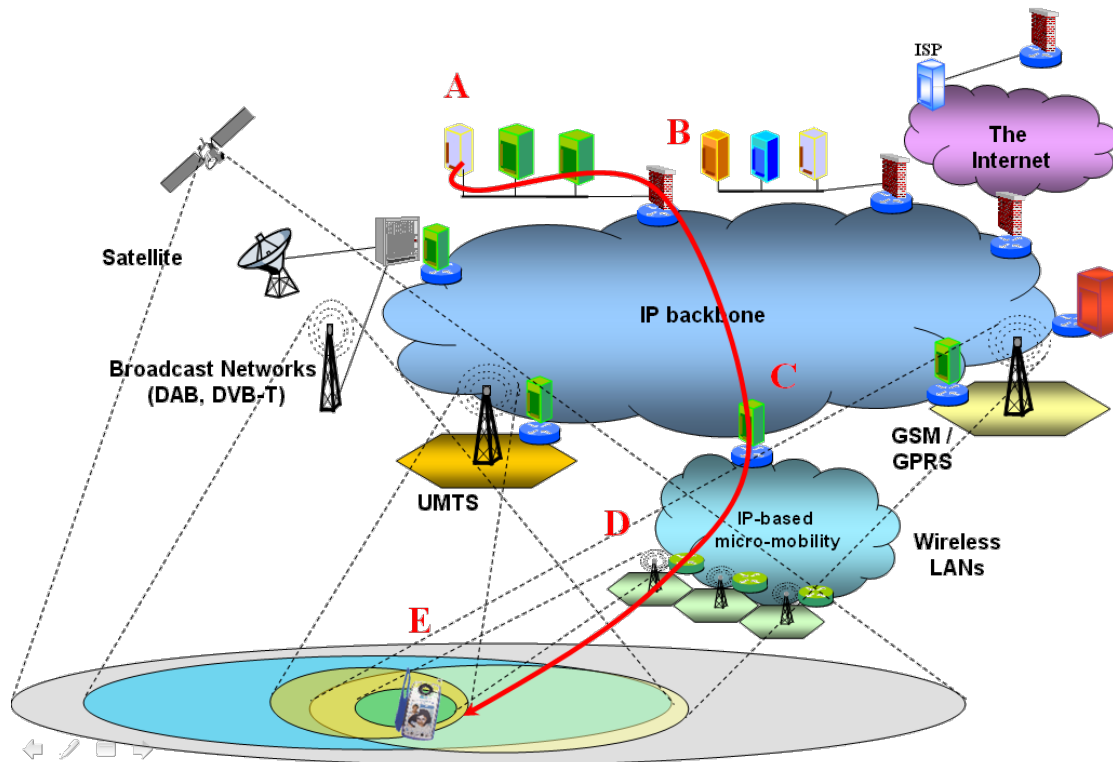


## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



# ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ

## ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ

ΚΑΡΡΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΑΝΑΛΥΤΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

# ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ

## Πρόλογος

Οι κινητοί υπολογιστές όπως και οι φορητοί υπολογιστές (notebook computers) και οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (Personal Digital Assistants), αποτελούν τον πλέον γοργό αναπτυσσόμενο τομέα της βιομηχανίας υπολογιστών. πολλοί από τους ιδιοκτήτες αυτών των υπολογιστών διαθέτουν στο γραφείο τους επιτραπέζιες μηχανές συνδεδεμένες σε LAN ή σε WAN και επιθυμούν να είναι συνδεδεμένοι με την βάση τους ακόμα και όταν απουσιάζουν ή βρίσκονται στον δρόμο. Εφόσον είναι αδύνατη η ενσύρματη σύνδεση μέσα σε αυτοκίνητα και αεροπλάνα, υπάρχει αρκετά μεγάλο ενδιαφέρον για ασύρματα δίκτυα.

Στην πραγματικότητα, η ψηφιακή ασύρματη μετάδοση δεν είναι καινούρια ιδέα. Ήδη από το 1901, ο Ιταλικής καταγωγής φυσικός Γουλιέλμος Μαρκονι πραγματοποίησε την επίδειξη ενός ασύρματου τηλεγράφου για επικοινωνία πλοίου με την ακτή, χρησιμοποιώντας τον κώδικα Morse (εξάλλου οι τελείες και οι παύλες είναι ψηφιακές). Τα σύγχρονα ψηφιακά ασύρματα συστήματα αποδίδουν καλύτερα, αλλά η βασική ιδέα παραμένει η ίδια.

Τα ασύρματα δίκτυα έχουν πολλές χρήσεις. Μια είναι το φορητό γραφείο. Όπου είσαι στο δρόμο και μπορείς να χρησιμοποιήσεις τον εξοπλισμό του γραφείου σου στέλνοντας και λαμβάνοντας e-mail, έχοντας πρόσβαση στο διαδίκτυο ή σε άλλους απομακρυσμένους υπολογιστές του δικτύου κ.α. .

Τα ασύρματα δίκτυα είναι πολύτιμα για στόλους φορτηγών, ταξί, λεωφορεία και συνεργεία επισκευών ώστε να μπορούν να κρατούν επαφή με την βάση τους. Μια άλλη χρήση είναι για τα συνεργεία διάσωσης σε περιοχές όπου το τηλεφωνικό σύστημα δεν λειτουργεί ή έχει καταστραφεί.

Τέλος, τα ασύρματα δίκτυα είναι σημαντικά στον στρατό. Αν πρέπει να είσαι σε θέση να πολεμήσεις οπουδήποτε στη γη ξαφνικά, το να βασιστείς στην χρήση της τοπικής δικτυακής υποδομής ίσως να μην είναι και τόσο καλή ιδέα. Είναι καλύτερα να έχεις την δική σου.

Αν και η ασύρματη δικτύωση και η υπολογιστική επεξεργασία εν κινήσει συχνά σχετίζονται, όπως όμως φαίνεται στον πίνακα παρακάτω δεν ταυτίζονται. Οι φορητοί υπολογιστές είναι μερικές φορές καλωδιωμένοι. Π.χ. , αν ένας ταξιδιώτης συνδέει τον φορητό υπολογιστή στην τηλεφωνική πρίζα ενός ξενοδοχείου, έχουμε κινητικότητα χωρίς ασύρματο δίκτυο. Ένα άλλο παράδειγμα είναι να μεταφέρει κανείς τον φορητό υπολογιστή του καθώς πραγματοποιεί τεχνική επιθεώρηση π.χ. σε ένα τρένο, στην περίπτωση αυτή ένα καλώδιο μπορεί να ακολουθεί πίσω του (Μοντέλο της ηλεκτρικής σκούπας).

<b>Ασύρματη</b>	<b>Κινητή</b>	<b>Εφαρμογές</b>
Όχι	Όχι	Στάσιμοι σταθμοί εργασίας στα γραφεία
Όχι	Ναι	Χρήση φορητού υπολογιστή στο ξενοδοχείο, συντήρηση τρένου
Ναι	Όχι	Τα LAN σε παλαιότερα κτήρια, χωρίς καλωδίωση
Ναι	Ναι	Κινητό γραφείο, PDA για απογραφή αποθεμάτων

*Σχήμα: Συνδυασμοί ασύρματων δικτύων και υπολογιστικής επεξεργασίας εν κινήσει.*

Από την άλλη πλευρά κάποιοι ασύρματοι υπολογιστές δεν είναι φορητοί. Ένα παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι μια εταιρία που διαθέτει ένα παλιό κτήριο το οποίο δεν διαθέτει εγκατεστημένη καλωδίωση και θέλει να συνδέσει τους υπολογιστές της. Η εγκατάσταση ενός ασύρματου LAN ίσως να μην απαιτεί πολύ περισσότερο από την αγορά ενός κουτιού, με κάποια ηλεκτρονικά και την

εγκατάσταση μερικών κεραιών. Αυτή η λύση μπορεί να είναι φθηνότερη από το να καλωδιωθεί ολόκληρο το κτήριο.

Αν και τα ασύρματα LAN είναι εύκολα στην εγκατάσταση, έχουν μερικά μειονεκτήματα. Συνήθως έχουν χωρητικότητα των 1-2 Mbps που είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη των ενσύρματων. Οι ρυθμοί λαθών είναι συχνά πολύ υψηλότεροι και οι παρεμβολές είναι ένα πρόβλημα που το συναντάμε πολύ συχνά.

Τους βασικότερους τύπους δικτύων θα τους αναφέρουμε σε αυτήν την εργασία, τα δίκτυα ad hoc και Bluetooth που είναι και τα πιο διαδεδομένα. Επίσης υπάρχουν δίκτυα βασισμένα στην υπέρυθρη ακτινοβολία (IRDA) καθώς και δίκτυα λέιζερ (laser). Άλλος τύπος ασύρματων δικτύων είναι τα δορυφορικά δίκτυα, ενώ ασύρματη επικοινωνία έχουμε και στην κινητή τηλεφωνία.

**Ασύρματος** (Wireless => wire+less χωρίς καλώδιο) είναι ένας παλιός όρος για τον ραδιοδέκτη, που αναφέρεται στη χρήση του ως τηλεγράφος. Στη σύγχρονη εποχή, το Ασύρματο είναι μια μέθοδος επικοινωνίας που χρησιμοποιεί χαμηλής έντασης ραδιο-κύματα για να μεταδοθούν δεδομένα μεταξύ συσκευών. Ο όρος αναφέρεται στην επικοινωνία χωρίς καλώδια, χρησιμοποιώντας κυρίως τη ραδιοσυχνότητα και τα υπέρυθρα κύματα.

**Ad hoc** είναι μια Λατινική φράση\_ που σημαίνει "για αυτό [τον σκοπό]." Δηλώνει γενικά μια λύση που έχει προσαρμοστεί σε έναν συγκεκριμένο σκοπό, όπως ένα κατάλληλο κοστούμι. Μπορεί επίσης να αναφερθεί σε ένα αυτοσχεδιασμένο και συχνά επείγον γεγονός ή μια λύση βασισμένη "για αυτό τον σκοπό", σε αντιδιαστολή με κάποια άλλη πανέτοιμη. Συγκεκριμένα στον τομέα των δικτύων, το Ad hoc είναι μια μέθοδος σύνδεσης δικτύων που αναφέρεται σε σύνδεση ασύρματων συσκευών. Η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει χωρίς την παρουσία κάποιου σταθμού βάσης. Κάθε συσκευή ψάχνει γειτονικές συσκευές (κόμβους) και έτσι δημιουργείτε το δίκτυο.

Αναλυτικά για το Ad hoc το Bluetooth θα μιλήσουμε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας ενώ θα αναφερθούμε επίσης σε κάποια πρωτόκολλα δρομολόγησης,

καθώς και στο πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο 802.11 . Θα μιλήσουμε για το τι είναι συμφόρηση σε ένα δίκτυο και κάποιους τρόπους αντιμετώπισης της.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση προσωπικών υπολογιστών από κινούμενους χρήστες παρουσιάζει ιδιαίτερη αύξηση. Η συνεχόμενη σμίκρυνση των συσκευών και η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των κινητών υπολογιστών (laptops), συνδυάζονται έτσι ώστε να δώσουν τη δυνατότητα καλύτερων εφαρμογών σε ένα αυξανόμενο τμήμα του πληθυσμού. Την ίδια στιγμή, οι αγορές ασύρματων τηλεφώνων και άλλων τηλεπικοινωνιακών συσκευών παρουσιάζουν σημαντική μεγέθυνση. Σύμφωνα με έρευνες, μέχρι το έτος 2002 υπήρχαν σε χρήση περισσότερες από 1 δις τέτοιες συσκευές και πωλούνται κάθε χρόνο περισσότερες από 200 εκατομμύρια νέες. Η περαιτέρω ανάπτυξη της ασύρματης τηλεφωνίας θα αλλάξει την έννοια του όρου «βρίσκομαι σε επαφή». Ήδη πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούν το τηλέφωνο του γραφείου τους για να λαμβάνουν μηνύματα ενώ απουσιάζουν και βασίζονται στα κινητά τους τηλέφωνα για πιο σημαντικά ή βιαστικά μηνύματα. Πράγματι, τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται κυρίως για απλές εργασίες όπως ο εντοπισμός ενός συνεργάτη σε ένα κοσμοβριθές εμπορικό κέντρο ή ένα συνέδριο. Μια παρόμοια μεταστροφή αναμένεται και για τους χρήστες φορητών υπολογιστών οπότε θα δημιουργηθούν νέες εφαρμογές για εξίσου ανιαρές αλλά άμεσα εξυπηρετικές χρήσεις.

Το κυριότερο μέρος της εν λόγω μεταστροφής έχει να κάνει με τη διατήρηση της επαφής με το Internet. Συγκεκριμένα, περιμένουμε να έχουμε το δίκτυο στη διάθεσή μας για τις μικρές εξυπηρετήσεις που αυτό έχει εισάγει στην επαγγελματική μας ζωή. Είναι πιθανό να θέλουμε άμεσα να χρησιμοποιήσουμε ένα χάρτη για να εντοπίσουμε τι είναι διαθέσιμο στη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, είναι πιθανό να θέλουμε να μας αποσταλούν οδηγίες κατεύθυνσης από κάποιο δικτυακό τόπο, οι οποίες θα βασίζονται στις πληροφορίες που προέρχονται από το σύστημα GPS που είναι εγκατεστημένο στο αυτοκίνητο. Ο

συνδυασμός γρήγορων και φθηνών ασύρματων ζεύξεων με επίσης φθηνές συσκευές κινητών υπολογιστών, κάνουν σήμερα πραγματικότητα όλα τα παραπάνω. Στο μέλλον, ο μέσος ταξιδιώτης θα θεωρεί δεδομένες τέτοιες συσκευές.

Σήμερα παρατηρείται σημαντική επέκταση της τεχνολογίας για την υποστήριξη κινούμενων χρηστών υπολογιστών. Όχι μόνο οι υπολογιστές γίνονται πιο ικανοί, αλλά αναπτύσσονται νέες εφαρμογές και προϊόντα ασύρματης μεταφοράς δεδομένων που είναι πολύ πιο βελτιωμένα από αυτά του παρελθόντος. Το εύρος ζώνης που διατίθεται αυτή τη στιγμή για φορητούς υπολογιστές πάνω από ραδιοζεύξεις και ζεύξεις υπερύθρων είναι 10 ως 100 φορές περισσότερο απ' ό τι 10 χρόνια πριν.

Αυτή η ταχύτερη τεχνολογική πρόοδος έχει ωθήσει εξίσου εντυπωσιακή ανάπτυξη στη ζήτηση για σύνδεση στο δίκτυο κινητών χρηστών. Στο ενσύρματο πεδίο του Ethernet, υπάρχει plug-and-play υλικό και λογισμικό, ούτως ώστε οι φορητοί υπολογιστές να μπορούν να επανασυνδέονται με ευκολία ανάλογα με το εκάστοτε τοπικό δίκτυο. Το Internet είναι διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο σε όποιον είναι διατεθειμένος να πραγματοποιήσει μια dial-up σύνδεση με ένα τοπικό τηλεφωνικό αριθμό. Οι άνθρωποι αρχίζουν να συνηθίζουν στα πλεονεκτήματα του να έχουν μια συχνή και εξυπηρετική πρόσβαση στο Internet. Σαν αποτέλεσμα, όλο και περισσότερη λειτουργικότητα δικτύου θα θεωρείται δεδομένη από τους χρήστες φορητών συσκευών.

Καθώς οι κόμβοι ασύρματου δικτύου πολλαπλασιάζονται και ένας μεγαλύτερος αριθμός πελατών εξοικειώνεται με τις εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση του διαδικτύου, είναι φυσικό να αναμένεται η πρόθεση για χρήση των δικτυακών εφαρμογών ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το ίδιο το διαδίκτυο δεν είναι διαθέσιμο. Για παράδειγμα, χρήστες φορητών υπολογιστών σε ένα συνέδριο μπορεί να επιθυμούν να επικοινωνήσουν με έναν αριθμό από τρόπους, χωρίς τη μεσολάβηση του διαδικτύου. Όμως σήμερα αυτή η κατά τα άλλα απλή απαίτηση για επικοινωνία, δεν μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα χρησιμοποιώντας τα γνωστά πρωτόκολλα του Internet. Οι προτάσεις που θα δούμε στη συνέχεια της

εργασίας, δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες κινητών συσκευών να δημιουργήσουν ένα δίκτυο μικρής διάρκειας, για τις επικοινωνιακές ανάγκες της στιγμής, που με άλλα λόγια ονομάζεται ad hoc δίκτυο.

Την ίδια στιγμή, υπάρχει μια τεράστια πιθανή αγορά για ενσωματωμένες συσκευές δικτύου σε οχήματα, σε κινητά τηλέφωνα και ίσως ακόμα και σε παιχνίδια και ατομικές συσκευές. Σίγουρα, δεν είναι μακριά η μέρα όπου μια τυπική κούκλα ενός παιδιού θα φέρει μικροεπεξεργαστή και συσκευή τηλεχειρισμού και θα εξαρτάται από την πρόσβαση στο δίκτυο ώστε να αλληλεπιδράσει με την τηλεόραση και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια.

Οποιοσδήποτε διαβάξει αυτή την εργασία θα συμφωνήσει ότι η σύγχρονη εποχή των δικτύων αντιπροσωπεύει ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ανθρωπότητας. Ήδη θεωρούμε δεδομένα αρκετά τμήματά της. Συγκεκριμένα, συχνά θεωρούμε δεδομένη την υποδομή που απαιτείται για την υποστήριξη του τεράστιου εγχειρήματος που έχει να κάνει με τα δίκτυα. Αυτά που πετυχαίνουμε με ένα δίκτυο δεν εξαρτώνται τόσο από την υποδομή. Η ύπαρξη της υποδομής επεκτείνει την κάλυψη των δικτυακών εφαρμογών.

Μόλις συνηθίσουμε τις δυνατότητες των δικτυακών επικοινωνιών και την πραγματοποίηση των καθημερινών εργασιών με τη βοήθεια εφαρμογών που στηρίζονται στα δίκτυα, θα επιθυμούμε τη διαθεσιμότητα αυτών των εφαρμογών οποιαδήποτε στιγμή. Στην πραγματικότητα, πολλοί ερευνητές προβλέπουν ότι κάποια μέρα στο κοντινό μέλλον θ ενεργοποιούμε τις διάφορες εφαρμογές από οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χρησιμοποιώντας τα ταχέως αναπτυσσόμενα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών που κατασκευάζονται σήμερα. Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι που περιβάλλουν τη γη θα συμπληρώνουν την υποδομή κυψελωτής (ασύρματης) τηλεφωνίας η οποία εξελίσσεται ακόμα πιο εντατικά στις περισσότερο αναπτυγμένες χώρες.

Οι φορητοί υπολογιστές και οι αντίστοιχες εφαρμογές θα γίνουν απαραίτητοι ακόμα και σε μέρη όπου δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή. Οι ασύρματες συσκευές θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ακόμα κι αν δεν υπάρχουν δρομολογητές ή σταθμοί βάσης ή παροχείς



υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs). Κατά την απουσία υποδομής, απαιτείται οι ίδιες οι ασύρματες συσκευές να πραγματοποιούν τις απαραίτητες λειτουργίες.

## 1.1 Μοντέλο Λειτουργίας

Σε γενικές γραμμές θα ασχοληθούμε με τους τρόπους που οι ασύρματες συσκευές πραγματοποιούν κρίσιμες για την τοπολογία του δικτύου λειτουργίες, οι οποίες συνήθως είναι δουλειά των δρομολογητών στην υποδομή του Internet. Ο εντοπισμός των συνδέσεων μεταξύ υπολογιστών είναι κάτι τόσο βασικό που ένα δίκτυο υπολογιστών δεν μπορεί εξ' ορισμού να υπάρξει χωρίς αυτό. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά είδη πρωτοκόλλων που υποστηρίζονται από κάποια υποδομή, είτε σε κάποια συγκεκριμένη επιχείρηση ή στο διαδίκτυο γενικότερα. Τα τελευταία πρωτόκολλα αξίζουν μελέτη, αλλά χρειάζονται προσαρμογή πριν να καταστούν χρήσιμα σε ένα δίκτυο που δεν συνδέεται πλέον με την υποδομή του Internet. Μερικά από αυτά δεν θα είναι κατάλληλα για χρήση όταν δεν είναι διαθέσιμη η υποδομή. Για παράδειγμα, τέτοια είναι τα πρωτόκολλα επικύρωσης πιστωτικών καρτών και διαχείρισης δικτύου. Από πλευράς ορισμού, ένα *ad hoc* δίκτυο είναι αυτό που δημιουργείται όταν χρειάζεται, χωρίς απαραίτητα την βοήθεια της υπάρχουσας υποδομής. Για παράδειγμα, κάποιος θα μπορούσε να ενεργοποιήσει 15 φορητούς υπολογιστές, ο καθένας από τους οποίους θα φέρει τον ίδιο προσαρμογέα επικοινωνίας μέσω υπέρυθρων ακτίνων, και να ελπίζει ότι θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα δίκτυο μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια ιδιότητα θα ήταν χρήσιμη ακόμα και στη περίπτωση όπου οι υπολογιστές ήταν στάσιμοι.

Στο χώρο σχεδιασμού ενός *ad hoc* δικτύου υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαστάσεων. Σκεφθείτε για παράδειγμα, αν η περιοχή ασύρματης μετάδοσης πρέπει να είναι μεγάλη ή μικρή συγκρινόμενη με την γεωγραφική κατανομή των κινητών κόμβων. Αν όλοι οι κινητοί κόμβοι είναι εντός του μεταξύ τους εύρους, τότε δεν χρειάζεται δρομολόγηση και το *ad hoc* δίκτυο είναι εξ' ορισμού πλήρως

συνδεδεμένο. Βέβαια ενώ στην πράξη μια τέτοια κατάσταση είναι ιδανική, δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον στον τομέα της δρομολόγησης.

Επιπλέον, η ένταση της ισχύος που απαιτείται για επιτευχθεί πλήρης συνδεσιμότητα μπορεί να μην είναι πρακτική, να σπαταλάει υπερβολική ενέργεια, να είναι πολύ ευάλωτη σε εντοπισμό ή ακόμα και παράνομη.

