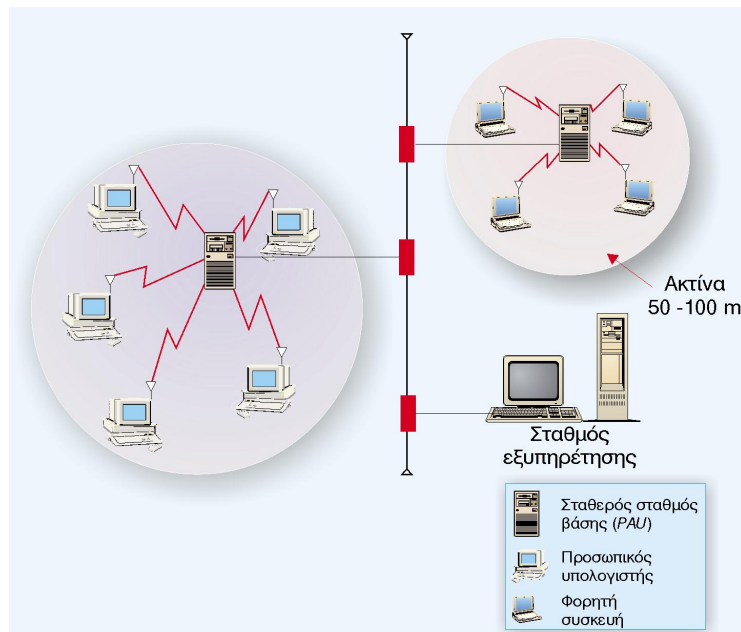
³ Ο σταθερός σταθμός βάσης ονομάζεται *PAU* επειδή εξυπηρετεί με ασύρματη ζεύξη φορητούς ή σταθερούς σταθμούς εργασίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.12.



σταθμό βάσης εξαρτώνται από την ισχύ του σταθμού, το τυπικό εύρος του οποίου κυμαίνεται από 50 έως 100 μέτρα. Μεγάλες εγκαταστάσεις καλύπτονται από πολλές τέτοιες μονάδες, που συνδέονται σε σταθερά τοπικά δίκτυα.

Τέλος, η τρίτη περίπτωση αφορά την άμεση σύνδεση κάποιων τερματικών διατάξεων που βρίσκονται εγκατεστημένες σε ένα μικρό χώρο, όπως είναι ένας χώρος συνεδρίων και συσκέψεων, ένα αεροδρόμιο κτλ. (σχήμα 7.13). Υπενθυμίζουμε ότι όλες οι παραπάνω τοπολογίες αφορούν συνδέσεις εκπομπής.

Αν οι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στο τοπικό δίκτυο είναι σημείου προς σημείο, τότε η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε μεταξύ δύο σταθερών σημείων είτε μεταξύ δύο σημείων από τα οποία το ένα ή και τα δύο βρίσκο-



Σχήμα 7.13: Ασύρματα τοπικά δίκτυα άμεσης σύνδεσης

Σχήμα 7.12: Ασύρματα τοπικά δίκτυα συνδεδεμένα σε σταθερό δίκτυο

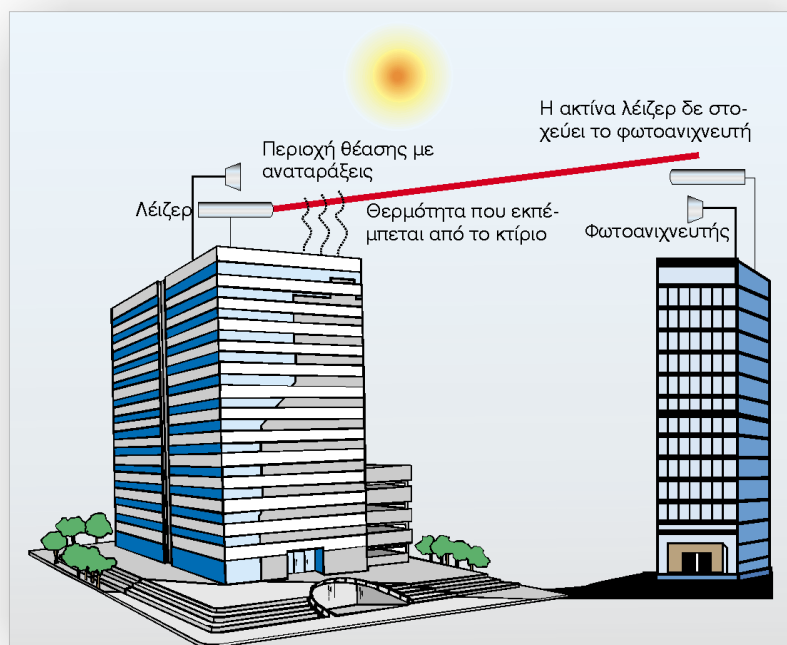
νται σε κίνηση. Επικοινωνίες αυτής της μορφής αφορούν κυρίως τα ραδιοκύματα ή τα μικροκύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων (ποντοπόρα επικοινωνία κτλ.). Νεότερες εφαρμογές στηρίζονται τόσο στα επίγεια συστήματα οπτικών κυμάτων (*laser*) με οπτική επαφή (σχήμα 7.14) όσο και στα επίγεια συστήματα μικροκυμάτων.

Μικροκύματα χρησιμοποιούνται και σε ορισμένες εφαρμογές της ασύρματης

δικτύωσης μικρής εμβέλειας, όπως είναι το άνοιγμα θυρίδων ή θυρών ασφαλείας, τα συστήματα ασφαλείας, τα συστήματα ενεργοποίησης ηλεκτρονικών συσκευών, οι βομβητές κτλ.



Η απεριόριστη χρησιμοποίηση των μικροκυματικών ζωνών για εφαρμογές δικτύωσης μικρής εμβέλειας αφορά τις λεγόμενες βιομηχανικές - επικοινωνιακές - ιατρικές ζώνες (ISM: *Industrial - Scientific - Medical bands*). Η ζώνη 2,4 - 2,484 GHz είναι δεσμευμένη διεθνώς, ενώ η Αμερική και ο Καναδάς έχουν ορίσει πρόσθετες δεσμευμένες ζώνες στις συχνότητες των 902 - 928 MHz και 5,725 - 5,850 GHz αντίστοιχα.



Σχήμα 7.14: Ασύρματα τοπικά δίκτυα οπτικής επαφής



Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Αρχιτεκτονική τοπικών δικτύων, τοπολογίες τοπικών δικτύων, τοπολογία διαύλου, τοπολογία δέντρου, τοπολογία δακτυλίου, τοπολογία άστρου, τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων, σταθμός βάσης, βάση κυψέλης, μονάδα πρόσβασης φορητών ή σταθερών διατάξεων (PAUs).