Έτσι, θα συζητήσουμε τις προτάσεις που παρέχουν λύσεις στην περίπτωση που κάποιοι από τους κινητούς κόμβους δεν βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης των υπολοίπων. Συνδυαζόμενο με την απουσία δρομολογητών υποδομής, το περιορισμένο εύρος της ασύρματης μετάδοσης καταδεικνύει την ανάγκη για δρομολόγηση πολλαπλών αλμάτων (multihop).

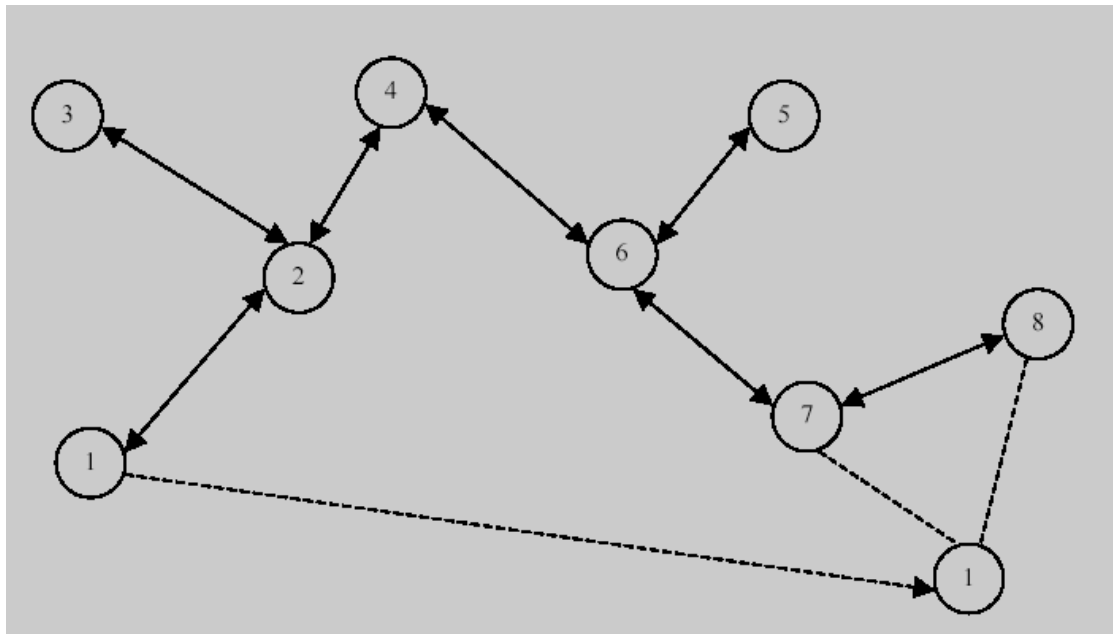
Σαν ένα επιπλέον παράδειγμα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι χρήστες των ασύρματων συσκευών μπορούν να μετρήσουν τις σχετικές τους θέσεις και κατ' επέκταση να διαμορφώσουν τους φορητούς υπολογιστές τους χρησιμοποιώντας τις μετρηθείσες αποστάσεις, έτσι ώστε οι απαραίτητες πληροφορίες ζεύξης να είναι διαθέσιμες σε όλους τους κόμβους. Μια τέτοια μορφή θα λειτουργούσε, αλλά δεν θα ήταν και τόσο εξυπηρετική. Ακόμα χειρότερα, οι πληροφορίες ζεύξης πιθανότατα θα άλλαζαν καθώς οι χρήστες κινούνται σε σχέση με τους υπολοίπους. Ουσιαστικά, δεν μας ενδιαφέρει το να απλοποιήσουμε το πρόβλημα σε βάρος της εξυπηρέτησης του χρήστη, αλλά θα περιορίσουμε την προσοχή μας στις προτάσεις που παρέχουν αυτόματη εγκατάσταση της τοπολογίας και δυναμική διαχείριση αυτής, δίνοντας στο χρήστη δυνατότητα κινητικότητας.

Στην εργασία αυτή, η ανάλυση στηρίζεται στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο δικτύου IP και φέρουν διευθύνσεις IP οι οποίες καθορίζονται από ακανόνιστα μέσα
- Οι κόμβοι είναι αρκετά μακριά έτσι ώστε να μην βρίσκονται όλοι στην περιοχή κάλυψης των υπολοίπων
- Οι κόμβοι μπορούν να είναι κινητοί, ούτως ώστε δύο κόμβοι που βρίσκονται στην ίδια περιοχή κάποια χρονική στιγμή να μην βρίσκονται στην ίδια περιοχή αργότερα

- Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να βοηθούν τους υπολοίπους στη διαδικασία παράδοσης πακέτων δεδομένων.

Ένα παράδειγμα από ένα μικρό *ad hoc* δίκτυο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου παρατίθενται 8 κόμβοι με τις ζεύξεις μεταξύ τους. Οι κόμβοι αυτοί έχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε σχέση με τους υπολοίπους. Καθώς συμβαίνει αυτό οι ζεύξεις μεταξύ τους καταστρέφονται και δημιουργούνται νέες. Στο σχήμα, ο κόμβος 1 κινείται μακριά από τον 2 και δημιουργεί καινούργιες ζεύξεις με τους 7 και 8.



Σχήμα 1.1: *ad hoc* δίκτυο με κινητούς κόμβους

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι επιτρέπουν την εμφάνιση νέων κόμβων και την εξαφάνιση παλαιότερων.

### 1.1.1. Συμμετρικές Ζεύξεις

Κάποια από τα μοντέλα που θα ασχοληθούμε εξαρτώνται από την ύπαρξη συμμετρικών ζεύξεων επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο. Δυστυχώς, οι ασύρματες ζεύξεις στον πραγματικό κόσμο δεν συμβαδίζουν απαραίτητα με τον παραπάνω συμβιβασμό. Η υπόθεση της συμμετρίας γίνεται επειδή η δρομολόγηση σε δίκτυα με μονόπλευρες ζεύξεις είναι ως γνωστόν αρκετά δύσκολη. Βέβαια, αν το δίκτυο παρουσιάζει υψηλό βαθμό συνδεσιμότητας και σχετικά χαμηλό αριθμό μονόπλευρων ζεύξεων, τότε μπορούν να εντοπιστούν εναλλακτικές διαδρομές που περιλαμβάνουν αποκλειστικά συμμετρικές ζεύξεις.

Υπάρχει ακόμα ένας παράγοντας που μετριάζει τη σημασία της απόφασης να αγνοηθούν οι ασύμμετρες διαδρομές. Μια μονόπλευρη ζεύξη είναι μερικές φορές στα πρόθυρα κατάρρευσης ούτως ή άλλως. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επέκταση του βασικού πρωτοκόλλου των *ad hoc* δικτύων έτσι ώστε να αντιμετωπίζει τις μονόπλευρες ζεύξεις μπορεί να προκαλέσει τον προσδιορισμό λιγότερο εύρωστων διαδρομών, πράγμα που οδηγεί σε πρόωρη κατάρρευση του συστήματος και κατ' επέκταση στην ανάγκη για νέο κύκλο αναζήτησης διαδρομής, ο οποίος συνήθως είναι πιο περίπλοκος.

### 1.1.2. Λύσεις *Ad Hoc* Επιπέδου 2

Τα πρωτόκολλα *ad hoc* δικτύων που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια της εργασίας στοχεύουν κυρίως στη λειτουργία του επιπέδου 3. Είναι δυνατόν, πρακτικά σε όλες τις περιπτώσεις, να προσαρμοστεί το πρωτόκολλο για χρήση στο επίπεδο 2. Για να γίνει αυτό θα πρέπει αρχικά το πεδίο διεύθυνσης IP να μεγεθυνθεί ώστε να περιλαμβάνει 48 (ή περισσότερα) bits αντί για 32 που απαιτούνται στο IP, αφού η διεύθυνση IEEE MAC έχει τυπικό μήκος 48 ή 64 bits. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα αφού μια τέτοια προσαρμογή θα χρειαστεί ούτως ή άλλως για να δοθεί η δυνατότητα στο πρωτόκολλο να λειτουργεί σε δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν διευθυνσιοδότηση IPv6.

Παρόλα αυτά, δεδομένης της ανάπτυξης των εφαρμογών IP στη δημιουργία δικτύων, κάθε εφαρμογή τελικά θα προκαλέσει σε ένα υποσύστημα επικοινωνιών την ανάγκη να «μεταφράσει» τη διεύθυνση IP σε μια γειτονική διεύθυνση του επιπέδου 2, ή αλλιώς σε μια διεύθυνση επιπέδου 2 ενός κόμβου στη γειτονιά, που μπορεί να μεταφέρει τα πακέτα προς την IP διεύθυνση του επιθυμητού προορισμού. Όταν ο πίνακας δρομολόγησης στον κόμβο πηγής έχει τις IP διευθύνσεις των επιθυμητών προορισμών, τότε η προώθηση μέσω IP πλαισιώνει τα δεδομένα με μια επικεφαλίδα επιπέδου 2 που περιέχει τη διεύθυνση προορισμού του επιπέδου 2 για το επόμενο άλμα κατά μήκος του μονοπατιού προς τον τελικό προορισμό.

Η ευχάριστη αυτή κατάσταση εξαλείφεται όμως όταν η δρομολόγηση βασίζεται σε διευθύνσεις επιπέδου 2. Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει διευθύνσεις προορισμού επιπέδου 2. Αυτό υπονοεί ότι η IP διεύθυνση του προορισμού θα πρέπει να «μεταφραστεί» σε μια διεύθυνση προορισμού επιπέδου 2 ακόμα κι αν ο προορισμός βρίσκεται αρκετά άλματα μακριά. Τότε, εκτός αν η αναζήτηση διαδρομής στο επίπεδο 2 κατέχει τις απαραίτητες πληροφορίες διευθυνσιοδότησης επιπέδου 3 με τις κατάλληλες προεκτάσεις, θα απαιτηθούν επιπλέον λειτουργίες αναζήτησης μέσω ευρεκπομπής. Αν οι πληροφορίες επιπέδου 3 περιλαμβάνονται για καλύτερη απόδοση, τότε η όλη λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί ως μια αναζήτηση διαδρομής επιπέδου 3 ούτως ή άλλως, παρά την ασυνήθιστη δομή των δεδομένων για την αποθήκευση των διαδρομών.

### **1.1.3. Πολυεκπομπή (multicast)**

Τα *ad hoc* δίκτυα παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε μεγάλο βαθμό λόγω της πρόκλησης να διατηρηθεί το μονοπάτι επικοινωνίας μεταξύ πηγής και προορισμού, ακόμα κι όταν κάποιοι από τους ενδιάμεσους κόμβους αναμετάδοσης δεν είναι δυνατό να συνεχίσουν να μεταδίδουν τα πακέτα και

πρέπει να αντικατασταθούν από άλλους κόμβους σε εναλλακτικά μονοπάτια. Η διατήρηση μονοπατιών ανάμεσα σε μια πηγή και πολλαπλούς προορισμούς είναι σχετικά πιο δύσκολη εργασία. Δεδομένης της αυξανόμενης σημασίας της πολυεκπομπής σαν μέσο για μείωση της χρήσης του εύρους ζώνης κατά τη μαζική μετάδοση δεδομένων και της πιεστικής ανάγκης για εξοικονόμηση του σπάνιου εύρους ζώνης σε ασύρματα μέσα, είναι φυσικό ότι η δρομολόγηση πολυεκπομπής θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα στα *ad hoc* δίκτυα.

Ένα ανοικτό ερώτημα είναι αν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης πολυεκπομπής θα πρέπει να ενσωματωθούν με τους αλγορίθμους δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μονοπατιών επικοινωνίας ανάμεσα σε μοναδικούς κόμβους. Από τη μια πλευρά, το πρόβλημα μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικό, ώστε το να προσπαθήσει κάποιος να δημιουργήσει έναν απλό αλγόριθμο που να εξυπηρετεί και τις δυο περιπτώσεις να είναι ανέφικτο. Από την άλλη πλευρά, το πρόβλημα της επαναδημιουργίας μονοπατιών που δημιουργήθηκε από την κίνηση των ενδιάμεσων κόμβων σε μια διαδρομή ή ένα δένδρο μπορεί να υπερισχύει και στις δυο περιπτώσεις.

## 1.2. Εμπορικές Εφαρμογές Ad Hoc Δικτύων

Σε αυτό το τμήμα της εισαγωγής μας θα μελετήσουμε κάποιες πιθανές εφαρμογές για *ad hoc* δίκτυα, οι οποίες μπορούν να παρέχουν τη βάση για εμπορικά επιτυχή προϊόντα. Στην πραγματικότητα, κάθε εμπορικά επιτυχής δικτυακή εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί υποψήφια για χρήσιμη ανάπτυξη με κόμβους που μπορούν να δημιουργήσουν *ad hoc* δίκτυα.

Για παράδειγμα, οι χρήστες των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο μπορεί να επιθυμούν τη μεταφορά ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Αν κάποιοι κόμβοι σε ένα *ad hoc* δίκτυο παρέχουν υπηρεσίες διαδικτύου, οι άλλοι κόμβοι που επιθυμούν να κάνουν χρήση αυτής της υπηρεσίας θα πρέπει να συνδεθούν στον κατάλληλο εξυπηρετητή (server) και να υποστηρίξουν τη συνήθη HTTP κίνηση.

### 1.2.1. Συνεδριάσεις

Ενδεχομένως η πρώτη εφαρμογή που απαιτεί τη δημιουργία ενός *ad hoc* δικτύου είναι οι τηλεδιασκέψεις. Όταν κάποιοι χρήστες κινητών υπολογιστών βρίσκονται έξω από το συνηθισμένο περιβάλλον εργασίας τους, απουσιάζει όπως είναι φυσικό η υποδομή δικτύου της επιχείρησής τους. Αλλά η ανάγκη για συνεργασία μέσω υπολογιστή είναι μεγαλύτερη σε αυτή την περίπτωση παρά στο περιβάλλον γραφείου. Πράγματι, η όλη ιδέα της συνάντησης μπορεί να είναι η πρόοδος σε ένα συγκεκριμένο κοινό έργο. Με δεδομένο ότι οι σημερινές εργασίες στηρίζονται ιδιαίτερα στους υπολογιστές, για τέτοιες εργασίες που μοιράζονται σε διάφορες εταιρίες είναι απαραίτητη η δυνατότητα δημιουργίας δικτύου *ad hoc*. Όπως φαίνεται, η εγκατάσταση ενός *ad hoc* δικτύου για συνεργαζόμενους χρήστες κινητών συσκευών είναι απαραίτητη ακόμα και όταν είναι διαθέσιμη η υποδομή του διαδικτύου. Αυτό προκύπτει από το πιθανό *overhead* που απαιτείται όταν χρησιμοποιούνται σταθερές ζεύξεις, οι οποίες συνεπάγονται μη βέλτιστη δρομολόγηση μεταξύ των σημαντικά διαχωρισμένων περιβαλλόντων εργασίας.

### 1.2.2. Οικιακό Δίκτυο

Σαν ένα άλλο παράδειγμα, σκεφθείτε το σενάριο που θα προκύψει όταν οι ασύρματοι υπολογιστές γίνουν δημοφιλείς στο οικιακό περιβάλλον. Αυτοί οι υπολογιστές θα μεταφέρονται στο περιβάλλον εργασίας αλλά και σε επαγγελματικά ταξίδια. Είναι πολύ πιθανό ότι αυτοί οι υπολογιστές δεν θα έχουν διευθύνσεις IP που να σχετίζονται με την τοπολογία, ειδικά αν συνδέονται για παράδειγμα στο γραφείο των γονιών ή στο σχολείο ενός παιδιού. Έχοντας υπόψη την ευκολία που προσφέρει στο χρήστη η σταθερή διεύθυνση IP, θα ήταν καλό να επιτρέπουμε στις διάφορες κινητές συσκευές να δημιουργούν ένα *ad hoc* δίκτυο στο σπίτι, ακόμα κι αν στο οικιακό περιβάλλον υπάρχουν ήδη σταθεροί

κόμβοι υποδικτύου. Προσθέστε σε αυτό το γεγονός ότι αποδίδοντας πολλαπλές IP διευθύνσεις σε κάθε κινητό κόμβο με σκοπό την αναγνώριση, θα επιβάλλει επιπλέον διαχειριστικό φόρτο, τότε η εναλλακτική της ανάπτυξης ενός *ad hoc* δικτύου (δημιουργείται αυτόματα όταν και όπου χρειάζεται) φαντάζει πολύ πιο ελκυστική. Τα δίκτυα *ad hoc* προσφέρουν την προοπτική της συνδεσιμότητας σε όλους τους κόμβους του σπιτιού, ανεξάρτητα από το σταθερό σημείο σύνδεσής τους, το οποίο καταδεικνύεται από το πρόθεμα του δικτύου που είναι τμήμα κάθε IP διεύθυνσης. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως το Mobile IP, οι κόμβοι στα οικιακά *ad hoc* δίκτυα λειτουργούν σα να ήταν συνδεδεμένοι στο σταθερό τους περιβάλλον και επιπρόσθετα συμμετέχουν (με μεγαλύτερη απόδοση) σε ένα τοπικό *ad hoc* δίκτυο.

### 1.2.3. Υπηρεσίες Ανάγκης

Όταν δημιουργείται στο σπίτι ή και μακριά από αυτό, σε μια συνάντηση, ένα *ad hoc* δίκτυο, αντισταθμίζει την έλλειψη υποδομής. Αλλά τι γίνεται στην περίπτωση που η υπάρχουσα υποδομή έχει καταστραφεί ή δεν λειτουργεί για άλλους λόγους; Είμαστε εξοικειωμένοι με περιπτώσεις τοπικής απώλειας ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικών καταστροφών που δοκιμάζουν τη ζωή των ανθρώπων σε ολόκληρο τον κόσμο. Καθώς μεγαλώνει η σημασία του Internet, η απώλεια της σύνδεσης με το δίκτυο σε τέτοιες έκτακτες περιστάσεις γίνεται όλο και πιο αισθητή. Επιπροσθέτως, οι δικτυακές εφαρμογές θα γίνουν πιο σημαντικές για τις υπηρεσίες ανάγκης και έτσι είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι ώστε να είναι δυνατή η λειτουργία δικτύων ακόμα και αν τα στοιχεία της υποδομής δεν λειτουργούν πλέον σαν αποτέλεσμα μιας καταστροφής.

Τα *ad hoc* δίκτυα μπορούν να βοηθήσουν στο να ξεπεραστεί η βλάβη των δικτύων κατά τη διάρκεια της έκτακτης ανάγκης. Οι κινητές μονάδες θα φέρουν δικτυακό εξοπλισμό σαν υποστήριξη λειτουργιών δρομολόγησης για τις στιγμές που το διαδίκτυο είναι διαθέσιμο και η υποδομή λειτουργεί κανονικά. Με κάποιες από τις τεχνικές και τα πρωτόκολλα που θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια οι



κινητές μονάδες μπορούν να επεκτείνουν τη χρησιμότητα του δικτυακού εξοπλισμού τους στη διάρκεια κρίσεων. Για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα της αστυνομίας και της πυροσβεστικής μπορούν να διατηρούν επαφή για περισσότερο χρόνο και να παρέχουν πληροφορίες πιο γρήγορα όταν συνεργάζονται για τη δημιουργία ενός *ad hoc* δικτύου σε μέρη που ούτως ή άλλως δεν προσφέρεται σύνδεση με το Internet.

#### 1.2.4. Δίκτυα Αισθητήρων

Τελευταία, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις ιδέες συντονισμού των λειτουργιών και των αναφορών ενός πλήθους μικροσκοπικών αισθητήρων. Τέτοιες συσκευές, φθηνές στην κατασκευή μεγάλων ποσοτήτων, θα μπορούσαν να παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για το έδαφος ή σε επικίνδυνες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επίσης μπορεί να φέρουν ενδείκτες θέσης που θα χρησιμεύουν στον προσδιορισμό της απόστασης (σε μορφή αλμάτων) του κάθε αισθητήρα από ένα σταθερό κόμβο συλλογής στοιχείων.

Τέτοια δίκτυα αισθητήρων έχουν δύο χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το σχεδιασμό δικτύων για συλλογή δεδομένων:

- Αφού τοποθετηθούν, οι αισθητήρες παραμένουν στάσιμοι
- Ο πληθυσμός είναι σχεδόν πλήρως ομογενής
  - Η ενέργεια των κόμβων είναι περιορισμένη και γι' αυτό απαιτούνται εξεζητημένοι τρόποι προγραμματισμού των μεταδόσεων
- Στην πραγματικότητα, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας θα καθορίσει και το χρόνο ζωής του κόμβου.

Σαν ένα παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι κάποια επικίνδυνα χημικά διασκορπίστηκαν κατά κάποιο άγνωστο τρόπο λόγω μιας έκρηξης ή κάποιου άλλου είδους ατυχήματος. Αντί λοιπόν να σταλεί προσωπικό έκτακτης ανάγκης που θα μπορούσε να κινδυνεύσει λόγω των επικίνδυνων αερίων και θα έπρεπε να εργάζεται φέροντας άβολο εξοπλισμό προστασίας, μπορούμε να

χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες με ασύρματους πομποδέκτες ρίχνοντάς τους από ένα αεροπλάνο που εκτελεί χαμηλή πτήση. Οι αισθητήρες θα δημιουργήσουν τότε ένα *ad hoc* δίκτυο και θα συνεργαστούν ώστε να συγκεντρώσουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την αναγνώριση του χημικού. Στρατιωτικές εφαρμογές παρουσιάζουν επίσης σημαντικό ενδιαφέρον.

### 1.2.5. Άλλες Εφαρμογές

Όταν τα δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης εφαρμοστούν ευρέως, τα *ad hoc* δίκτυα θα καταστούν πλήρως διαθέσιμα και θα είναι χρήσιμα με πολλούς τρόπους τους οποίους δεν μπορούμε ακόμα να αντιληφθούμε με δεδομένη την τωρινή εμπειρία μας. Για παράδειγμα, οι πανεπιστημιακοί χώροι μπορούν να γίνουν μεγάλα *ad hoc* δίκτυα καθώς οι φοιτητές και το προσωπικό μαθαίνουν να στηρίζονται στις φορητές συσκευές τους για επικοινωνία. Η μετάδοση μηνυμάτων και η αναζήτηση πληροφοριών ελέγχεται από τη διατιθέμενη ασύρματη υποδομή ή από τις συνδέσεις *ad hoc* μορφής, ανάλογα με το ποιο είναι πιο εύκολο την κάθε στιγμή. Όμοια, σε νοσοκομεία, οι απασχολημένοι γιατροί και νοσοκόμες θέλουν να βασίζονται στην υπάρχουσα υποδομή κάποιες στιγμές και στις άμεσες ζεύξεις κάποιες άλλες. Οι επισκέπτες γιατροί και οι τραυματιοφορείς θα μπορούν να επικοινωνούν με τους εσωτερικούς γιατρούς και να λαμβάνουν ή να μεταδίδουν πληροφορίες από τον κατάλληλο εξοπλισμό. Οι εργασίες αυτές θα πραγματοποιούνται τις περισσότερες φορές μέσω της υποδομής αλλά θα πρέπει οι ίδιες επικοινωνίες να μπορούν να υλοποιηθούν και χωρίς τη μεσολάβηση της υποδομής. Βλέποντάς το βέβαια από άλλη γωνία, το να αναζητούμε εφαρμογές ώστε να δικαιολογήσουμε την ανάπτυξη των *ad hoc* δικτύων είναι σαν να βάζουμε το κάρο πριν από το άλογο. Αυτό που πραγματικά έχει σημασία είναι να κάνουμε την τεχνολογία των επικοινωνιών χρήσιμη για τους ανθρώπους παντού, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή τη φύση της υπάρχουσας υποδομής.

Όταν κάποιοι άνθρωποι βρίσκονται εντός της περιοχής ασύρματης κάλυψης των υπολοίπων, είναι ατυχές το γεγονός ότι με βάση την παλαιότερη τεχνολογία είναι απαραίτητη η χρήση υποδομής. Με τα *ad hoc* δίκτυα, οι τοπικές επικοινωνίες μπορούν να βασιστούν αποκλειστικά σε τοπικά επικοινωνιακά κανάλια, τεχνολογίες μετάδοσης και αντίστοιχα πρωτόκολλα. Καθώς η τοπική τεχνολογία κερδίζει έδαφος, αναμένουμε να αποδοθεί το κατάλληλο φάσμα για την τοπική χρήση, με δεδομένο ότι το φάσμα στην μπάντα ISM δεν θα επαρκεί για να ικανοποιήσει τις μελλοντικές ανάγκες. Η άνθιση της ασύρματης κυβελωτής τηλεφωνίας σε συνδυασμό με τα *ad hoc* δίκτυα, μπορεί να παρέχει ένα παράδειγμα δημόσιας χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων.

### **1.3. Τεχνικοί και Επιχειρηματικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τα Ad Hoc Δίκτυα**

Οι κόμβοι που περιλαμβάνονται σε ένα *ad hoc* δίκτυο, συχνά θεωρείται ότι φέρουν προκαθορισμένες IP διευθύνσεις ή καθορισμένες με κάποιο τρόπο που δε συνδέεται άμεσα με την θέση τους σε σχέση με την υπόλοιπη τοπολογία του δικτύου. Αυτό διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο προσδίδεται μια IP διεύθυνση σε ένα κόμβο στο Internet. Η δρομολόγηση στο σημερινό διαδίκτυο βασίζεται στην ικανότητα να συσσωρεύεται πληροφορία συνδεσιμότητας στους IP κόμβους. Η συσσώρευση αυτή βασίζεται στην ανάθεση των IP διευθύνσεων στους κόμβους έτσι ώστε όλοι οι κόμβοι που ανήκουν στην ίδια σύνδεση δικτύου να φέρουν το ίδιο πρόθεμα δρομολόγησης. Στην πράξη, η καλή διαχείριση δικτύου απαιτεί τα γειτονικά δίκτυα να έχουν παρόμοια προθέματα. Το πρωτόκολλο CIDR (Classless Inter-Domain Routing) είναι πολύ αποτελεσματικό στο να μειώνει τον αριθμό των προθεμάτων που πρέπει να μεταδοθούν κατά μήκος του Internet και έτσι επιτρέπει στο σημερινό υλικό δρομολόγησης να διατηρεί τη διευθυνσιοδότηση του Internet. Η διαδικασία συσσώρευσης μπορεί να επαναλαμβάνεται κατά κόρον αν οι διαχειριστές του δικτύου για γειτονικούς τόπους συνεργάζονται χρησιμοποιώντας προθέματα που περιλαμβάνουν μια κοινή

αρχική δέσμη bits (π.χ. κοινό μικρότερο πρόθεμα). Αυτό δημιουργεί μια ιεραρχία από προθέματα – μικρότερα προθέματα που ταιριάζουν στα υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας. Η συνδεσιμότητα για όλους τους κόμβους στην ιεραρχία μπορεί να περιγραφεί μεταδίδοντας ένα απλό μικρό πρόθεμα. Το γεγονός αυτό μειώνει δραστικά την ποσότητα της πληροφορίας δρομολόγησης που πρέπει να μεταδοθεί και παρέχει την απαραίτητη οικονομία ώστε το διαδίκτυο να συνεχίσει να αναπτύσσεται.

Μπορούμε να πούμε λοιπόν ότι η συσσώρευση των πληροφοριών δρομολόγησης είναι το κλειδί για τη δυνατότητα επέκτασης του Internet. Με τα *ad hoc* δίκτυα όμως μια τέτοια επέκταση δεν είναι εφικτή. Κάποιες προτεινόμενες μέθοδοι προσπαθούν να επανεισάγουν τη συσσώρευση ελέγχοντας τις IP διευθύνσεις των κινητών κόμβων, αλλά αυτό απαιτεί την αλλαγή των διευθύνσεων και κατ' επέκταση των πληροφοριών δρομολόγησης που σχετίζονται με τον κινητό κόμβο, ανάλογα με τη σχετική κίνηση των κόμβων. Δε θα λέγαμε ότι είναι προφανές το κέρδος από την βελτιωμένη συσσώρευση έναντι της περίπλοκης ανακατανομής των διευθύνσεων και των ενημερώσεων των πινάκων δρομολόγησης. Έτσι, η δυνατότητα επεκτασιμότητας που επιτυγχάνεται μέσω της συσσώρευσης στο Internet, δεν είναι διαθέσιμη στα *ad hoc* δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στη βιωσιμότητα των *ad hoc* αλγορίθμων για υπερβολικά μεγάλο αριθμό κινητών χρηστών. Τα όρια αυτά βασίζονται στη σχετική ταχύτητα της κίνησης μεταξύ των κόμβων. Περισσότερη κίνηση σημαίνει περισσότερη συντήρηση, έτσι ώστε οι διαθέσιμες πληροφορίες δρομολόγησης να παραμένουν χρήσιμες. Στην περίπτωση μη ελεγχόμενης αύξησης της κινητικότητας των κόμβων, κάθε *ad hoc* δίκτυο θα απαιτεί τελικά τόσο πολλή συντήρηση διαδρομών που δεν θα απομένει εύρος ζώνης για τη μετάδοση πακέτων δεδομένων.

## 1.4 Δυνατότητα Επεκτασιμότητας

Λόγω του ότι τα *ad hoc* δίκτυα δεν επιτρέπουν τυπικά την ίδια συσσώρευση που είναι διαθέσιμη στα γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης του Internet, είναι ευάλωτα σε προβλήματα επεκτασιμότητας. Συγκεκριμένα, η απώλεια συσσώρευσης οδηγεί σε μεγαλύτερους πίνακες δρομολόγησης. Υπάρχουν τρόποι να διατηρηθεί η συσσώρευση στα *ad hoc* δίκτυα. Η συσσώρευση και η διευθυνσιοδότηση που χρησιμοποιείται στη δρομολόγηση δε βασίζεται στο IP. Συνεπώς, τα *ad hoc* πρωτόκολλα που βασίζονται στο IP συχνά πρέπει να χρησιμοποιούν επιπλέον μνήμη για να αποθηκεύουν τους πίνακες δρομολόγησης και κύκλους επεξεργασίας ώστε να τους ανατρέχουν.

Η κινητικότητα των κόμβων εισάγει άλλα είδη προβλημάτων επεκτασιμότητας για τα *ad hoc* πρωτόκολλα. Αφού η διαδρομή αλλάζει καθώς ο κόμβος κινείται, θα πρέπει να σταλούν σε όλο το δίκτυο μηνύματα ελέγχου που αντιπροσωπεύουν τις τρέχουσες πληροφορίες συνδεσιμότητας. Αυτά τα μηνύματα ελέγχου θα μεταδίδονται πιο συχνά αν οι κόμβοι κινούνται πιο γρήγορα σε σχέση με τους υπολοίπους γιατί οι ζεύξεις θα καταστρέφονται ή θα δημιουργούνται νέες. Αυτό συνήθως συμβαίνει πραγματικά, εκτός αν η κίνηση των κόμβων παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση.

Ο αυξημένος αριθμός μηνυμάτων ελέγχου προσθέτει ένα ακόμη φόρτο στο διαθέσιμο εύρος ζώνης το οποίο είναι ήδη ένας περιοριστικός παράγοντας στην επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Έτσι, τα *ad hoc* πρωτόκολλα έχουν τυπικά σχεδιαστεί ώστε να μειώνουν τον αριθμό των μηνυμάτων ελέγχου, συχνά διατηρώντας πληροφορίες κατάστασης σε καθορισμένους κόμβους. Το μειονέκτημα της διατήρησης αυτών των πληροφοριών είναι ότι μπορεί να ξεπεραστούν και η μόνη λύση για την ενημέρωσή τους είναι η εισαγωγή περισσότερων μηνυμάτων ελέγχου. Ανάλογα με τις λεπτομέρειες του αλγορίθμου, η μετάδοση των μηνυμάτων ελέγχου μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητο φόρτο στα επιμέρους στοιχεία επεξεργασίας ή επίσης και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Για παράδειγμα, πρωτόκολλα που υπολογίζουν εκ νέου

την τοπολογία ολόκληρου του δικτύου όταν λαμβάνεται μια καινούργια πληροφορία δρομολόγησης επειδή ένας κόμβος δημιουργήσε ή κατήργησε μια σύνδεση με ένα από τους γείτονές του, παρουσιάζουν αυξημένους χρόνους σύγκλισης. Τα δεδομένα σε μια τέτοια ενημέρωση διαδρομών πρέπει να επεξεργάζονται σε πολύ μικρό χρόνο σε σχέση με δύο συνεχόμενα γεγονότα που συμβαίνουν στο δίκτυο και οφείλονται στην κινητικότητα των κόμβων. Αλλιώς, το *ad hoc* δίκτυο δεν πρόκειται να σταθεροποιηθεί. Η αστάθεια των διαδρομών είναι πιθανό να προκαλέσει βρόχους οι οποίοι προκαλούν με τη σειρά τους αναίτια κατανάλωση εύρους ζώνης. Σύμφωνα με το «νόμο του Murthy» αυτά τα προβλήματα εμφανίζονται τη στιγμή που δεν είναι ευπρόσδεκτα ή όταν η επικοινωνία είναι πολύ κρίσιμη.

Οι αλγόριθμοι για τα *ad hoc* δίκτυα πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά και να συγκρίνονται ως προς τη σχετική τους επεκτασιμότητα σε σχέση με την αύξηση του πλήθους των κόμβων και την αυξανόμενη κινητικότητά τους. Αν είναι γνωστές οι μέγιστες τιμές για αυτούς τους αριθμούς, είναι λογικό να υπολογίσουμε πόσα μηνύματα ελέγχου απαιτούνται για τη διαχείριση του δικτύου και να συγκρίνουμε τη συνολική κίνηση λόγω των μηνυμάτων ελέγχου σε σχέση με το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης. Όσο η κίνηση ελέγχου καταλαμβάνει ένα μικρό τμήμα του ολικού εύρους ζώνης, τότε το πρωτόκολλο μπορεί να θεωρείται αποδεκτό. Όμοια, ο χρόνος που απαιτείται για τη σύγκλιση θα πρέπει να υπολογίζεται με βάση μια γνωστή τιμή για τη μέγιστη κινητικότητα των κόμβων.

## 1.5 Απαιτούμενη Ενέργεια – Καθυστέρηση

Στα περισσότερα είδη *ad hoc* δικτύων, οι κινητοί κόμβοι λειτουργούν με μπαταρία. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους γίνεται αυτό. Πρώτον, μεταδίδουν τα δεδομένα στον επιθυμητό αποδέκτη. Αυτή η χρήση της ισχύος δεν αποτελεί τμήμα του *overhead* των *ad hoc* δικτύων. Δεύτερον, ένας κινητός κόμβος μπορεί να προσφέρει τον εαυτό του σαν ενδιάμεσο κόμβο προώθησης

των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν μεταξύ δύο άλλων κόμβων του δικτύου. Η παροχή μιας τέτοιας υπηρεσίας θα κοστίζει σε κατανάλωση ισχύος, αλλά χωρίς αυτή δεν μπορεί να υπάρξει *ad hoc* δίκτυο.

Υπάρχουν ενδιαφέρουσες ερωτήσεις για το πότε ένας κόμβος θα πρέπει να προωθεί κίνηση. Για παράδειγμα, ένας κόμβος με πλήρη ισχύ θα πρέπει να είναι πιο πρόθυμος να προωθήσει δεδομένα για τους γείτονές του από έναν άλλο η ισχύς του οποίου έχει σχεδόν εξαντληθεί. Οι κόμβοι με μειωμένη ενέργεια θα περιορίζουν τις δραστηριότητές τους στο να μεταδίδουν και να λαμβάνουν επείγοντα ή υψηλής προτεραιότητας μηνύματα. Οι κόμβοι – εξυπηρετητές θα προσπαθούν να εξοικονομήσουν εύρος ζώνης για μετάδοση προσωπικών τους δεδομένων στηριζόμενοι στους γειτονικούς τους κόμβους για τη δημιουργία διαδρομών ανάμεσα σε άλλους κόμβους. Άλλοι κόμβοι θα προσπαθούν να ανεξαρτητοποιηθούν από τους γείτονές τους εκμεταλλευόμενοι τις υπηρεσίες προώθησής τους χωρίς όμως να προσφέρουν τίποτα σε αντάλλαγμα. Αν εμφανιστεί μια τέτοια συμπεριφορά θα πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε αυτοί οι κόμβοι να απομονωθούν και θα πρέπει οι υπηρεσίες να προσφέρονται μόνο σε συνεργάσιμους κόμβους. Το να εντοπιστεί βέβαια μια τέτοια συμπεριφορά είναι πολύ δύσκολο, αν όχι αδύνατο. Για παράδειγμα, η συμπεριφορά ενός κόμβου – φύλλου δεν μπορεί να διαχωριστεί από αυτή ενός μη συνεργάσιμου κόμβου.

Η συμπεριφορά των κόμβων σε ένα *ad hoc* δίκτυο με δεδομένο τον περιορισμό ενέργειας, θα επηρεάζει την ευκολία με την οποία μπορούν να δημιουργηθούν δρόμοι μεταξύ των επιθυμητών σημείων. Αν χρειαστούν περισσότερα μηνύματα ελέγχου για εντοπιστεί ή να διατηρηθεί μια διαδρομή, μπορεί να αυξηθεί η καθυστέρηση. Αν μεταδίδονται περιοδικά κατά μήκος του δικτύου πληροφορίες δρομολόγησης, τότε θα επιβάλλονται μεγαλύτερες απαιτήσεις στην ενέργεια του κάθε κόμβου. Όμως, όσο περισσότερες πληροφορίες δρομολόγησης είναι διαθέσιμες, είναι πιο πιθανό να εντοπιστεί μια καλή διαδρομή όταν απαιτηθεί, χωρίς επιπλέον λειτουργίες ελέγχου. Αυτό γίνεται πραγματικότητα καθώς αυξάνει η συχνότητα περιοδικής μετάδοσης γιατί έτσι είναι πιο πιθανό να ισχύουν οι αποθηκευμένες πληροφορίες. Το να βρεθεί το

σημείο ισορροπίας μεταξύ της συχνότητας μετάδοσης των ενημερώσεων μιας διαδρομής και της κατανάλωσης ενέργειας είναι μια πολύ σημαντική σχεδιαστική απόφαση για τα πρωτόκολλα *ad hoc*.

## 1.6 Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα

Ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια για την πλήρη υιοθέτηση των *ad hoc* δικτύων είναι ο μειωμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων – το ίδιο πρόβλημα που καθυστέρησε την υιοθέτηση των ασύρματων υπολογιστών κατά την τελευταία δεκαετία. Τυπικά, μπορούμε να παρατηρήσουμε διαφορά μιας τάξης μεγέθους στην ταχύτητα των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων. Για παράδειγμα, ενώ οι περισσότεροι χρήστες είναι συνηθισμένοι σε ταχύτητες της τάξης των 100 Mbit/sec στο τοπικό Ethernet, οι ασύρματοι χρήστες με μεγάλη δυσκολία πετυχαίνουν ένα αξιόπιστο 10 Mbit/sec. Η πιο κοινές ταχύτητες είναι 1 με 2 Mbit/sec. Πλέον τείνει να ισχύσει ότι οι ασύρματοι υπολογιστές δεν μπορούν να είναι γενικής χρήσης. Οι ασύρματοι χρήστες πρέπει να προσέχουν να μην χρησιμοποιούν εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης. Καθώς όμως πολλές από τις σημερινές εφαρμογές περιλαμβάνουν συναλλαγές με το διαδίκτυο δεν είναι εύκολο ο χρήστης να αποφύγει αυτό το πρόβλημα. Κάθε στιγμή, η επόμενη επιλογή του χρήστη μπορεί να απαιτεί τη «φόρτωση» κάποιας εφαρμογής με μεγάλο κόστος σε εύρος ζώνης ή σε απογοήτευση καθώς ο χρήστης προσπαθεί να αντιληφθεί τι πήγε στραβά. Συχνά είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αν απέτυχε το ίδιο το δίκτυο ή η επιλεγμένη εικόνα για παράδειγμα είναι τόσο μεγάλη που μπλοκάρει όλα τα διαθέσιμα μονοπάτια επικοινωνίας.

Ένα επίσης σχετικό πρόβλημα είναι ο υψηλότερος ρυθμός σφαλμάτων που παρουσιάζουν τα ασύρματα μέσα, σε αντίθεση με τα ενσύρματα. Το πρωτόκολλο TCP έχει σχεδιαστεί ώστε να εκλαμβάνει ένα χαμένο πακέτο ως ένδειξη συμφόρησης του δικτύου και γι' αυτό τείνει να μην αντιδρά σωστά όταν ένα πακέτο χάνεται ή απορρίπτεται λόγω σφαλμάτων. Έτσι, ο ασύρματος χρήστης παρατηρεί ακόμα μεγαλύτερη απώλεια απόδοσης όταν ένας παροδικός θόρυβος ή



κάποιο εμπόδιο προκαλέσουν μια προσωρινή αύξηση των σφαλμάτων. Το πρόβλημα αυτό, ενώ απολαμβάνει ιδιαίτερης προσοχής τελευταία, δεν βρίσκεται κοντά στη λύση του. Επιπρόσθετα, υπάρχουν ενδείξεις ότι το TCP αποδίδει χειρότερα από το αναμενόμενο κατά μήκος πολλαπλών ασύρματων αλμάτων. Καθώς οι υπάρχουσες εφαρμογές διαδικτύου χρησιμοποιούν το TCP και οι ίδιες εφαρμογές αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στα *ad hoc* δίκτυα, το TCP θα είναι το πρώτο σε ενδιαφέρον πρωτόκολλο μεταφοράς και στα *ad hoc* δίκτυα. Έτσι, τα προβλήματα με το ρυθμό σφαλμάτων είναι ιδιαίτερης σημασίας για τους σχεδιαστές *ad hoc* δικτύων.

## 1.7 Επίπεδο Μόρφωσης Χρηστών

Πολλά από τα εμπόδια στην εξάπλωση των ασύρματων υπηρεσιών δεδομένων

προέρχονται από το επίπεδο μόρφωσης και κουλτούρας των χρηστών. Η επιλογή καταλόγου, η αποφυγή δικτυακών τόπων με τεράστια αρχεία εικόνων και η είσοδος αλφαριθμητικών δεδομένων σε μικρές συσκευές είναι προβληματικές καταστάσεις για τους αμήητους. Όμως, αυτά τα εμπόδια σιγά σιγά εξαφανίζονται καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός των PDAs και των τερματικών με WAP. Οι περιορισμοί στις εισόδους από το χρήστη μετριάζονται με τη χρήση απλοποιημένων επιλογών καταλόγου από ειδικά σχεδιασμένους δικτυακούς τόπους. Τις περισσότερες φορές τα εμπόδια στην αποδοχή των χρηστών είναι οι πιο τετριμμένες ιδιότητες. Οι σύγχρονες ασύρματες συσκευές βασίζονται σε εξωτερικές κεραίες για αξιόπιστη λειτουργία. Όμως παρά τη χρησιμότητά τους οι κεραίες γίνονται πολύ συχνά αντικείμενα ενόχλησης. Για παράδειγμα, κάποιο κινητά τηλέφωνα φέρουν κεραίες που μπορούν να επεκταθούν ώστε να "βελτιώσουν" την ποιότητα της φωνής. Όμως μια τέτοια συσκευή κινδυνεύει συνεχώς να καταστραφεί από την απρόσεκτη χρήση.

## 1.8 Ζητήματα Ασφάλειας

Όπως σε κάθε περίπτωση ασύρματης επικοινωνίας, η κίνηση σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι τρωτή όσον αφορά την ασφάλεια. Το ιδιαίτερο σημείο σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι ότι επιπλέον κίνδυνοι επεκτείνονται ακόμα και στη βασική δομή του δικτύου. Έτσι, οι υπάρχουσες τεχνικές διασφάλισης των πρωτοκόλλων συναλλαγής των ενσύρματων δικτύων θα πρέπει να εφαρμοστούν και στα *ad hoc* δίκτυα. Δυστυχώς αυτό είναι πιο εύκολο να το λες παρά να το κάνεις.

Σε πρώτη φάση, η ασφάλεια των πρωτοκόλλων δρομολόγησης βασίζεται αποκλειστικά στην κατάλληλη μετάδοση ενός κλειδιού που επιτρέπει τη δημιουργία αδιάβλητων στοιχείων αναγνώρισης. Ο σχεδιασμός της ασφαλούς μετάδοσης του κλειδιού σε ένα *ad hoc* δίκτυο είναι μια τρομακτική προοπτική. Κάθε προσπάθεια να βασιστούμε σε μια αρχή πιστοποίησης μοιάζει από πριν καταδικασμένη για τον ίδιο λόγο που είναι προβληματική η κεντρική αρχή. Η κεντροποίηση είναι αντίθετη με τις αρχές των *ad hoc* δικτύων.

Πέρα από αυτό όμως, υπάρχουν επιπλέον προβλήματα με το αυξημένο μήκος των πακέτων που απαιτείται για την πιστοποίηση. Είναι πιθανό ότι όσο πιο ασφαλές γίνεται ένα πρωτόκολλο, γίνεται παράλληλα πιο αργό και δύσκαμπτο. Αυτός ο συνδυασμός χαμηλής απόδοσης και ανιαρής αλλά και μη εξυπηρετικής μετάδοσης και διαμόρφωσης των κλειδιών θα σημάνει πιθανώς ότι τα πρωτόκολλα *ad hoc* θα παραμείνουν χαρακτηριστικά μη ασφαλή. Η τεχνική Diffie – Hellman για τη μετάδοση κλειδιών θα βοηθήσει στη δημιουργία προσωρινής ασφάλειας μεταξύ συγκεκριμένων τελικών σημείων, αλλά είναι τρωτή σε “επιθέσεις εκ των έσω” πράγμα που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να αντιμετωπιστεί σε *ad hoc* περιβάλλον.

## 1.9 Ζητήματα Κάλυψης

Τα κενά στην ασύρματη κάλυψη είναι ταυτόχρονα ένα πρόβλημα αλλά και μια ευκαιρία για τις ομότιμες συσκευές που έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας *ad*

*hoc* δικτύων. Απ' τη μια πλευρά, τα κενά στην κάλυψη δεν δίνουν τη δυνατότητα στους ανθρώπους που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές να επενδύσουν στις περισσότερες υπάρχουσες ασύρματες συσκευές, αφού η λειτουργία αυτών απαιτεί την ύπαρξη υποδομής.

Απ' την άλλη πλευρά, οι άνθρωποι που είναι συνηθισμένοι σε ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο θα πρέπει πολλές φορές να ταξιδεύουν διαμέσου περιοχών με μη ικανοποιητική κάλυψη. Αυτοί οι άνθρωποι έχουν τα κίνητρα να χρησιμοποιήσουν προϊόντα *ad hoc* δικτύων, έτσι ώστε να επιτείνουν την τοπική συνδεσιμότητα ακόμα και όταν η υποδομή ευρείας κάλυψης δεν μπορεί να λειτουργήσει.



## Bluetooth

Εδώ και χρόνια υπήρχε στα συρτάρια των μεγάλων εταιρειών η ιδέα της ασύρματης «σύνδεσης» όλων των ηλεκτρονικών συσκευών που λειτουργούν σε οικιακό περιβάλλον ή σε περιβάλλον γραφείου. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, μηχανές αντιγραφής, μετάδοσης και εκτύπωσης, πληκτρολόγια, joysticks, αλλά και κάμερες, οθόνες, τηλεοράσεις και συσκευές αναπαραγωγής ήχου και εικόνας, θα μπορούσαν να «επικοινωνήσουν» μεταξύ τους χωρίς καλώδια, με τη βοήθεια κάποιου ασύρματου πρωτοκόλλου σύνδεσης. Όταν η τεχνολογία κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων το επέτρεψε, η ιδέα βελτιώθηκε και πριν από μερικά χρόνια αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο Bluetooth , το οποίο φιλοδοξεί να πετύχει αυτήν ακριβώς τη σύνθεση. Οι ευφάνταστοι μηχανικοί των εταιρειών που σχεδίασαν το νέο ασύρματο πρωτόκολλο, φαντάστηκαν μία μεγαλειώδη ενοποίηση ανάλογη της επικής ολοκλήρωσης της Σκανδιναβίας του 10ου μ.Χ αιώνα. Ήταν λογικό λοιπόν το νέο πρωτόκολλο να ονομασθεί Bluetooth .

Το 960 μ.Χ ο Δανός βασιλιάς Χαράλ ο «Κυανόδους» -σύμφωνα με την λανθασμένη μετάφραση της δανέζικης λέξης Blataand που έχει, όμως, επικρατήσει, πέτυχε μετά από σκληρούς πολέμους αλλά και ευφυείς πολιτικές την ενοποίηση, υπό τον έλεγχό του, της Δανίας, και την ενσωμάτωση της Νορβηγίας. Το όνομα Bluetooth (ή Blataand στη γλώσσα των Βίκινγκς) καμία σχέση δεν έχει με μπλε



δόντια. Σημαίνει σκοτεινό χρώμα, όπως δηλαδή και το χρώμα των μαλλιών του, το οποίο ήταν ιδιαίτερα ασυνήθιστο για Σκανδιναβό. Πρόκειται για μεγάλη ιστορική φυσιογνωμία, από τους πρώτους που κατανόησαν τη σημασία του ενιαίου έθνους και της διοίκησης υπό κοινούς κανόνες και πρότυπα, διαφορετικών φυλετικών ομάδων. Στα νεώτερα χρόνια, η βίαιη ενοποίηση δεν είναι πλέον κοινή πρακτική, πολύ συχνά, όμως, έθνη ολόκληρα αναγκάζονται να συμμορφωθούν και να ακολουθήσουν τεχνολογικά πρότυπα, που «επιβάλλονται» από τα ισχυρά τεχνολογικά κέντρα. Η ύπαρξη του βασιλιά Harald, θα μας ήταν εντελώς άγνωστη αν δεν είχε ενώσει τις σκανδιναβικές χώρες και αν η Ericsson δεν είχε δώσει το όνομά του στο νέο πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που ανέπτυξε μαζί με άλλες μεγάλες εταιρίες του χώρου.

Φανταστείτε ότι βρισκόσαστε στη μέση μιας σοβαρής επαγγελματικής συνάντησης, με ανοιγμένο μπροστά σας τον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ξαφνικά το πρόγραμμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ενεργοποιείται και ένα καινούργιο e-mail εμφανίζεται στην οθόνη. Ο υπολογιστής δεν είναι συνδεδεμένος σε δίκτυο, το κινητό σας τηλέφωνο βρίσκεται μέσα στη τσάντα σας κάτω από το τραπέζι, αλλά παρόλα αυτά εσείς λαμβάνετε ηλεκτρονικά μηνύματα μέσα από κάποιο «οιονεί δίκτυο». Πώς έγινε κάτι τέτοιο; Τίποτε μεταφυσικό δεν συνέβη, απλώς ο φορητός Η/Υ συνδέθηκε ασύρματα και αντάλλαξε δεδομένα με το κινητό σας τηλέφωνο με τη βοήθεια της τεχνολογίας Bluetooth , για την ασύρματη διασύνδεση των ηλεκτρονικών ψηφιακών συσκευών.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα ετών οι τεχνολογίες των κινητών επικοινωνιών και των ηλεκτρονικών υπολογιστών προχώρησαν με άλματα. Πρόκειται για τις δύο τεχνολογίες αιχμής, που έχουν συμπαρασύρει στη διαδρομή τους και πολλούς άλλους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας, ενώ έχουν μεταβάλλει ακόμη και τη δομή των σύγχρονων κοινωνιών. Είναι φυσικό, επομένως, σε κάποια στιγμή να συγκλίνουν και να λειτουργήσουν σε ενιαίο

πλαίσιο με αμοιβαίο όφελος. Η τεχνολογία Bluetooth αντικαθιστά τα καλώδια σύνδεσης μεταξύ των ηλεκτρονικών συσκευών με μία ασύρματη ραδιοζεύξη πολύ μικρής εμβέλειας. Όμως δεν είναι μόνο αυτό. Μπορεί να δημιουργήσει μικρά δίκτυα «ετερόκλητων» συσκευών, που μέχρι σήμερα δεν μπορούσαν να συνεργαστούν ή απαιτούσαν ειδικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Εκτυπωτές, υπολογιστές γραφείου, modems , fax , πληκτρολόγια, χειριστήρια και δεκάδες συσκευές από τους τομείς της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, μπορούν να δικτυωθούν τοπικά με τη βοήθεια του «κυανόδοντος» προτύπου. Το πρότυπο έχει σχεδιαστεί, ώστε να λειτουργεί απρόσκοπτα στο ηλεκτρομαγνητικά θορυβώδες περιβάλλον μιας σύγχρονης επιχείρησης. Η λήψη και μετάδοση δεδομένων γίνεται με συνεχή εναλλαγή των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων και επιβεβαιώσεις καλής λήψης. Το πρότυπο είναι αρκετά ευέλικτο, αφού κάνει χρήση μικρών πακέτων πληροφορίας, ενώ εναλλάσσει ταχύτατα τις συχνότητες εκπομπής και λήψης.

Το πρότυπο Bluetooth που δημιουργήθηκε από τις Ericsson, IBM, Toshiba, Intel, Nokia και Motorola και υποστηρίζεται από άλλες 1900 εταιρίες, είναι το de facto πρότυπο για μικρών επιδόσεων ασύρματη δικτύωση ηλεκτρονικών συσκευών (κινητά, PDA, PC, εκτυπωτές, fax, modem, πληκτρολόγια κ.τ.λ.) με χαμηλή κατανάλωση (0,01W) και χαμηλό κόστος. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται PAN (Personal Area Networks, Δίκτυα Προσωπικού Χώρου) γιατί σε αντίθεση με τα LAN, ο χώρος ο οποίος καλύπτεται είναι λίγα μέτρα. Τα PAN έχουν ουσιαστικά σχεδιαστεί με σκοπό την κατάργηση των καλωδίων. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι μέχρι 1Mbps, ενώ είναι δυνατή και η ταυτόχρονη μεταφορά ήχου. Η συχνότητα που εκπέμπονται τα δεδομένα είναι τα 2,4GHz, ενώ χρησιμοποιείται η τεχνική εναλλαγής συχνότητας. Το Bluetooth υποστηρίζει τόσο άμεση επικοινωνία ανάμεσα σε δύο συσκευές (point to point), όσο και επικοινωνία πολλών συσκευών με ένα access point (point to multipoint). Η χωρητικότητά του είναι 8 συσκευές ανά δίκτυο, αλλά η μέθοδος εναλλαγής συχνοτήτων (1600 εναλλαγές ανά δευτερόλεπτο σε 79 κανάλια) επιτρέπει σε

περισσότερα από 1 δίκτυα να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο. Η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη είναι 10 εκατοστά και η μέγιστη 10 μέτρα . Από πλευράς ασφάλειας, αν και το Bluetooth δεν παρέχει ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο, η μικρή του εμβέλεια περιορίζει τον κίνδυνο. Αν το Bluetooth στοχεύει στο να καταργήσει τα καλώδια που συνδέουν τα διάφορα gadgets και περιφερειακά μεταξύ τους και με τον υπολογιστή, το πρωτόκολλο IEEE 802.11 x στοχεύει στο να καταργήσει τα καλώδια ανάμεσα στους υπολογιστές.

Το IEEE 802.11, το οποίο δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997, έχει ταχύτητα 2Mbps και είναι το πρότυπο που ακολουθούσαν μέχρι τώρα τα ασύρματα δίκτυα Ethernet. Η έκδοση IEEE 802.11b (γνωστή και ως IEEE 802.11 High Rate ή Wi-Fi) δημιουργήθηκε τον Ιούλιο του 1998 και έχει ταχύτητα 11Mbps, ενώ η έκδοση IEEE 802.11a, που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης, προβλέπει ταχύτητες μέχρι 54Mbps. Το IEEE802.11b είναι, ουσιαστικά, το σπάνταρ στα ασύρματα δίκτυα Ethernet και υποστηρίζει τόσο επικοινωνία point to point (η οποία ονομάζεται ad hoc), όσο και επικοινωνία point to multipoint. Οι υπολογιστές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο, μπορούν να οριστούν σε κατάσταση ad hoc και να επικοινωνήσουν άμεσα μεταξύ τους. Η ανάγκη για access point προκύπτει όταν χρειάζεται επικοινωνία με ενσύρματα δίκτυα και /ή περιφερειακά ή στην περίπτωση του roaming (π.χ. όταν ο χρήστης ενός φορητού υπολογιστή πρέπει να κινείται μέσα σ' ένα κτίριο). Μέρος επίσης του 802.11b αποτελεί και το WEP (Wired Equivalent Privacy, μυστικότητα αντίστοιχη με τα καλωδιωμένα δίκτυα), το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο RC4 και προσφέρει τη δυνατότητα εξουσιοδότησης του κάθε κόμβου και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Όπως και το Bluetooth, λειτουργεί και αυτό στα 2,4GHz και χρησιμοποιείται και εδώ η τεχνική εναλλαγής συχνότητας. Η συχνότητα αυτή, η ίδια που χρησιμοποιείται και από τους φούρνους μικροκυμάτων, επιλέχθηκε γιατί είναι ελεύθερη και δεν απαιτείται έκδοση αδειας για τις συσκευές που τη χρησιμοποιούν. Η χρήση, όμως, κοινής συχνότητας και από τα δύο πρότυπα, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην συνύπαρξή

τους. Οι παρεμβολές μπορεί να προκύψουν εάν τα δύο δίκτυα βρίσκονται πολύ κοντά και προσπαθούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα. Οι παρεμβολές θα οδηγήσουν σε λάθος μεταφορά των δεδομένων και αυτόματα θα επαναληφθεί η μεταφορά του χαμένου πακέτου σε άλλη συχνότητα. Το Bluetooth, όμως, μεταφέρει μικρότερα πακέτα και δοκιμάζει εναλλακτικές συχνότητες 600 φορές ταχύτερα από το IEEE802.11b, με αποτέλεσμα, ουσιαστικά, το πρώτο να μπλοκάρει το δεύτερο μειώνοντας δραματικά την ταχύτητά του. Ήδη έχει σχηματιστεί η ομάδα IEEE802.15, η οποία έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών ανάμεσα στα δύο αυτά πρότυπα και την ομαλή τους συνύπαρξη.

## **Τεχνική προδιαγραφή Bluetooth**

Η τεχνολογία είναι σχεδιασμένη για να λειτουργήσει σε εξαιρετικά δυσμενές περιβάλλον ραδιο-θορύβου. Η ευέλικτη σχεδίαση στηρίζεται στη ραδιομετάδοση σε πολλαπλές συχνότητες με αυτόματη και πολύ γρήγορη μεταλλαγή (αναπήδηση συχνότητας σύμφωνα με την επικρατούσα αδόκιμη απόδοση του όρου frequency hopping ). Το σύστημα εκτελεί 1600 αλλαγές συχνότητας το δευτερόλεπτο. Πρόκειται για εντυπωσιακή ταχύτητα, αν λάβετε υπόψη σας, ότι πριν 5-6 χρόνια τέτοιες επιδόσεις ήταν απόρρητα στρατιωτικά μυστικά και κόστιζαν εκατομμύρια δολάρια. Το πρωτόκολλο που ενσωματώνει η τεχνολογία Bluetooth στηρίζεται στη μεταγωγή «ψηφιακών πακέτων πληροφορίας». Κάθε πακέτο μεταδίδεται σε διαφορετική συχνότητα, ενώ συνήθως καταλαμβάνει μόνο μία χρονοθυρίδα ( time slot ) μετάδοσης, χωρίς όμως να περιορίζεται σ' αυτή, δεδομένου ότι –εφ' όσον απαιτηθεί– μπορούν να καταληφθούν έως και 5 χρονοθυρίδες. Χρησιμοποιείται και εδώ η τεχνική της χρονικής πολυπλεξίας, δηλαδή της ταυτόχρονης χρήσης μίας συχνότητας από πολλά διαφορετικά σήματα που είναι χρονικά καταμερισμένα ( Time Division Multiple Access , TDMA ). Η τεχνική πρωτοεφαρμόστηκε εμπορικά στη κινητή



τηλεφωνία GSM και μέσα σε 5 χρόνια αντικατέστησε όλα τα παλαιότερα συστήματα ραδιομετάδοσης σε κάθε σύγχρονη εφαρμογή τηλεπικοινωνιών από τη ασύρματη τηλεφωνία μικρών αποστάσεων DECT , έως τις κινητές ραδιοεπικοινωνίες TETRA . Το πρωτόκολλο Bluetooth προσφέρει ένα ασύγχρονο κανάλι μετάδοσης δεδομένων, έως τρία (ταυτόχρονα) κανάλια μετάδοσης φωνής ή ένα μόνο κανάλι που υποστηρίζει παράλληλη μετάδοση δεδομένων (ασύγχρονη) και φωνής (σύγχρονη). Η μεταβίβαση της πληροφορίας φωνής γίνεται με ρυθμό διαμεταγωγής 64 kbps , ενώ τα ασύγχρονα κανάλια μετάδοσης δεδομένων υποστηρίζουν ασύμμετρες συνδέσεις μέγιστης ταχύτητας 721 kbps σε απλή μεταγωγή ή 432,6 kbps και 57,6 kbps σε ταυτόχρονη συμμετρική ζεύξη. Η πληροφορία μεταβιβάζεται σε μικρά ψηφιακά «πακέτα» ( packet switching ), που έχουν τέτοια δομή, ώστε να παραμένουν ανεπηρέαστα από τις ισχυρές ραδιοπαρεμβολές που δημιουργούνται στο περιβάλλον του γραφείου ή της κατοικίας (φωτισμός, φούρνοι μικροκυμάτων, οθόνες και ηλεκτρικός θόρυβος). Η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται στη περιοχή των μικροκυμάτων. Χρησιμοποιείται η ζώνη συχνοτήτων των 2,45 GHz , που έχει αποδοθεί σε ελεύθερη χρήση διεθνώς και λέγεται «ζώνη συχνοτήτων για βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική χρήση» ( Industrial , Scientific and Medical Band , ISM Band ). Κάθε πακέτο πληροφορίας μεταβιβάζεται σε διαφορετική συχνότητα. Χρησιμοποιείται ένα είδος διαμορφώσεως τονικής εναλλαγής (2 FSK ) και όχι κάποια από τις πλέον σύγχρονες τεχνικές διαμορφώσεως, για λόγους απλοποίησης των κυκλωμάτων.

Το Bluetooth αποτελείται από τέσσερα επιμέρους τμήματα. Τη μονάδα ασύρματης μετάδοσης, τη μονάδα ελέγχου της ζεύξης, τη μονάδα διαχείρισης των συνδέσεων και τις υπηρεσίες λογισμικού. Το πρότυπο επιτρέπει τόσο τη σύνδεση μονάδας με μονάδα ( point to point ), όσο και τις συνδέσεις μονάδας προς πολλαπλές μονάδες ( point to multipoint ). Κάθε δίκτυο μπορεί να διασυνδέσει από 2 μέχρι 8 συσκευές. Κάθε τέτοια ομάδα μπορεί να συνδεθεί με άλλες ομάδες, η κάθε μία από τις οποίες έχει τις δικές της δεσμευμένες

συχνότητες χρήσης, επεκτείνοντας απεριόριστα το δίκτυο. Όμως, ο μέγιστος αριθμός ομάδων που μπορεί να λειτουργήσει σε ταυτόχρονη λειτουργία μικροκυψελών ανά ζώνη κάλυψης ανέρχεται σε δέκα. Ο αμφίδρομος ρυθμός διαμεταγωγής δεδομένων σε μία υποδομή 10 ομάδων των 8 συσκευών, ξεπερνάει τα 6 Mbps , γεγονός που οφείλεται στη μείωση του εύρους μετάδοσης κατά 10%. Η ισχύς μετάδοσης περιορίζεται αυτόματα σε αυτή που πραγματικά απαιτείται, ανάλογα με την απόσταση των συσκευών. Αν για παράδειγμα ο δέκτης υποδεικνύει ότι η συνδεδεμένη συσκευή βρίσκεται σε απόσταση ενός μέτρου, ο πομποδέκτης αυτόματα τροποποιεί την ισχύ του σήματος, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη εμβέλεια, η οποία θα εξασφαλίσει την απρόσκοπτη επικοινωνία, εξοικονομώντας παράλληλα ενέργεια. Εφόσον παρουσιαστεί διακοπή στη μετάδοση των δεδομένων, ο πομποδέκτης περνάει σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης, η οποία διακόπτεται για τη μετάδοση μικρών σημάτων που ελέγχουν και πιστοποιούν τη διαθεσιμότητα σύνδεσης. Κάθε συσκευή στο δίκτυο βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση αναμονής, αναζητώντας άλλες συμβατές συσκευές στον ίδιο χώρο, κάθε 1,28 δευτερόλεπτα. Εφόσον η συσκευή «ανακαλυφθεί», η σύνδεση πραγματοποιείται αυτόματα. Οι 2 έως 8 συσκευές που θα συνδεθούν στην ίδια ομάδα του τοπικού μικροδικτύου ( piconet ) θα πρέπει να βρίσκονται σε ακτίνα μεγαλύτερη των 10 εκατοστών και μικρότερη των δέκα μέτρων, αν η ισχύς εκπομπής δεν υπερβαίνει το 1 mW (0 dBm ). Η προδιαγραφή δεν επιτρέπει τη χρήση υψηλότερης ισχύος εκπομπής, γίνονται όμως ενέργειες για την τροποποίηση της προδιαγραφής σε αυτό το σημείο, ώστε η μέγιστη ισχύς εκπομπής να αυξηθεί σε 10 mW . Στη περίπτωση αυτή, η εμβέλεια μπορεί να ξεπεράσει τα 100 μέτρα ! Οτιδήποτε απαιτείται για τη ραδιοζεύξη Bluetooth έχει ενσωματωθεί σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, του οποίου το κόστος είναι γύρω στα 15 δολάρια. Δεν απαιτείται η καταβολή δικαιωμάτων χρήσης για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας Bluetooth σε οποιαδήποτε ηλεκτρονική συσκευή. Η τεχνολογία προσφέρεται δωρεάν ( royalty - free ). Οι σχεδιαστές και κατασκευαστές προσδοκούν έσοδα όχι από τη πώληση αυτής καθ' εαυτής της τεχνολογίας, αλλά από τα συμπαραγομαρτούντα της, δηλαδή

από την αύξηση των πωλήσεων νέων συσκευών, την αυξημένη χρήση των κινητών τηλεφώνων ( air - time ) και το περιορισμό του κόστους κατασκευής των ψηφιακών συσκευών λόγω της αντικατάστασης των διαφορετικών, ασύμβατων και ιδιαίτερα δαπανηρών πρωτοκόλλων συνδέσεων, με ένα απλό ολοκληρωμένο κύκλωμα.

## **Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Bluetooth**

- Περιοχή συχνοτήτων: 2,45 GHz (ζώνη ISM )
- Μέγιστη ισχύς εκπομπής: 1 milliWatt (0 dBm )
- Τεχνολογία Διαμόρφωσης: Διάχυση φάσματος ( spread spectrum ), γρήγορη μεταβολή συχνοτήτων 1600 φορές το δευτερόλεπτο
- Μέγιστος αριθμός διαύλων φωνής: 3 ανά μικροκυψέλη
- Μέγιστος αριθμός διαύλων δεδομένων: 7 ανά μικροκυψέλη
- Ρυθμός διαμεταγωγής δεδομένων 721 Kbps ανά μικροκυψέλη
- Αναμενόμενη ζώνη κάλυψης (εμβέλειας): 10 μέτρα
- Αριθμός διασυνδεδεμένων συσκευών: 8 ανά μικροκυψέλη
- Ταυτόχρονη λειτουργία μικροκυψελών: 10 ανά ζώνη κάλυψης (εμβέλειας)
- Απαιτούμενη ευαισθησία δέκτη: -70 dBm
- Σημείο ανάσχεσης τρίτης τάξης δέκτη ( IP 3): -16 dBm
- Εύρος ζώνης: 1,0 MHz
- Απόρριψη γειτονικών συχνοτήτων: 20 dB
- Δείκτης διαμορφώσεως: 0,28 – 0,35
- Μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση συχνότητας: < 75 kHz
- Απόσβεση εκπομπής σε γειτονικές συχνότητες: -20 dBm
- Χρόνος εναλλαγής των συχνοτήτων: 220 μικροδευτερόλεπτα
- Χρόνος μετάπτωσης από εκπομπή σε λήψη: 220 μικροδευτερόλεπτα
- Τάση λειτουργίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων: 2,7 V

- Κατανάλωση ισχύος ολοκληρωμένων κυκλωμάτων: 30μΑ σε αδράνεια, 300μΑ σε αναμονή ( Standby ), 8-30 mA σε εκπομπή
- Διαστάσεις ολοκληρωμένου κυκλώματος: 0,5 τετραγωνικές ίντσες

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

### Εισαγωγή

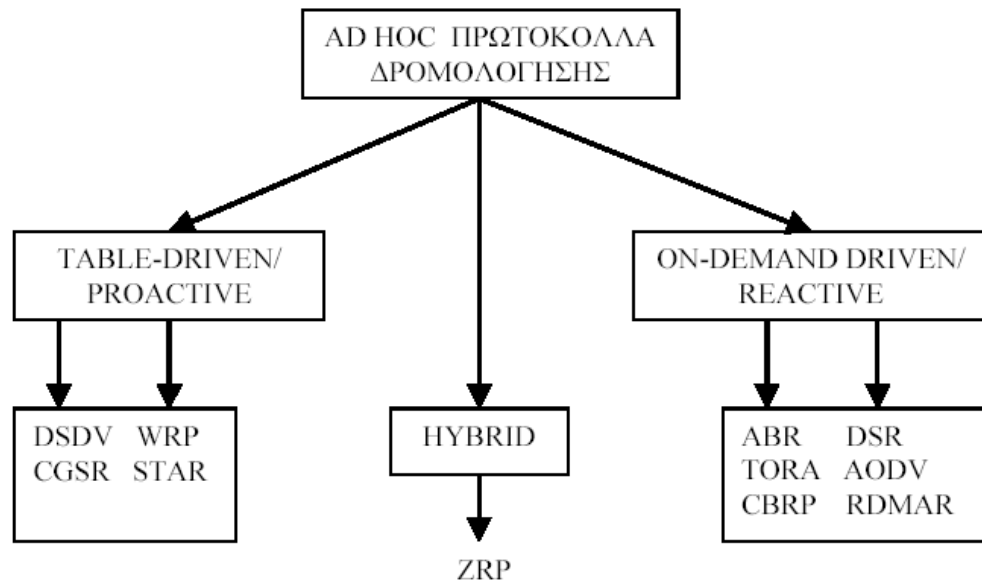
Κάθε κόμβος σε ένα ad hoc δίκτυο, εάν προσφερθεί να μεταφέρει μέρος της κίνησης των δεδομένων, συμμετέχει στη δημιουργία της δικτυακής τοπολογίας. Όλη η διαδικασία είναι σχεδόν παρόμοια με τον τρόπο που ενδιάμεσοι κόμβοι, για τις ανάγκες του Internet, ή στα πλαίσια ενός συλλογικού δικτύου, συνεργάζονται για την κατασκευή της σταθερής δομής δρομολόγησης. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για το Internet παρέχουν την αναγκαία πληροφορία για κάθε κόμβο, ώστε να προωθηθούν τα πακέτα στο επόμενο άλμα προς την κατεύθυνση του τελικού προορισμού.

Αυτή η παρατήρηση δίνει το κίνητρο σε όποια προσπάθεια προσαρμογής ήδη υπάρχοντων πρωτοκόλλων δρομολόγησης προς χρήση σε ad hoc δίκτυα. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης είναι αυτό-εκκινούμενα, προσαρμόζονται στις αλλαγές ενός δικτύου, και σχεδόν εξ ορισμού προσφέρουν μονοπάτια πολλαπλών αλμάτων διαμέσου του δικτύου, από την πηγή προς τον προορισμό. Από την περιγραφή αυτή, είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς γιατί θα ήταν επιθυμητό να διαχειριζόμαστε τις αλλαγές της τοπολογίας σε ένα ad hoc δίκτυο ζητώντας από όλους τους ενδιάμεσους κόμβους – κατά την προώθηση της πληροφορίας – να λειτουργούν κατά έναν όμοιο τρόπο πρωτοκόλλου δρομολόγησης.

Επομένως, η τυχαιότητα και η μεταβλητότητα της τοπολογίας ενός ad hoc δικτύου απαιτούν την διαμόρφωση κανόνων σύμφωνα με τους οποίους δρομολογείται η κίνηση των δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους. Σ' αυτό το σημείο έγκειται και ο ουσιαστικός ρόλος που πρέπει να παίξουν τα σχήματα δρομολόγησης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, αυτά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν στα: α) table-driven/proactive και β) source-initiated/on-demand. Υπάρχει επίσης η κατηγορία των υβριδικών (hybrid) σχημάτων δρομολόγησης που, στην ουσία, συνδυάζει χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω κατηγοριών.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου, θα περιγράψουμε την φιλοσοφία των κυριότερων πρωτοκόλλων δρομολόγησης και θα καταλήξουμε σε αναφορές στις πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες σχετικά με το θέμα της δρομολόγησης στα ad hoc δίκτυα.



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες σχημάτων δρομολόγησης

## 2.1. Table-driven Προσεγγίσεις

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που ανήκουν στην κατηγορία των table-driven προσεγγίσεων επιδιώκουν να διατηρήσουν συνεκτική και συνεχώς ενημερωμένη την πληροφορία δρομολόγησης από κάθε κόμβο σε οποιοδήποτε άλλο κόμβο στο δίκτυο. Αυτά τα σχήματα δρομολόγησης απαιτούν από κάθε κόμβο να διατηρεί έναν ή περισσότερους πίνακες ώστε να συντηρεί την πληροφορία δρομολόγησης, και να έχει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται στις αλλαγές της δικτυακής τοπολογίας με την διάδοση αναφορών για τους υπάρχοντες δρόμους για την συντήρηση μίας συνεκτικής άποψης για το δίκτυο. Οι περιοχές όπου διαφέρουν είναι ο αριθμός των απαραίτητων πινάκων που

σχετίζονται με τη δρομολόγηση και οι μέθοδοι με τις οποίες γνωστοποιούνται οι αλλαγές στην δομή του δικτύου στο σύνολο των κόμβων.

### 2.1.1. Destination Sequenced Distance Vector – DSDV

Το σχήμα δρομολόγησης DSDV ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων tabledriven και βασίζεται στον κλασικό αλγόριθμο δρομολόγησης των Bellman - Ford. Η βελτίωση που έγινε είναι η αποφυγή των βρόχων δρομολόγησης σε ένα κινητό δίκτυο από δρομολογητές. Κάθε κόμβος στο κινητό δίκτυο διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης μέσα στον οποίο καταγράφονται όλοι οι πιθανοί προορισμοί μέσα στα όρια του δικτύου, με τους οποίους μπορεί να συνδεθεί, και ο αριθμός των αλμάτων για κάθε προορισμό. Επομένως, η πληροφορία δρομολόγησης είναι πάντοτε άμεσα διαθέσιμη, άσχετα από το αν ο κόμβος της πηγής χρειάζεται μία διαδρομή ή όχι.

Ένα σύστημα διαδοχικής αρίθμησης χρησιμοποιείται για να επιτραπεί στους κινητούς χρήστες να διακρίνουν παλιές και άκυρες διαδρομές από τις νέες. Οι ενημερώσεις των πινάκων δρομολόγησης στέλνονται περιοδικά σε όλο το δίκτυο για να διατηρήσουν τη συνοχή τους. Αυτό μπορεί, μολαταύτα, να προκαλέσει μεγάλη κίνηση πακέτων ελέγχου στο δίκτυο, υποβάλλοντας μία μη αποδοτική χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων. Για να προσπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το DSDV εφαρμόζει δύο τύπους πακέτων για την ενημέρωση των διαδρομών. Το πρώτο είναι γνωστό ως full dump. Αυτός ο τύπος πακέτου μεταφέρει όλη την διαθέσιμη πληροφορία δρομολόγησης και μπορεί να απαιτεί πολλαπλές μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου δικτύου (Network Protocol Data Units – NPDUs). Κατά την διάρκεια περιόδων συνήθους κίνησης, αυτά τα πακέτα δεν μεταδίδονται συχνά. Μικρότερα incremental πακέτα χρησιμοποιούνται για την προώθηση μόνο της πληροφορίας που έχει αλλαχθεί από το τελευταίο full dump. Οι νέες ευρυεκπομπές για διαδρομές θα περιέχουν την διεύθυνση του κόμβου προορισμού, τον αριθμό των αλμάτων που απαιτούνται για τον εν λόγω

προορισμό, τον αριθμό σειράς της λαμβανόμενης πληροφορίας που σχετίζεται με τον προορισμό, όπως επίσης και ένα νέο σειριακό αριθμό, μοναδικό για κάθε ευρυεκπομπή. Ο δρόμος που έχει μαρκαριστεί με τον πιο πρόσφατο σειριακό αριθμό (σε αύξουσα σειρά) επιλέγεται πάντα. Στην περίπτωση που δύο ενημερώσεις έχουν τον ίδιο σειριακό αριθμό, χρησιμοποιείται εκείνη με τον μικρότερο αριθμό αλμάτων.

### 2.1.2. Wireless Routing Protocol – WRP

Η καινοτομία του WRP σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η αποφυγή βρόχων. Στο WRP, οι κόμβοι δρομολόγησης επικοινωνούν και ανταλλάσσουν πληροφορία για την απόσταση και τα άλματα από το δεύτερο μέχρι και το τελευταίο, για κάθε προορισμό στο ασύρματο δίκτυο. Το WRP ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων εύρεσης μονοπατιού με μία σημαντική εξαίρεση. Αποφεύγει τα προβλήματα μέτρησης μέχρι το άπειρο με το να υποχρεώνει κάθε κόμβο να εκτελεί ελέγχους συνοχής σε προηγούμενες πληροφορίες που αναφέρθηκαν από όλους τους γείτονές του. Αυτό τελικά περιορίζει κάθε πιθανότητα βρόχου και παρέχει ταχύτερη σύγκλιση δρόμου όταν συμβαίνει ένα γεγονός αποτυχίας μίας ζεύξης.

Στο WRP, οι κόμβοι μαθαίνουν για την ύπαρξη των γειτόνων τους από την απόδειξη των επιβεβαιώσεων και άλλα μηνύματα. Αν ένας κόμβος δεν στέλνει πακέτα, πρέπει να στείλει ένα HELLO μήνυμα μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε να διασφαλίσει την έγκυρη κι άμεση πληροφορία συνδεσιμότητας. Αλλιώς, η έλλειψη μηνυμάτων από τον κόμβο μπορεί να υποδείξει την αποτυχία αυτής της ασύρματης ζεύξης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει λανθασμένο συναγερμό. Όταν ένα κινητό λαμβάνει ένα HELLO μήνυμα από ένα νέο κόμβο, αυτή η νέα πληροφορία για τον κόμβο προστίθεται στον πίνακα δρομολόγησης του κινητού, και το κινητό στέλνει στο νέο κόμβο ένα αντίγραφο από την πληροφορία που έχει στον πίνακα δρομολόγησής του.



Το WRP πρέπει να διατηρεί τέσσερις πίνακες, ονομαστικά: α) πίνακας απόστασης, β) πίνακας δρομολόγησης, γ) πίνακας κόστους ζεύξης, και δ) πίνακας λίστας επαναμεταδιδόμενων μηνυμάτων (Message Retransmission List – MRL). Ο πίνακας απόστασης αναφέρει τον αριθμό αλμάτων μεταξύ ενός κόμβου και του προορισμού του. Ο πίνακας δρομολόγησης αναφέρει τον κόμβο κατά το επόμενο άλμα. Ο πίνακας κόστους ζεύξης αντανακλά την συσχέτιση μεταξύ καθυστέρησης και μίας συγκεκριμένης ζεύξης. Ο MRL περιλαμβάνει τον σειριακό αριθμό των μηνυμάτων ενημέρωσης, έναν μετρητή επαναμετάδοσης, ένα διάνυσμα σημαίας που απαιτεί επιβεβαίωση, και μία λίστα από επιβεβαιώσεις που στάλθηκαν με τα αντίστοιχα μηνύματα. Ο MRL καταγράφει ποιες ενημερώσεις σε ένα μήνυμα πρέπει να ξαναμεταδοθούν και ποιοι γείτονες πρέπει να επιβεβαιώσουν την επαναμετάδοση.

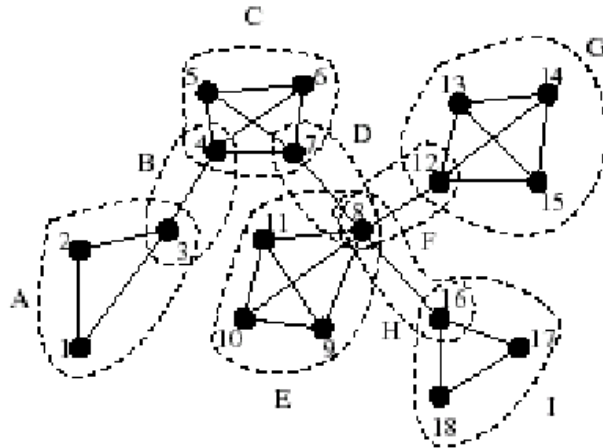
Για να διασφαλιστεί η ακρίβεια της πληροφορίας δρομολόγησης, τα κινητά στέλνουν περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης στους γείτονές τους. Ένα τέτοιο μήνυμα περιλαμβάνει μία λίστα από ενημερώσεις (τον προορισμό, την απόσταση από τον προορισμό, τον προκάτοχο του προορισμού), όπως επίσης και μία λίστα από απαντήσεις που υποδεικνύουν ποιο κινητό τερματικό θα έπρεπε να επιβεβαιώσει την ενημέρωση. Ένα κινητό στέλνει μηνύματα ενημέρωσης αφού επεξεργαστεί τις ενημερώσεις από τους γείτονες ή όταν ανιχνεύσει μία αλλαγή στη ζεύξη. Στην περίπτωση μιας αποτυχίας στην ζεύξη, οι κόμβοι που ανιχνεύουν τη βλάβη θα στείλουν μηνύματα ενημέρωσης στους γείτονές τους, και αυτοί οι γείτονες θα τροποποιήσουν τις εισόδους στους πίνακες απόστασης και θα ελέγξουν για νέα πιθανά μονοπάτια μέσω άλλων κόμβων.

### **2.1.3. Cluster Switch Gateway Routing – CSGR**

Το CSGR είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης όπου οι κινητοί κόμβοι ταξινομούνται σε ομάδες και κάθε ομάδα έχει έναν επικεφαλής. Αυτή η ομαδοποίηση εισάγει μία μορφή ιεραρχίας. Ένας επικεφαλής ομάδας μπορεί να

ελέγξει έναν αριθμό από κινητά τερματικά, και η ομαδοποίηση προσφέρει ένα πλαίσιο εργασίας για το διαχωρισμό του κώδικα (ανάμεσα στις ομάδες), την πρόσβαση στο μέσο, τη δρομολόγηση, και την παραχώρηση εύρους ζώνης. Για την επιλογή του επικεφαλής, εφαρμόζεται ένας κατανεμημένος αλγόριθμος επιλογής. Αν και η χρησιμοποίηση ενός επικεφαλής ομάδας επιτρέπει κάποιο βαθμό ελέγχου και συνεργασίας, από την άλλη πλευρά υποθέτει την εξάρτηση από άλλους κόμβους μέσα στην ομάδα. Όταν ένας επικεφαλής της ομάδας κινηθεί μακριά, κάποιος άλλος επικεφαλής πρέπει να εκλεγεί. Αυτό μπορεί να είναι προβληματικό αν ένας επικεφαλής αλλάζει συχνά και οι κόμβοι σπαταλούν μεγάλο μέρος του χρόνου συγκλίνοντας προς το νέο επικεφαλής αντί να προωθούν δεδομένα προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Για να αποφευχθεί η πρόκληση επανεκλογής επικεφαλής κάθε φορά που η σύσταση της ομάδας αλλάζει, εισάγεται ένας αλγόριθμος κατά τον οποίο οι επικεφαλής αλλάζουν μόνο όταν δύο επικεφαλής έρθουν σε επαφή ή όταν ένας κόμβος κινηθεί έξω από τα όρια όλων των άλλων επικεφαλής.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2, παρακάτω, ένας αριθμός από κόμβους (18 στην συγκεκριμένη περίπτωση) μπορούν να χωριστούν σε ομάδες (Α μέχρι Ι) ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου που συνιστούν και την συνδεσιμότητα κάθε κινητού τερματικού. Στη συνέχεια, σε κάθε ομάδα επιλέγεται ο επικεφαλής και γίνεται διαπραγμάτευση για τους κόμβους-πύλες που θα είναι υπεύθυνοι για την ανταλλαγή της πληροφορίας με τις άλλες ομάδες.



Σχήμα 2.2: Ομαδοποίηση των κόμβων

Το CGSR χρησιμοποιεί το DSDV ως υποκείμενο σχήμα δρομολόγησης. Παρόλ' αυτά, τροποποιεί το DSDV χρησιμοποιώντας μία ιεραρχική προσέγγιση δρομολόγησης με την βοήθεια της σύνδεσης του επικεφαλής μίας ομάδας και του κόμβου-πύλης για τη δρομολόγηση της κίνησης από την πηγή προς τον προορισμό. Οι κόμβοι-πύλες είναι κόμβοι που βρίσκονται μέσα στην περιοχή εμβέλειας δύο ή περισσότερων επικεφαλής ομάδων. Ένα πακέτο που στέλνεται από ένα κόμβο δρομολογείται, αρχικά, προς τον επικεφαλής, κι έπειτα το πακέτο κατευθύνεται από τον επικεφαλής προς μία πύλη για έναν άλλο επικεφαλής, και ούτω καθεξής μέχρι να βρεθεί ο επικεφαλής της ομάδας στην οποία ανήκει ο κόμβος του προορισμού.

Στο CGSR, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί ένα πίνακα μελών της ομάδας, όπου αποθηκεύει τον επικεφαλής-κόμβο προορισμού για κάθε ένα κινητό τερματικό στο δίκτυο. Αυτοί οι πίνακες εκπέμπονται παντού, περιοδικά, από κάθε κόμβο με την βοήθεια του πρωτοκόλλου DSDV. Οι κόμβοι που θα λάβουν αυτή την ενημέρωση θα ανανεώσουν τους δικούς τους πίνακες ώστε να διασφαλίσουν την εγκυρότητά τους. Επιπρόσθετα, κάθε κόμβος πρέπει να διατηρεί έναν πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του επόμενου άλματος προς την κατεύθυνση του προορισμού. Μόλις λάβει ένα πακέτο, ένας κόμβος θα συμβουλευτεί τους πίνακες δρομολόγησης και μελών ομάδας ώστε

να καθορίσει τον κοντινότερο επικεφαλής κατά μήκος της διαδρομής προς τον προορισμό. Ο κόμβος, στη συνέχεια, ελέγχει τον πίνακα δρομολόγησής του για να καθορίσει τον κόμβο του επόμενου άλματος ώστε να φθάσει στον επικεφαλής της ομάδας. Συνοπτικά, οι ενημερώσεις χρειάζονται τόσο για τον πίνακα δρομολόγησης όσο και για τον πίνακα μελών ομάδας στο CSGR.

## **2.2. Source initiated/On demand Προσεγγίσεις**

Αυτός ο τύπος δρομολόγησης δημιουργεί μονοπάτια μόνο όταν είναι επιθυμητό από τον κόμβο της πηγής. Όταν ο κόμβος απαιτεί ένα δρόμο για τον προορισμό, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου μέσα στα όρια του δικτύου. Αυτή η διεργασία ολοκληρώνεται μόλις βρεθεί μία διαδρομή έχουν εξεταστεί όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί δρόμων. Όταν ανακαλυφθεί κι εγκατασταθεί μία διαδρομή, διατηρείται με την βοήθεια ενός είδους διαδικασίας συντήρησης του δρόμου μέχρι είτε ο προορισμός να καταστεί μη προσβάσιμος από οποιοδήποτε μονοπάτι από την πηγή, είτε η διαδρομή να μην είναι πλέον επιθυμητή.

### **2.2.1. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing – AODV**

Το AODV πρωτόκολλο δρομολόγησης βασίζεται στην δομή του αλγορίθμου DSDV που περιγράφηκε παραπάνω. Το AODV είναι μία βελτιωμένη έκδοση του DSDV επειδή, τυπικά, ελαχιστοποιεί τον αριθμό των απαιτούμενων ευρυεκπομπών με το να δημιουργεί διαδρομές μόνο κατ' απαίτηση, ερχόμενο σε αντίθεση με την φιλοσοφία της διατήρησης μίας ολόκληρης λίστας από διαδρομές, όπως συνέβαινε στον αλγόριθμο DSDV. Οι κόμβοι, που δεν συμμετέχουν σε ένα επιλεγθέν δρόμο, δεν διατηρούν πληροφορία δρομολόγησης ή συμμετέχουν σε ανταλλαγές των πινάκων δρομολόγησης.

Όταν ο κόμβος της πηγής θέλει να στείλει ένα μήνυμα σε κάποιον προορισμό και δεν έχει ήδη έναν έγκυρο δρόμο επικοινωνίας για αυτόν, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου ώστε να προσδιορίσει το πού βρίσκεται ο άλλος κόμβος. Στέλνει παντού μία αίτηση δρόμου (RouteREQuest – RREQ) υπό την μορφή πακέτου στους γειτονικούς κόμβους, οι οποίοι, με την σειρά τους, προωθούν την αίτηση στους δικούς τους γείτονες, μέχρι να βρεθεί ο επιθυμητός κόμβος ή να προσδιοριστεί ένας ενδιάμεσος κόμβος που έχει έγκυρη πληροφορία για τον προορισμό. Το AODV χρησιμοποιεί σειριακούς αριθμούς απόστασης για να εξασφαλίσει ότι όλες οι διαδρομές δεν θα περιέχουν βρόχους και να περιλάβει την πιο πρόσφατη κι έγκυρη πληροφορία δρομολόγησης. Κάθε κόμβος διατηρεί το δικό του σειριακό αριθμό, όπως επίσης κι ένα αναγνωριστικό ευρυεκπομπής ID. Το ID αυξάνεται για κάθε RREQ που εκκινείται από τον κόμβο, και μαζί με την διεύθυνση IP του κινητού, πιστοποιεί μοναδικά ένα πακέτο RREQ. Εκτός από τον σειριακό του αριθμό και το ID, ο κόμβος της πηγής περιλαμβάνει στο RREQ τον πιο πρόσφατο σειριακό αριθμό που έχει για τον προορισμό. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι μπορούν να απαντήσουν στο RREQ μόνο όταν έχουν μια διαδρομή προς τον προορισμό με αντίστοιχο σειριακό αριθμό μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό που περιέχεται στο RREQ.

Κατά την διεργασία της προώθησης του RREQ, οι ενδιάμεσοι κόμβοι καταγράφουν στους πίνακες δρομολόγησής τους τις διευθύνσεις των γειτόνων από τους οποίους έλαβαν το πρώτο αντίγραφο του πακέτου ευρυεκπομπής, κι έτσι καταστρώνουν ένα αντίστροφο μονοπάτι. Εάν πρόσθετα αντίγραφα του ίδιου RREQ ληφθούν αργότερα, αυτά τα πακέτα θα απορριφθούν σιωπηρά. Μόλις το RREQ πακέτο φθάσει στον προορισμό ή σε έναν ενδιάμεσο κόμβο με πρόσφατη πληροφορία για τον προορισμό, ο προορισμός/ενδιάμεσος κόμβος απαντά στέλνοντας μία απάντηση δρόμου (RouteREply – RREP) σε μορφή πακέτου πίσω στον γειτονικό κόμβο από τον οποίο έλαβε πρώτα το RREQ. Όπως το RREP δρομολογείται πίσω κατά την αντίστροφη πορεία, οι κόμβοι κατά μήκος αυτής της διαδρομής ενημερώνουν τους πίνακες δρομολόγησης τις εισόδους της πρόσθιας διαδρομής που σχετίζονται με τον κόμβο από τον οποίο προήλθε το

RREP πακέτο. Με αυτό τον τρόπο υποδεικνύεται και ο ενεργός πρόσθιος δρόμος. Με κάθε είσοδο της διαδρομής συσχετίζεται ένας χρονιστής, ο οποίος και προκαλεί την διαγραφή της εισόδου αν δεν χρησιμοποιείται για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Επειδή ένα RREP προωθείται από το μονοπάτι που δημιουργήθηκε από ένα RREQ, το AODV υποστηρίζει μόνο την χρησιμοποίηση συμμετρικών ζεύξεων.

Στο AODV, οι ζεύξεις διατηρούνται με τον εξής τρόπο: εάν ένας κόμβος κινηθεί, πρέπει να επανεκκινήσει το πρωτόκολλο εύρεσης διαδρομής ώστε να βρει ένα νέο δρόμο για τον προορισμό. Αν κάποιος ενδιάμεσος, προς τον προορισμό, κόμβος κινηθεί, ο κινούμενος προς την αντίθετη πορεία γείτονάς του αντιλαμβάνεται την κίνηση και μεταδίδει ένα μήνυμα γνωστοποίησης αποτυχίας της ζεύξης σε κάθε ένα από τους ενεργούς γείτονες - προς την αντίθετη από την κατεύθυνση του προορισμού πορεία – ώστε να τους ενημερώσει για την διαγραφή αυτού του κομματιού του δρόμου. Αυτοί οι κόμβοι, στην συνέχεια, διαδίδουν την γνωστοποίηση της αποτυχίας της ζεύξης προς τους κείμενους κατά την αντίθετη πορεία γειτονικούς κόμβους, και ούτω καθεξής, μέχρι να βρεθεί ο κόμβος της πηγής. Ο κόμβος της πηγής μπορεί έπειτα να επιλέξει την επανεκκίνηση της εύρεσης δρόμου για τον συγκεκριμένο προορισμό εάν είναι επιθυμητός κάποιος δρόμος για τις ανάγκες της επικοινωνίας.

Μία πρόσθετη πλευρά του πρωτοκόλλου είναι η χρησιμοποίηση των μηνυμάτων HELLO που είναι περιοδικές τοπικές ευρυεκπομπές που γίνονται από έναν κόμβο για να πληροφορήσει κάθε κινητό τερματικό για άλλους κόμβους στην γειτονιά τους. Τα μηνύματα HELLO μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διατηρήσουν την τοπική συνδεσιμότητα ενός κόμβου. Παρόλ' αυτά, δεν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση των HELLO μηνυμάτων. Οι κόμβοι ακούν τις επαναμεταδόσεις των πακέτων δεδομένων ώστε να διασφαλίσουν ότι το επόμενο άλμα εξακολουθεί να βρίσκεται εντός της περιοχής εμβέλειας-επαφής. Εάν μία τέτοια επαναμετάδοση δεν ακουστεί, ο κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε από μία πλειάδα τεχνικών, συμπεριλαμβανομένης και της αποδοχής των μηνυμάτων HELLO. Τα HELLO μηνύματα μπορούν να καταγράψουν τους

άλλους κόμβους από τους οποίους ένα κινητό έχει ακουστεί, και με αυτό τον τρόπο να παράγουν μεγαλύτερη γνώση για την συνδεσιμότητα του δικτύου.

### 2.2.2. Dynamic Source Routing – DSR

Το DSR πρωτόκολλο είναι ένα σχήμα δρομολόγησης που βασίζεται στην ιδέα της δρομολόγησης της πηγής. Απαιτείται από το μέρος των κινητών σταθμών να διατηρούν στη μνήμη τους διαδρομές που περιλαμβάνουν μονοπάτια τα οποία είναι γνωστά στους κόμβους.

Οι εισοδοί σε αυτές τις κρυφές διαδρομές ενημερώνονται συνεχώς για ολόένα και περισσότερους δρόμους. Το πρωτόκολλο αποτελείται από δύο βασικές φάσεις: α) εύρεση διαδρομής, και β) διατήρηση δρόμου. Όταν ένα κινητό τερματικό έχει ένα πακέτο για να στείλει σε κάποιο προορισμό, συμβουλευείται πρώτα τις διαδρομές που διατηρεί στην μνήμη του (κρυφές διαδρομές), για το κατά πόσο γνωρίζει, ήδη, μία διαδρομή προς τον προορισμό. Εάν έχει στην διάθεσή του μία έγκυρη διαδρομή για τον κόμβο του προορισμού, θα χρησιμοποιήσει το δρόμο αυτό για να στείλει το πακέτο. Από την άλλη πλευρά, εάν ο κόμβος δεν έχει μία τέτοια διαδρομή, εκκινεί την διαδικασία εύρεσης δρόμου στέλνοντας με την μέθοδο της ευρεκπομπής ένα πακέτο RREQ. Αυτό το πακέτο αίτησης δρόμου περιλαμβάνει την διεύθυνση του προορισμού, μαζί με την διεύθυνση του κόμβου της πηγής και ένα μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό. Κάθε κόμβος που λαμβάνει το πακέτο ελέγχει για το αν γνωρίζει μία διαδρομή προς τον προορισμό. Εάν δεν γνωρίζει, προσθέτει την δικιά του διεύθυνση στο αρχείο της διαδρομής που περιλαμβάνεται στο πακέτο και, έπειτα, προωθεί το πακέτο στις απερχόμενες ζεύξεις. Για να περιορίσει τον αριθμό των αιτήσεων δρόμου που μεταδίδονται στις απερχόμενες ζεύξεις ενός κόμβου, το κινητό προωθεί το πακέτο αίτησης μονάχα όταν η αίτηση δεν έχει ήδη εξυπηρετηθεί από τερματικό και αν η διεύθυνση του κόμβου δεν έχει ακόμη εμφανιστεί στο αρχείο

δρόμου. Η απάντηση δρόμου (RREP) παράγεται όταν είτε η αίτηση δρόμου φθάνει στον προορισμό από μόνη της, είτε φθάνει σε κάποιον ενδιάμεσο κόμβο που περιλαμβάνει στις κρυφές διαδρομές ένα έγκυρο μονοπάτι επικοινωνίας για τον προορισμό. Από την στιγμή που το πακέτο φτάσει είτε στον προορισμό είτε σε έναν τέτοιο ενδιάμεσο κόμβο, περιλαμβάνει ένα αρχείο δρόμου που υποδεικνύει την σειρά των αλμάτων που πραγματοποιήθηκαν.

Αν ο κόμβος που παράγει το RREP πακέτο είναι ο προορισμός, τοποθετεί το αρχείο δρόμου που περιλαμβάνεται στο RREQ μέσα στο RREP. Αν ο αποκρινόμενος κόμβος είναι ένας ενδιάμεσος κόμβος, επισυνάπτει την κρυφή του διαδρομή στο αρχείο δρόμου και έπειτα παράγει το πακέτο RREP. Για να επιστρέψει το RREP, ο αποκρινόμενος κόμβος πρέπει να έχει μία διαδρομή προς τον εκκινήτη της διαδικασίας εύρεσης του δρόμου. Εάν έχει έναν δρόμο προς τον κόμβο-εκκινήτη στην μνήμη που διατηρεί τις διαδρομές, μπορεί να τον χρησιμοποιήσει. Σε διαφορετική περίπτωση, εάν υποστηρίζονται συμμετρικές ζεύξεις, ο κόμβος μπορεί να αντιστρέψει την πορεία που διαγράφεται μέσω του αρχείου δρόμου. Αν δεν υποστηρίζονται συμμετρικές ζεύξεις, το κινητό ενδέχεται να εκκινήσει μία δικιά του διαδικασία εύρεσης δρόμου και προσαρτεί το RREP πάνω σε ένα νέο RREQ.

Η διατήρηση του δρόμου επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των πακέτων σφάλματος δρόμου (RouteERRor) και επιβεβαιώσεων. Τα πακέτα RERR παράγονται σε ένα κόμβο όταν το επίπεδο ζεύξης δεδομένων αντιμετωπίζει ένα αναπόφευκτο πρόβλημα μετάδοσης. Η πηγή πάντοτε σταματά να εκπέμπει όταν διακόπτεται ο δρόμος. Όταν λαμβάνεται ένα πακέτο RERR, το άλμα στο οποίο παρουσιάζεται το σφάλμα απομακρύνεται από την κρυφή μνήμη του κόμβου και όλες οι διαδρομές που περιλαμβάνουν αυτό το άλμα διακόπτονται στο σημείο αυτό. Επιπρόσθετα με τα μηνύματα RERR, χρησιμοποιούνται για την επαλήθευση της σωστής λειτουργίας των ζεύξεων της διαδρομής. Τέτοιες επιβεβαιώσεις περιλαμβάνουν παθητικές επιβεβαιώσεις (όταν ένα κινητό είναι ικανό να ακούσει το επόμενο άλμα και στην συνέχεια να προωθήσει το πακέτο κατά μήκος της διαδρομής).



## 2.3. Υβριδικά Σχήματα Δρομολόγησης

Τα υβριδικά σχήματα δρομολόγησης εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα τόσο των reactive όσο και των proactive πρωτοκόλλων. Με αυτό τον τρόπο επινοούνται πρωτόκολλα δρομολόγησης με μεγαλύτερες δυνατότητες και ευρύτερο φάσμα εφαρμογών στις περιπτώσεις τοπολογιών με μεγάλη τυχαιότητα και έντονη κινητικότητα.

### 2.3.1. Zone Routing Protocol – ZRP

Το ZRP ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών πρωτοκόλλων ενσωματώνοντας τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα και των δύο βασικών κατηγοριών σχημάτων δρομολόγησης. Μία ζώνη δρομολόγησης είναι παρόμοια με μία ομάδα (cluster) με την διαφορά ότι κάθε κόμβος ενεργεί ως επικεφαλής μιας ομάδας και μέλος άλλων ομάδων. Οι ζώνες μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται. Κάθε κόμβος προσδιορίζει μία ακτίνα ζώνης με όρους ραδιοαλμάτων. Το μέγεθος μιας επιλεγμένης ζώνης μπορεί, επομένως, να επηρεάσει την απόδοση της επικοινωνίας ad hoc.

Στο ZRP, μία ζώνη δρομολόγησης αποτελείται από μερικούς κινητούς κόμβους μέσα στα πλαίσια ενός, δύο, ή περισσότερων αλμάτων μακριά από τον κεντρικό κόμβο. Μέσα στα όρια της ζώνης, χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται και εκκινείται από την διατήρηση πινάκων (table-driven). Αυτό σημαίνει ότι οι ενημερώσεις για τους δρόμους διενεργούνται για τους κόμβους μέσα στα όρια κάθε ζώνης. Κάθε κινητό τερματικό, επομένως, έχει μία διαδρομή για οποιοδήποτε άλλο κόμβο μέσα στην ζώνη που ανήκει. Αν ο κόμβος του προορισμού βρίσκεται έξω από την ζώνη της πηγής, χρησιμοποιείται μία μέθοδος εύρεσης δρόμου που βασίζεται σε διαδικασίες κατ' απαίτηση (on-demand).

Το ZRP έχει τρία υπό-πρωτόκολλα: (α) το proactive Intrazone Routing Protocol (IARP), (β) το reactive Interzone Routing Protocol (IERP), και (γ) το Bordercast Resolution Protocol (BRP). Το IARP μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας μεθόδους δρομολόγησης που βασίζονται στις καταστάσεις των ζεύξεων και στα διανύσματα απόστασης. Η παραγόμενη πληροφορία δρομολόγησης διαδίδεται μέχρι το σύνορο της ζώνης δρομολόγησης και όχι σε όλο το δίκτυο.

Το IARP στηρίζεται σε ένα υποκείμενο πρωτόκολλο ανεύρεσης γειτόνων για την ανίχνευση της παρουσίας και απουσίας γειτονικών κόμβων, κι επομένως, την αξιολόγηση της συνδεσιμότητας των ζεύξεων αυτών των κόμβων. Ο βασικός του ρόλος είναι η διασφάλιση ότι κάθε κόμβος μέσα στην ζώνη έχει ένα συνεκτικό πίνακα δρομολόγησης που είναι πλήρως, εγκαίρως και επαρκώς ενημερωμένος, ενώ ταυτόχρονα απεικονίζει την πληροφορία για το πώς κάποιο κινητό μπορεί να φθάσει οποιοδήποτε άλλο κόμβο μέσα στην ζώνη.

Το IERP, από την άλλη πλευρά, στηρίζεται στους συνοριακούς κινητούς σταθμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση του reactive κομματιού δρομολόγησης για να βρεθεί η απαραίτητη πληροφορία για τα κινητά που ανήκουν σε άλλες ζώνες. Αντί να επιτρέπεται η ευρυεκπομπή των αιτήσεων να δεισδύσει στο σύνολο των κόμβων μέσα στις άλλες ζώνες, οι συνοριακοί σταθμοί σε άλλες ζώνες που λαμβάνουν αυτό το μήνυμα δεν θα το προωθήσουν περαιτέρω. Το IERP χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ανάλυσης της συνοριακής εκπομπής.

Επειδή σε μέρη ενός ad hoc δρόμου εφαρμόζονται διαφορετικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, τα χαρακτηριστικά αυτών θα είναι στην ουσία διαφορετικά. Μερικά μέρη της διαδρομής εξαρτώνται από την καθαυτή σύγκλιση του δρόμου, ενώ τα υπόλοιπα εξαρτώνται από το κατά πόσο ακριβής είναι η ευρεθείσα διαδρομή μέσα στα όρια της ίδιας της ζώνης. Αυτό μπορεί να εξασφαλίσει τη σταθερότητα ενός δρόμου με ιδιαίτερη δυσκολία. Χωρίς τον κατάλληλο έλεγχο των αιτήσεων, το ZRP μπορεί, πραγματικά, να αποδίδει

χειρότερα από τα προδιαγραφμένα πρωτόκολλα που βασίζονται στην μέθοδο της πλημμύρας.

Η διεργασία της εύρεσης δρόμου του ZRP είναι, επομένως, μία εξέταση στον πίνακα δρομολόγησης και /ή μία έρευνα εύρεσης δρόμου μέσα στα πλαίσια της ζώνης. Όταν ένας δρόμος δεν είναι πλέον έγκυρος εξαιτίας της κινητικότητας των κόμβων, εάν η πηγή της κινητικότητας βρίσκεται μέσα στην ζώνη, θα αντιμετωπιστεί όπως και ένα γεγονός αλλαγής της κατάστασης μιας ζεύξης και θα προκληθεί η παραγωγή και διάδοση ενημερώσεων όπως και στην proactive μέθοδο, ενημερώνοντας όλους τους κόμβους μέσα στην ζώνη. Αν η πηγή της κινητικότητας είναι αποτέλεσμα ενός συνοριακού κόμβου ή άλλων κινητών τερματικών στη ζώνη, τότε η αποκατάσταση της διαδρομής εκτελείται με την μορφή της έρευνας για ένα δρόμο, ή στην χειρότερη περίπτωση, ο κόμβος της πηγής ενημερώνεται για την αποτυχία του δρόμου.

Πρέπει να σημειώσουμε, κλείνοντας την αναφορά μας στα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης, ότι αρκετά ακόμη είναι τα ευρέως γνωστά σχήματα που συναντάμε στην βιβλιογραφία, όπως:

- Temporally Ordered Routing Algorithm – TORA
- Signal Stability Routing –SSR
- Location-Aided Routing – LAR
- Source Tree Adaptive Routing – STAR
- Associativity-Based long-lived Routing – ABR

## **2.4. Σύγχρονη Έρευνα πάνω σε Θέματα Δρομολόγησης στα Ad Hoc Δίκτυα**

Οι ερευνητικές τάσεις πάνω σε θέματα δρομολόγησης για τα ad hoc δίκτυα σχετίζονται, κυρίως, με την προσπάθεια εφαρμογής ενός αλγορίθμου που θα αντιμετωπίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τέτοιων τοπολογιών και θα δρομολογεί με αποδοτικό τρόπο και αξιόπιστα τα πακέτα δεδομένων μέσα στα όρια του

δικτύου. Οι έρευνες κατευθύνονται προς δύο σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν κάνουμε λόγο για δρομολόγηση σε ad hoc δίκτυα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Υποστήριξη QoS

### **2.4.1. Εξοικονόμηση Ενέργειας**

Ένα ad hoc δίκτυο αποτελείται από μία ομάδα από κινητούς, ασύρματους κόμβους που συνεργάζονται για την προώθηση των πακέτων με τρόπο πολυαλματικό και χωρίς την βοήθεια κεντροκοποιημένης διαχείρισης. Στα ad hoc δίκτυα, κάθε κινητός σταθμός λειτουργεί και σαν δρομολογητής και σαν τερματικός κόμβος είτε πρόκειται για την πηγή είτε για τον προορισμό. Επομένως, η αποτυχία της λειτουργίας κάποιου κόμβου μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του δικτύου, ακόμη και να επηρεάσει την βασική διαθεσιμότητά του, για παράδειγμα σε θέματα δρομολόγησης. Από την στιγμή που οι κινητοί κόμβοι συνήθως λειτουργούν με την υποστήριξη μπαταρίας στα ad hoc δίκτυα, η ενεργειακή εξάντληση αυτών έχει γίνει μία από τις βασικές απειλές για την διαθεσιμότητα τέτοιων δικτύων.

Τα τελευταία χρόνια, ένας αριθμός από μελέτες έχουν γίνει σε διαφορετικά επίπεδα, όπως το επίπεδο MAC και το επίπεδο εφαρμογών για να επιτευχθεί η επιθυμητή διατήρηση της ενέργειας των κόμβων. Παρακάτω θα ασχοληθούμε μόνο, ενδεικτικά, με την δρομολόγηση στο επίπεδο του δικτύου. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που δεν λαμβάνουν υπόψη τους θέματα ενέργειας τείνουν να χρησιμοποιούν τα ίδια μονοπάτια για συγκεκριμένες απαιτήσεις κίνησης, με αποτέλεσμα την γρήγορη εξάντληση ενέργειας από τους κόμβους που λαμβάνουν μέρος στους ενεργούς δρόμους, εάν οι απαιτήσεις κίνησης είναι υψηλές και συγκεντρωμένες σε μέρος, μόνο, του δικτύου. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να γίνει πολύ σοβαρό όταν υποστηρίζονται εφαρμογές πολυμέσων, από την στιγμή που η κίνηση διαρκεί πολύ και ο όγκος των δεδομένων που μεταφέρονται είναι σχετικά

υψηλός, για παράδειγμα η διανομή φωνής ή ροής video. Καθώς η χρήση των εφαρμογών πολυμέσων γίνεται ολοένα και περισσότερο ευρέως διαδεδομένη στα ad hoc περιβάλλοντα, τα ζητήματα που ανακύπτουν από την προσπάθεια διατήρησης της ενέργειας καθίστανται ιδιαίτερα σημαντικά.

Ενώ μια σειρά από προσεγγίσεις σε σχήματα δρομολόγησης, που λαμβάνουν υπόψη τους ενεργειακά θέματα, έχει προταθεί, αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τους επιδιωκόμενους στόχους τους. Ο στόχος της πρώτης κατηγορίας εστιάζεται στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης της συνολικά καταναλωθείσας ενέργειας κατά την μετάδοση πακέτων, το οποίο και ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας ανά πακέτο. Παρόλ' αυτά, αυτές οι προσεγγίσεις μπορεί να διακρίνονται για το ίδιο μειονέκτημα που παρουσιάζουν και οι κλασικές μέθοδοι δρομολόγησης, εάν τα ίδια μονοπάτια χρησιμοποιούνται επανειλημμένως, κι αυτό εξαιτίας της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας. Ο στόχος της δεύτερης κατηγορίας είναι η μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος που ορίζεται ως η διάρκεια από την εκκίνηση της υπηρεσίας μέχρι την πρώτη στιγμή που κάποιος από τους κόμβους εξαντλεί τα ενεργειακά του αποθέματα. Αυτή η οπτική δείχνει περισσότερο ενδιαφέρον στην εξισορρόπηση του φόρτου ανάμεσα στους κόμβους ώστε να επιμηκυνθεί ο χρόνος της υπηρεσίας, παρά στην ελαχιστοποίηση της ενέργειας για κάθε ανεξάρτητη μετάδοση πακέτου. Οι αλγόριθμοι που προτείνονται στοχεύουν στην μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος στην περίπτωση μίας στατικής τοπολογίας με πλήρη γνώση των απαιτήσεων κίνησης.

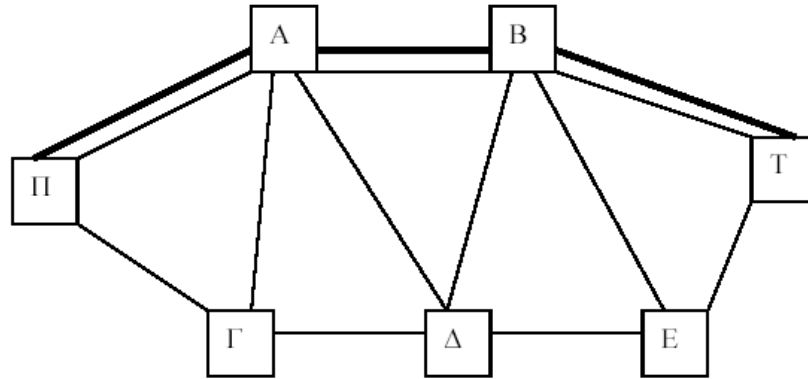
Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με δύο πρωτόκολλα που λαμβάνουν υπόψη τους το ζήτημα της ενέργειας: (α) το Request-Delay Routing Protocol (RDRP) και (β) το Max-Min Routing Protocol (MMRP). Αυτά, έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του συστήματος σε ένα δυναμικό ad hoc δίκτυο χωρίς καμία, εκ των προτέρων, πληροφορία για απαιτήσεις κίνησης. Με μια μικρή τροποποίηση στον μηχανισμό εύρεσης δρόμου του DSR, τα παρουσιαζόμενα σχήματα δρομολόγησης μπορούν να επιτύχουν καλύτερη

διανομή του φόρτου ανάμεσα στους κόμβους, που έχει σαν αποτέλεσμα έναν μεγαλύτερο χρόνο ζωής για το δίκτυο.

Το DSR, θυμίζουμε, ότι είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που λειτουργεί κατά απαίτηση ενός δρόμου επικοινωνίας κι εφαρμόζεται σε μικρού μεγέθους ad hoc δίκτυα. Όταν μία πηγή επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον προορισμό, εκκινεί μία διαδικασία εύρεσης δρόμου πλημμυρίζοντας ένα πακέτο αίτησης δρόμου που περιέχει κάποιο αναγνωριστικό. Καθώς τα πακέτα αίτησης πλημμυρίζουν το δίκτυο, κάθε κόμβος προσθέτει την δικιά του διεύθυνση σε ένα πίνακα δρομολόγησης μέσα σε αυτά τα πακέτα. Για να περιοριστούν τα παραγόμενα αντίγραφα των πακέτων αιτήσεων, με το που λαμβάνει κάποιος κόμβος μία αίτηση, την ελέγχει και αν βρει την δικιά του διεύθυνση ήδη καταχωρημένη στην διαδρομή ή έχει από πριν μεταδώσει ένα παλιότερο αντίγραφο με τον ίδιο αναγνωριστικό αριθμό, την απορρίπτει. Όταν ο προορισμός λαμβάνει ένα πακέτο αίτησης, μπορεί απλά να αντιστρέψει την καταχωρημένη διαδρομή για να επικοινωνήσει με την πηγή, ή να χρησιμοποιήσει την ίδια διαδικασία εύρεσης δρόμου μέχρι την αρχική πηγή. Σε κάθε κινητό τερματικό, οι διαδρομές γίνονται γνωστές κατά την διάρκεια της διαδικασίας εύρεσης δρόμου και διατηρούνται για κάποιο χρονικό διάστημα με σκοπό την μελλοντική τους χρήση σε μεταδόσεις.

Η διατήρηση κρυφών διαδρομών από πλευράς του DSR, του επιτρέπει να έχει την καλύτερη απόδοση, σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας, συγκριτικά με πολλά πρωτόκολλα δρομολόγησης. Χωρίς, όμως, την εκτίμηση ενεργειακών θεμάτων, οποιοδήποτε σχήμα δρομολόγησης μπορεί να υποφέρει από ταχεία διακοπή της λειτουργία του δικτύου υπό την παρουσία της συγκεντρωμένης μορφής της κίνησης. Στην περίπτωση του DSR, από την στιγμή που κάθε κόμβος θα μεταδίδει μόνο το πρώτο αντίγραφο κάθε αίτησης, ο δρόμος στο πρώτο πακέτο που λαμβάνεται από ένα κόμβο προορισμού, είναι συνήθως το μικρότερο μονοπάτι το οποίο και θα χρησιμοποιείται συνεχόμενα. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την περίπτωση όπου μία δικτυακή τοπολογία (σχήμα 3) παρουσιάζει υψηλή κίνηση μεταξύ των κόμβων Π και Τ. Η συνεχόμενη χρήση του μονοπατιού

(Π, Α, Β, Τ) θα αδειάσει, σύντομα, τις μπαταρίες των κόμβων Α και Β, που στην συνέχεια, τελικά, θα μειώσει τον χρόνο ζωής του συνολικού συστήματος.



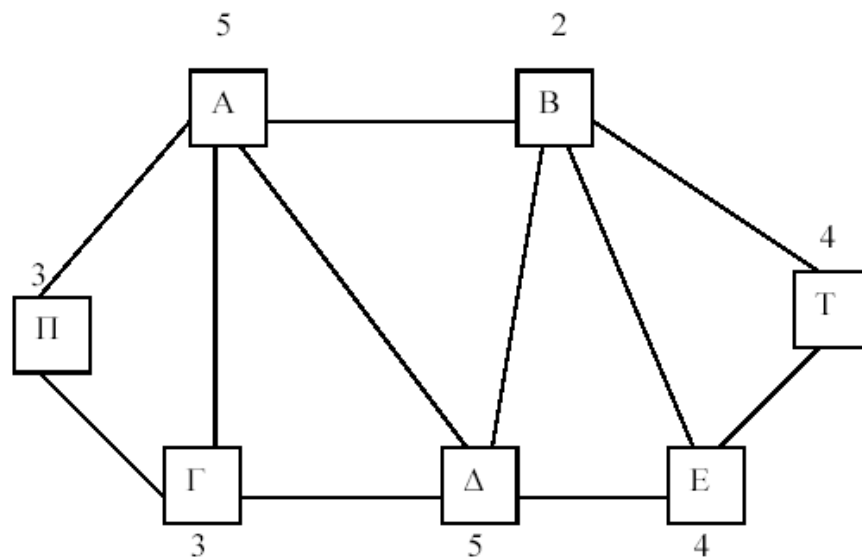
Σχήμα 2.3: Παράδειγμα δικτύου

### 2.4.1.1. Request-Delay Routing Protocol – RDRP

Η κοινή λογική των πρωτοκόλλων δρομολόγησης που λαμβάνουν υπόψη τους τα θέματα ενέργειας είναι ότι οι αποφάσεις δρομολόγησης θα έπρεπε να βασίζονται στο ενεργειακό επίπεδο του κάθε κόμβου. Ο κύριος στόχος των προσεγγίσεων που θα παρουσιάσουμε είναι μία άρτια εξισορρόπηση της ενέργειας μεταξύ των κινητών τερματικών, η οποία και τελικά θα έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη διάρκεια της υπηρεσίας στο δίκτυο. Αν αναλογιστούμε το παράδειγμα του σχήματος 3, μπορούμε καθαρά να διαπιστώσουμε ότι η χρησιμοποίηση του ίδιου σύντομότερου μονοπατιού θα μείωνε τον χρόνο ζωής του συστήματος και, συνεπώς, θα πρέπει να αποφεύγεται. Άρα, η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τέτοια σχήματα δρομολόγησης είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών δρόμων για την επικοινωνία αντί της συνεχόμενης χρησιμοποίησης μιας μοναδικής διαδρομής.

Η ιδέα του πρωτοκόλλου RDRP είναι η ακόλουθη: Με την λήψη ενός πακέτου αίτησης δρόμου, κάθε κόμβος αρχικά κρατάει το πακέτο για μία χρονική περίοδο που είναι αντιστρόφως ανάλογη με την τρέχουσα ενεργειακή του

κατάσταση. Μετά από αυτή την περίοδο αναμονής, ο κόμβος προωθεί την αίτηση. Αυτός ο απλός μηχανισμός καθυστέρησης στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε κινητό τερματικό δέχεται μόνο την αίτηση που έφθασε πιο νωρίς και απορρίπτει όλες τις υπόλοιπες που είναι όμοιες. Με τον μηχανισμό αυτό, τα πακέτα αιτήσεων που προέρχονται από τους κόμβους με χαμηλό ενεργειακό επίπεδο μεταδίδονται μετά από μεγαλύτερη καθυστέρηση στους γείτονες. Έτσι, είναι πολύ πιθανό να απορριφθούν σε σχέση με εκείνα τα πακέτα που προέρχονται από τους κόμβους με υψηλότερα επίπεδα ενέργειας. Αυτή η διαδικασία εύρεσης δρόμου συνεχίζει μέχρι να λάβει ο κόμβος του προορισμού το πρώτο πακέτο αίτησης, του οποίου τα καταχωρημένα μονοπάτια, ίσως, να αποτελούνται από τα κινητά τερματικά με τα μεγαλύτερα ενεργειακά αποθέματα. Για παράδειγμα ας σκεφτούμε ένα ad hoc δίκτυο του σχήματος 2.4, όπου φαίνεται το ενεργειακό επίπεδο κάθε κόμβου.



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα δικτύου με επίπεδο ενέργειας

Ο δρόμος επικοινωνίας από τον κόμβο Π στον κόμβο Τ μπορεί να είναι το μονοπάτι (Π, Α, Δ, Ε, Τ) αν χρησιμοποιηθεί το σχήμα RDRP, από την στιγμή που οι κόμβοι Γ ή Δ μπορούν να καθυστερήσουν την προώθηση του πακέτου περισσότερο από τους υπόλοιπους εξαιτίας του χαμηλού επιπέδου ενέργειας. Το



πρωτόκολλο αυτό δίνει την δυνατότητα σε αυτά τα πακέτα αιτήσεων που διασχίζουν τους κόμβους του δικτύου που έχουν υψηλά ενεργειακά αποθέματα να φτάνουν στον προορισμό πρώτα. Σημειώνουμε ότι η εφαρμογή του RDRP απαιτεί την ελάχιστη τροποποίηση στους τοπικούς κόμβους προσθέτοντας έναν μηχανισμό καθυστέρησης. Παρόλ' αυτά, το τίμημα αυτής της μεθόδου είναι η εισαγωγή καθυστέρησης στην διαδικασία εύρεσης δρόμου.

#### **2.4.1.2. Max-Min Routing Protocol – MMRP**

Το δεύτερο πρωτόκολλο είναι το MMRP. Αυτό το σχήμα δρομολόγησης απαιτεί ένα πεδίο τιμής για την ενέργεια, που θα περιλαμβάνεται σε ένα πακέτο αίτησης. Κάθε φορά που ένας κόμβος προωθεί ένα πακέτο αίτησης δρόμου, προσθέτει, μαζί με την διεύθυνσή του, στο πακέτο αίτησης την τρέχουσα ενεργειακή του κατάσταση. Εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι ένας κόμβος του προορισμού μπορεί να έχει πολλαπλά πακέτα αιτήσεων που περιλαμβάνουν διαφορετική πληροφορία για την δρομολόγηση. Στο DSR, ο προορισμός δέχεται μονάχα το πρώτο πακέτο αίτησης που πιθανά να περιέχει το συντομότερο μονοπάτι, και απορρίπτει οποιοδήποτε επόμενο όμοιο πακέτο. Παρόλ' αυτά, η βασική ιδέα πίσω από το MMRP είναι να αφήσει τον κόμβο του προορισμού να χρησιμοποιήσει επιπρόσθετη πληροφορία δρόμου από τα πολλαπλά πακέτα αίτησης δρόμου. Μόλις ο κόμβος του προορισμού λάβει το πρώτο πακέτο αίτησης, θέτει σε λειτουργία ένα χρονόμετρο και περιμένει για περισσότερα πακέτα αίτησης δρόμου που περιέχουν πρόσθετη πληροφορία δρομολόγησης. Ο προορισμός επιλέγει μία διαδρομή επικοινωνίας από αυτά τα διαθέσιμα πολλαπλά μονοπάτια. Σημειωτέον ότι τα μονοπάτια αυτά είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους, δηλαδή δεν περιέχουν κοινούς κόμβους εκτός της πηγής και του προορισμού. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε κινητό τερματικό απορρίπτει πακέτα αίτησης με τον ίδιο αναγνωριστικό αριθμό. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε το σχήμα 2.4, όπου το πρώτο μονοπάτι είναι το  $P(1) = (\Pi, A, B, T)$  από τον  $\Pi$  στον  $T$ , κι έτσι το

μονοπάτι (Π, Γ, Δ, Β, Τ) δεν είναι διαθέσιμο από την στιγμή που ο Β θα απορρίψει όλα τα επόμενα πακέτα αίτησης δρόμου εκτός του αρχικού. Άρα το επόμενο μονοπάτι θα είναι το  $P(2) = (\Pi, \Gamma, \Delta, E, T)$ . Αφού η τιμή ενέργειας καταγράφεται σε ένα πακέτο αίτησης, κάθε δρόμος μπορεί να συσχετιστεί με ένα διάνυσμα ενέργειας του οποίου τα στοιχεία θα αντιπροσωπεύουν τα επίπεδα ενέργειας των αντίστοιχων κόμβων. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι στο σχήμα 2.4, το μονοπάτι (Π, Α, Β, Τ) απεικονίζεται από το ενεργειακό διάνυσμα (3, 5, 2, 4).

Υποθέτουμε ότι το  $\min P(k)$  είναι η ελάχιστη ενεργειακή τιμή του κόμβου από εκείνους που συνιστούν το μονοπάτι  $P(k)$ . Τότε, το πρωτόκολλο MMRP θα επιλέξει έναν δρόμο που έχει την μέγιστη τιμή από τα  $\min P(k)$ . Αν υπάρχουν πολλές ίδιες ελάχιστες τιμές μεταξύ των μονοπατιών, συγκρίνεται η επόμενη μικρότερη τιμή. Στην περίπτωση του σχήματός μας, αν υποθέσουμε ότι τα υποψήφια μονοπάτια είναι τα  $P(1)$  και  $P(2)$ , τότε ο αλγόριθμος που παρουσιάζουμε θα επιλέξει το  $P(2)$  ακόμη κι αν ένα πακέτο αίτησης που θα περιέχει το μονοπάτι  $P(1)$  φθάνει νωρίτερα από ένα άλλο που περιέχει το  $P(2)$ . Διαισθητικά, αυτό το σχήμα δρομολόγησης επιδιώκει να αποφύγει την χρησιμοποίηση των ήδη ενεργειακά εξαντλημένων κόμβων όταν πρόκειται για την λήψη αποφάσεων δρομολόγησης. Εκτός από την πρόσθεση ενός χρονομέτρου, μπορεί να υπάρξει η προσθήκη ενός μηχανισμού μέτρησης: Μόλις ληφθεί ένας καθορισμένος αριθμός από πακέτα αίτησης δρόμου, ο προορισμός εκτελεί άμεσα τον MMRP αλγόριθμο χωρίς να περιμένει την εκπνοή του χρόνου.

Σημειωτέον ότι, παρόμοια, το RDRP και το MMRP επιδιώκουν την διατήρηση της ενέργειας σε βάρος της καθυστέρησης στον κόμβο του προορισμού, γεγονός που μπορεί να επιφέρει την κατάκτηση μιας γενικότερης πληροφόρησης για τα ενεργειακά ζητήματα του δικτύου.

## 2.4.2. Υποστήριξη QoS

Η προσφορά υπηρεσιών QoS είναι πιο δύσκολη στα ad hoc δίκτυα εξαιτίας τουλάχιστον δύο λόγων. Ο πρώτος έχει να κάνει με την φύση των ασύρματων επικοινωνιών. Δηλαδή κάθε κόμβος μπορεί να ακούσει τον γειτονικό του – αφού η μορφή των μεταδόσεων είναι αυτή της ευρυεκπομπής – κι έτσι, το εύρος ζώνης κάθε ζεύξης επηρεάζεται από τις δραστηριότητες εκπομπής/λήψης των γειτονικών της ζεύξεων. Δεύτερο, αντίθετα με τα κυβελωτά δίκτυα, όπου υπάρχει μόνο ένα άλμα ασύρματης επικοινωνίας, ένα ad hoc δίκτυο χρειάζεται να εγγωηθεί παραμέτρους QoS για ένα πολυαλματικό ασύρματο μονοπάτι. Επιπλέον, οι κινητοί σταθμοί μπορεί να συμμετέχουν στο δίκτυο, να φεύγουν και να επανέρχονται από/σε αυτό οποιαδήποτε στιγμή και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι υπάρχουσες ζεύξεις μπορούν να εξαφανίζονται και τυχαία να δημιουργούνται νέες. Στην πραγματικότητα, πολλά σχήματα δρομολόγησης έχουν προταθεί που αντιμετώπισαν τα προβλήματα εγκατάστασης και διατήρησης των διαδρομών σε μία δυναμικά μεταβαλλόμενη τοπολογία. Παρόλ' αυτά, σε πολλές από αυτές τις προτάσεις, Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης μελετήθηκαν και επινοήθηκαν χωρίς να ληφθεί λεπτομερειακά υπόψη το ζήτημα των χαμηλότερων επιπέδων, συμπεριλαμβανομένων της μεταβλητής χωρητικότητας της ζεύξης στο φυσικό επίπεδο, του επιπέδου συγκρούσεων στο επίπεδο MAC ή της συχνής συμφόρησης εξαιτίας της δρομολόγησης σύμφωνα με το συντομότερο μονοπάτι. Άρα, μία διαφαινόμενη πρόκληση είναι ένα δι-επιπεδικό σύστημα που θα έχει γνώση των χρονικά μεταβαλλόμενων συνθηκών του καναλιού, θα προσαρμόζει τις αποφάσεις δρομολόγησης με σκοπό την πιο αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος, και θα λειτουργεί εύρωστα υπό συνθήκες διαφορετικής κινητικότητας και διαφορετικών σεναρίων κίνησης.

Πρόσφατα, έχουν προταθεί προσαρμοστικές τεχνικές διαμόρφωσης μετάδοσης για τις ανάγκες των κυβελωτών δικτύων ως ένας τρόπος για την πραγματοποίηση χωρητικότητας σε μία σημείο προς σημείο ζεύξη. Όταν η εκτίμηση του καναλιού είναι διαθέσιμη στον πομπό, το σχήμα εκπομπών μπορεί

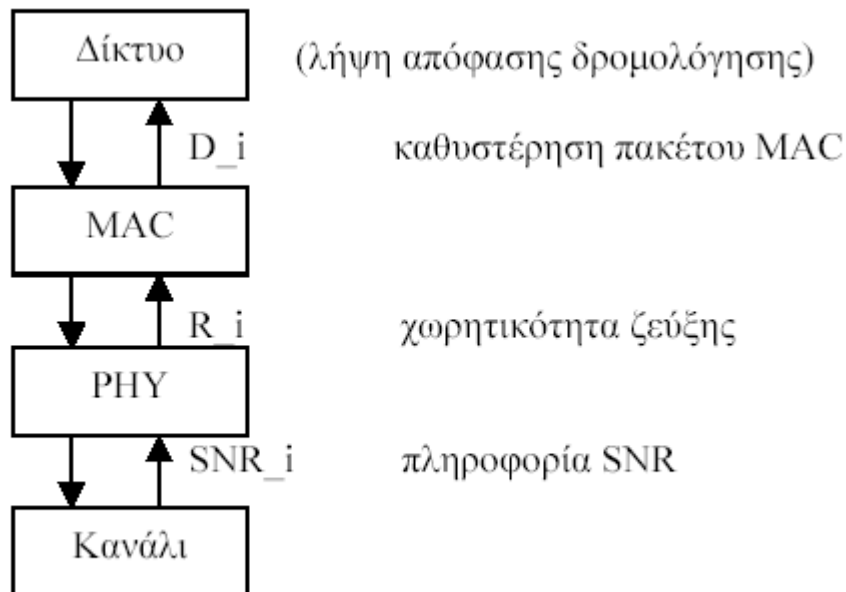
να προσαρμοστεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού. Έχει δειχθεί ότι η αποδοτικότητα του φάσματος βελτιστοποιείται μέσω της προσαρμογής τόσο του ρυθμού όσο και της ισχύος στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πλήρης πληροφόρηση από την πλευρά του καναλιού.

Αν και η προσαρμοστική τεχνική διαμόρφωσης έχει υπάρξει ένα ζωτικό κομμάτι του ερευνητικού χώρου στον τομέα του κυψελωτού παραδείγματος, είναι σχετικά νέο πρόβλημα για τα ad hoc δίκτυα. Σημειώνουμε ότι ο προαιρετικός μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο στο 802.11 με την βοήθεια της ανταλλαγής των μηνυμάτων RTS/CTS παρέχει την φυσική δυνατότητα επανατροφοδότησης του πομπού με την πληροφορία που κατέχει ο δέκτης. Έχουν εισαχθεί μηχανισμοί προσαρμογής του ρυθμού για συστήματα με άλματα συχνότητας. Ο ρυθμός μετάδοσης προσαρμόζεται με βάση την εμπειρική μέτρηση του αριθμού των σφαλμάτων και διαγραφών στα πακέτα του δέκτη. Επίσης, έχουν μελετηθεί πρωτόκολλα προσαρμοσμένου ρυθμού MAC, το οποίο μπορεί να εξηγηθεί με συντομία ως εξής: Υποθέτουμε ότι ο κόμβος-ι επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο στον γείτονα του κ. Πρώτα, ο κόμβος-ι στέλνει ένα RTS (Ready-To-Send) πακέτο στον κόμβο-κ για να κρατήσει το κανάλι. Όταν ο κόμβος-κ λάβει το RTS πακέτο, εκτελεί μία εκτίμηση καναλιού ώστε να διαπιστώσει και να καθορίσει το λαμβανόμενο σηματοθορυβικό λόγο SNR (Signal-Noise Ratio). Το SNR προσαρτάται, στη συνέχεια, στο πακέτο CTS (Clear-To-Send) και στέλνεται πίσω στον κόμβο-ι. Ο κόμβος-ι, έπειτα, απεικονίζει το λαμβανόμενο SNR στον ρυθμό μετάδοσης του πακέτου δεδομένων.

Η εφαρμογή της προσαρμογής του ρυθμού μπορεί να είναι ένα μέσο για την επίτευξη υψηλότερης ρυθμαπόδοσης σε μία ζεύξη. Τεχνικές δρομολόγησης που εκμεταλλεύονται την ασυμφωνία της χωρητικότητας μίας ζεύξης δεν έχουν μελετηθεί. Θα ήταν επιθυμητό για έναν αλγόριθμο δρομολόγησης να χρησιμοποιεί ζεύξεις μεγάλου εύρους ζώνης ώστε να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου. Για αυτό τον σκοπό προτείνεται ένα σχήμα δρομολόγησης με προσαρμογή ρυθμού. Κύριος σκοπός είναι να καταδειχθεί ότι οι επικοινωνίες μεταξύ του φυσικού, του MAC, και του επιπέδου δικτύου θα βελτιώσει την

χωρητικότητα μεταφερόμενης κίνησης για το δίκτυο. Υπάρχουν δύο κύριες συνεισφορές σε αυτή την δουλειά. Πρώτα, παρουσιάζεται ένα σχήμα προσαρμογής ρυθμού για ad hoc δίκτυα που είναι αποδοτικό από πλευράς φάσματος και λειτουργεί στην κορυφή του MAC πρωτοκόλλου του 802.11. Δεύτερο, μερικά νέα μετρικά δρομολόγησης, που μπορούν να δημιουργηθούν βάσει της πληροφορίας από τα κατώτερα επίπεδα, λαμβάνονται υπόψη και οι διαφορές στην απόδοση εκτιμώνται με εκτεταμένες προσομοιώσεις. Οι αποφάσεις για την δρομολόγηση λαμβάνονται με βάση την πληροφορία που φτάνει μέσω του επιπέδου MAC.

Το ένα εμπλέκει την επικοινωνία μεταξύ φυσικού και MAC επιπέδου ενώ το άλλο εμπεριέχει την επικοινωνία μεταξύ του επιπέδου δικτύου και του MAC. Ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα διάφορα επίπεδα με σκοπό την υποστήριξη παραμέτρων QoS μέσα από την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης, φαίνεται γραφικά στο σχήμα 2.5, παρακάτω.



Σχήμα 2.5: Γραφική αναπαράσταση της δι-επιπεδικής επικοινωνίας στο δίκτυο

Στο φυσικό επίπεδο, διενεργείται μέτρηση του καναλιού ώστε να εκτιμηθεί η στιγμιαία τιμή του SNR της ζεύξης. Στο επίπεδο της ζεύξης ένας εκπομπός επιλέγει έναν ρυθμό μετάδοσης  $R_I$  που βασίζεται στο SNR στην πλευρά του δέκτη. Αυτό, με την σειρά του, επηρεάζει την καθυστέρηση της ζεύξης στο επίπεδο MAC ( $D_i$ ) κατά την διάρκεια μιας εκπομπής. Στο επίπεδο του δικτύου, οι αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται βάσει των τιμών που έχουν τα μετρικά δρομολόγησης κατά μήκος των μονοπατιών. Αυτές οι αποφάσεις δρομολόγησης, στη συνέχεια, επηρεάζουν την κατανομή του προσφερόμενου φόρτου στις ασύρματες ζεύξεις. Επομένως, οι επικοινωνίες των διαφόρων επιπέδων σχετίζονται μεταξύ τους.

### 2.4.2.1. Μετρικά Δρομολόγησης

Θυμίζουμε τον τρόπο με τον οποίο στην προδιαγραφή του 802.11 παραχωρούνται οι πόροι του συστήματος για τις ανάγκες μιας επικοινωνίας: Συγκεκριμένα τα πλαίσια RTS και CTS μεταφέρουν την πληροφορία του μήκους του πακέτου που πρόκειται να μεταδοθεί. Αυτή η πληροφορία διαβάζεται από όλους τους σταθμούς που ακούνε, και οι οποίοι ενημερώνουν το αποκαλούμενο διάνυσμα παραχώρησης δικτύου (Network Allocation Vector – NAV) που περιέχει την πληροφορία της περιόδου του χρόνου για την οποία το κανάλι θα παραμείνει απασχολημένο. Άρα, όταν ένας κόμβος είναι κρυμμένος είτε από τον εκπομπό είτε από τον δέκτη – δεν βρίσκεται, δηλαδή, στην περιοχή εμβέλειας ή άμεσης επικοινωνίας αυτών, μπορεί να καθυστερήσει περαιτέρω την μετάδοση και να αποφύγει μία σύγκρουση με το να ανιχνεύσει είτε το RTS είτε το CTS.

Προκειμένου να διευκολυνθούν οι επικοινωνίες μεταξύ των επιπέδων δικτύου και MAC, προτείνεται η χρησιμοποίηση μετρικών δρομολόγησης. Η πληροφορία που προέρχεται από το επίπεδο MAC προωθείται στην στοίβα του δικτύου με την μορφή ενός μετρικού δρομολόγησης. Επομένως, σε κάθε ζεύξη

παραχωρείται μια συγκεκριμένη τιμή, η οποία υποδεικνύει τον βαθμό επιθυμίας χρησιμοποίησης της ζεύξης υπό ορισμένα κριτήρια.

Ο αλγόριθμος του συντομότερου μονοπατιού υπολογίζεται μεταξύ της πηγής και του προορισμού έτσι, ώστε το άθροισμα των προσαρτημένων βαρών κατά μήκος του επιλεγμένου δρόμου να είναι το ελάχιστο. Ανάλογα με την πληροφορία που στέλνεται πίσω από τα κατώτερα επίπεδα, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης παρουσιάζουν διάφορες επιθυμητές ιδιότητες σε ότι αφορά την απόδοση σε σχέση με το εύρος ζώνης, το επίπεδο παρεμβολής και την συμφόρηση. Αυτά τα μετρικά αναπτύσσονται σε γενικές γραμμές παρακάτω:

• **Δρομολόγηση με βάση το εύρος ζώνης**

Ο ρυθμός μετάδοσης  $R(k,j)$  μιας ζεύξης μεταξύ των κόμβων  $k$  και  $j$  τροφοδοτείται στο επίπεδο δικτύου. Το μετρικό δρομολόγησης σε κάθε ζεύξη ορίζεται, έπειτα, να είναι  $1/R(k,j)$ . Το άθροισμα των μετρικών δρομολόγησης κατά μήκος ενός δρόμου είναι ανάλογο του συνολικού χρόνου μετάδοσης των πακέτων δεδομένων σε όλες τις ζεύξεις, εξαιρώντας τις καθυστερήσεις από επαναμεταδόσεις. Από την στιγμή που στις ζεύξεις με υψηλό εύρος ζώνης προσαρτάται μία μικρή τιμή μετρικού, περισσότεροι δρόμοι θα χρησιμοποιήσουν τη ζεύξη ως επικείμενα μονοπάτια. Επομένως, η απόφαση για την δρομολόγηση έχει και το χρώμα της σκέψης για το ζήτημα του εύρους ζώνης.

• **Δρομολόγηση με βάση την παρεμβολή**

Η διάρκεια της καθυστέρησης στο επίπεδο MAC ( $D(k,j)$ ) ορίζεται ως η χρονική διάρκεια μεταξύ της στιγμής όπου στέλνεται το πρώτο RTS πακέτο μέχρι και το σημείο όπου το πακέτο δεδομένων λαμβάνεται με επιτυχία. Η καθυστέρηση μεταξύ του κόμβου  $k$  και του κόμβου  $j$  τροφοδοτείται στο επίπεδο δικτύου και αποθηκεύεται ως μετρικό δρομολόγησης.

Το άθροισμα των μετρικών δρομολόγησης κατά μήκος μιας διαδρομής είναι ανάλογη με την συνολική μετάδοση των πακέτων δεδομένων σε όλες τις ζεύξεις, συμπεριλαμβανομένων και των καθυστερήσεων εξαιτίας των επαναμεταδόσεων των συγκρουόμενων πακέτων. Οι ζεύξεις που έχουν μεγάλη

καθυστέρηση MAC θα εμφανίζουν υψηλή τιμή στο μετρικό, κι έτσι θα αποθαρρύνεται η χρήση τέτοιων ζεύξεων στην εγκατάσταση νέων δρόμων.

• **Δρομολόγηση με βάση την συμφόρηση**

Η καθυστέρηση ουράς-αναμονής  $Q(i)$  του εκπεμπόμενου κόμβου  $i$  καθορίζεται να είναι το μετρικό δρομολόγησης. Κόμβοι με ένα μεγάλο αριθμό από πακέτα στον buffer θα πρέπει να αποφεύγονται.

**2.4.2.2. Εφαρμογή στο DSR**

Για τους σκοπούς της εφαρμογής επιλέγουμε το πρωτόκολλο DSR ως το σχήμα δρομολόγησης. Το DSR χρησιμοποιεί τη δρομολόγηση πηγής αντί να δρομολογεί την κίνηση άλμα προς άλμα. Με αυτό τον τρόπο κάθε πακέτο που πρόκειται να δρομολογηθεί μεταφέρει στην επικεφαλίδα του την ολοκληρωμένη σειριακή ακολουθία των κόμβων μέσω των οποίων πρέπει να περάσει. Ένα πλεονέκτημα της δρομολόγησης πηγής είναι ότι περιορίζει την ανάγκη για περιοδική ενημέρωση των δρόμων και ανίχνευση γειτόνων όπως συμβαίνει με τα proactive σχήματα δρομολόγησης.

Η εφαρμογή ενός μετρικού δρομολόγησης στην κορυφή του DSR γίνεται απευθείας. Για κάθε πακέτο DSR προσαρτούμε ένα πεδίο τιμών, στο οποίο θα αποθηκεύεται ο χρόνος στον οποίο ένας εκπεμπόμενος κόμβος κάνει, αρχικά, την πρώτη προσπάθεια μετάδοσης ενός πακέτου. Όταν ο κόμβος-δέκτης λαμβάνει το πακέτο, υπολογίζεται τοπικά η καθυστέρηση MAC. Αυτές οι τιμές των καθυστερήσεων αποθηκεύονται κατά μήκος του δρόμου της πηγής μαζί με τις διευθύνσεις των πηγών στο πακέτο του DSR.

Σε αντίθεση με την μέτρηση της καθυστέρησης MAC, η οποία πραγματοποιείται στην φάση της διαδικασίας εύρεσης δρόμου μόνο για τον υπολογισμό του μετρικού δρομολόγησης, διενεργείται και προσαρμογή του ρυθμού τόσο στην φάση αυτή όσο και κατά την διάρκεια των μεταδόσεων των δεδομένων μετά την απόκτηση του δρόμου. Έχουμε, ήδη, πει μερικά λόγια για το πώς επιτυγχάνεται η προσαρμογή του ρυθμού με την βοήθεια των πακέτων RTS



και CTS κατά την διάρκεια των μεταδόσεων των δεδομένων. Το σχήμα με τα RTS και CTS, όμως, δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί ευθέως στα πακέτα του DSR στην εύρεση δρόμου. Τα DSR πακέτα είναι πακέτα ευρυεκπομπής, και δεν θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε κανένα πακέτο ελέγχου RTS ή CTS. Επομένως, σε μία υποθετική εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα πακέτα RREQ και RREP για την επίτευξη της προσαρμογής. Όταν λαμβάνεται ένα RREP πακέτο, ο παραλήπτης διενεργεί μία εκτίμηση καναλιού και υπολογίζεται το λαμβανόμενο SNR. Αυτό προσαρτάται στο πακέτο RREQ και προωθείται κατά μήκος της διαδρομής της πηγής.

Όταν η πηγή λάβει το πακέτο RREP από τους προορισμούς, καθορίζονται οι τιμές της καθυστέρησης MAC και ο ρυθμός μετάδοσης της κάθε ζεύξης του δρόμου. Αν η δρομολόγηση γίνει με βάση το εύρος ζώνης, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των  $1/R$ . Αν η δρομολόγηση γίνει με βάση το επίπεδο παρεμβολής, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των  $D$ . Αν η δρομολόγηση, τέλος, γίνει με βάση την συμφόρηση, επιλέγεται ο δρόμος που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των  $Q$ .

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Το πρότυπο IEEE 802.11

#### Εισαγωγή

Το IEEE ανέπτυξε ένα διεθνές WLAN πρότυπο γνωστό ως IEEE 802.11. Το project ξεκίνησε το 1990. Το πεδίο δράσης του standard είναι να αναπτύξει το επίπεδο ελέγχου μέσου πρόσβασης (MAC) και το φυσικό επίπεδο, για ασύρματη σύνδεση ολοκληρωμένων (fixed) φορητών και κινητών σταθμών μέσα σε τοπικές περιοχές. Ο σκοπός του προτύπου είναι διπλός.

- Να παράσχει ασύρματη σύνδεση σε ασύρματους μηχανισμούς, εξοπλισμό ή σταθμούς που απαιτούν γρήγορη ανάπτυξη οι οποίοι μπορεί να είναι φορητοί
- Να προσφέρει ένα πρότυπο για χρήση από ρυθμιστές, η οποία να καθιερώνει πρόσβαση σε μια ή περισσότερες περιοχές συχνοτήτων για την επικοινωνία της τοπικής περιοχής.

Το πρότυπο IEEE 802.11 περιγράφει υποχρεωτική βάση στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων την τιμή του 1 Mb/s με προαιρετική την τιμή των 2Mb/s. Η υποχρεωτική βάση για την ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων ορίζεται όπως η προαιρετική για τις κατανεμημένες χρονικά περιορισμένες υπηρεσίες (Distributed Time-Bounded Services DTBS)). Η ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων, αναφέρεται στην κυκλοφορία που είναι σχετικά ανεπηρέαστη από την χρονική καθυστέρηση. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και η μεταφορά αρχείων, είναι παραδείγματα ασύγχρονων δεδομένων. Από την άλλη μεριά, κίνηση χρονικά περιορισμένη είναι εκείνη η οποία προκειμένου να παρέχει μια αποδεκτή ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service QoS), περιορίζεται από ειδικές χρονικές καθυστερήσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η υποστήριξη δύο ουσιαστικά διαφορετικών MAC σχεδίων για μεταφορά ασύγχρονων και χρονικά περιορισμένων υπηρεσιών. Η πρώτη μελέτη η οποία καλείται distributed coordination function (DCF), είναι όμοια με το παραδοσιακό πακέτο δικτύων το οποίο υποστηρίζει την καλύτερη προσπάθεια διανομής των δεδομένων. Το DCF έχει σχεδιαστεί για ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων όπου όλοι οι έχοντες δεδομένα να μεταδώσουν, έχουν ίση ευκαιρία να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο. Το δεύτερο σχέδιο MAC το οποίο καλείται point coordination function (PCF), βασίζεται στο ότι υπάρχει έλεγχος από ένα σημείο πρόσβασης (access point AP). Το PCF αρχικά σχεδιάστηκε για την μεταφορά της κίνησης που εξαρτάται από την καθυστέρηση.

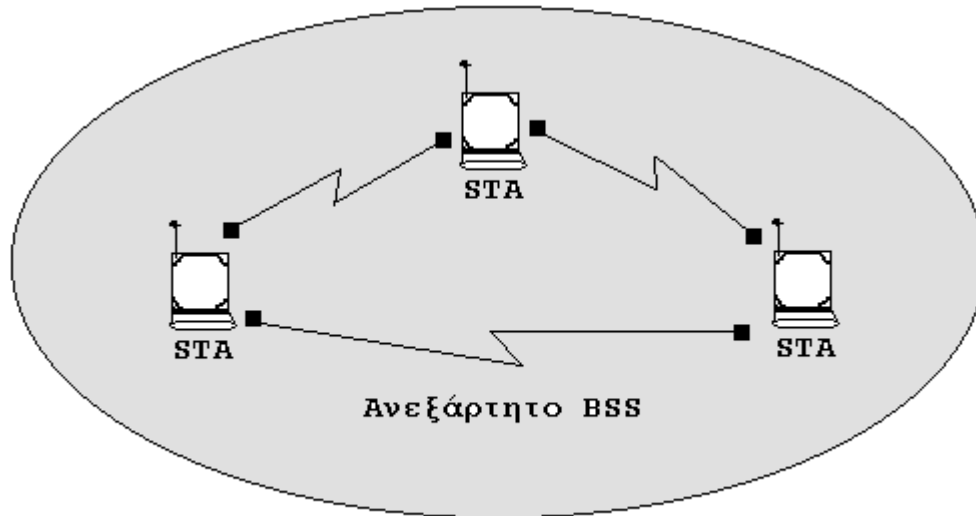
### **3.1. Περιγραφή του μοντέλου IEEE 802.11**

#### **3.1.1 Αρχιτεκτονική**

Το βασικό σύνολο υπηρεσιών (Basic Service Set BSS), είναι το κύριο στοιχείο της αρχιτεκτονικής του 802.11. Το BSS ορίζεται σαν μια ομάδα σταθμών οι οποίοι είναι υπό τον άμεσο έλεγχο μιας απλής coordination συνάρτησης (π.χ μιας DCF ή PCF), όπως ορίστηκαν παραπάνω. Η γεωγραφική περιοχή η οποία καλύπτεται από BSS είναι γνωστή ως βασική περιοχή υπηρεσίας (BSA), η οποία είναι ανάλογη με την κυψέλη σ' ένα κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας. Επομένως, όλοι οι σταθμοί σ' ένα BSS, επικοινωνούν απ' ευθείας με όλους τους άλλους σταθμούς. Εντούτοις οι υποβάθμιση του μέσου μετάδοσης εξαιτίας του multipath fading ή των παρεμβάσεων από τα γειτονικά BBS μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα κάποιοι σταθμοί να φαίνονται 'κρυμμένοι' σε κάποιους άλλους.

Ένα ad hoc δίκτυο, είναι ένα σύνολο σταθμών σ' ένα απλό BSS για τους σκοπούς της διαδικτυακής επικοινωνίας, δίχως τη βοήθεια ενός δικτύου υποδομής.

Το σχήμα 1, δείχνει ένα ανεξάρτητο BSS (independent BSS – IBSS), το οποίο είναι το τυπικό όνομα του ad hoc δικτύου στο πρότυπο IEEE 802.11. Κάθε σταθμός δύναται να συγκροτήσει μια απευθείας επικοινωνία με οποιονδήποτε

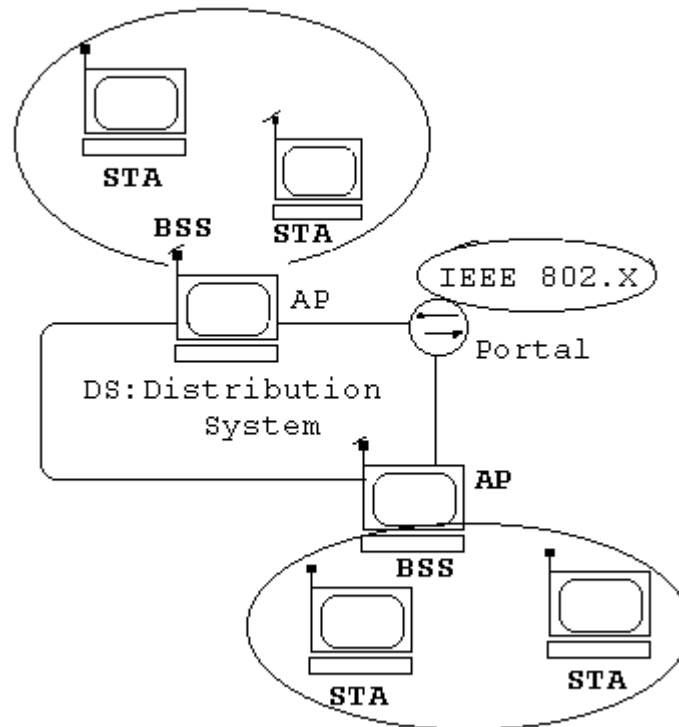


Σχήμα 1. Δίκτυο Ad hoc

άλλον σταθμό στο BSS , δίχως την απαίτηση της καλωδίωσης της κίνησης μέσω ενός κεντρικού σημείου πρόσβασης.

Σε αντίθεση με το ad hoc δίκτυο, τα δίκτυα υποδομής (infrastructure networks), είναι υπεύθυνα να παρέχουν ασύρματους χρήστες με ειδικές υπηρεσίες. Τα δίκτυα αυτά , στο IEEE 802.11, είναι εγκατεστημένα χρησιμοποιώντας σημεία πρόσβασης (APs). Το σημείο πρόσβασης είναι ανάλογο του βασικού σταθμού σ' ένα κυψελοειδές δίκτυο επικοινωνίας. Υποστηρίζει τη σειρά επέκτασης, παρέχοντας την ανάγκη ενσωμάτωσης των σημείων για την δικτυακή σύνδεση πολλών BSS , τα οποία σχηματίζουν ένα εκτεταμένο σύνολο υπηρεσίας (Extended Service Set - ESS). Το ESS έχει τη μορφή ενός μεγάλου BSS. Αποτελείται από πολλά BSS, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα κοινό καταναμημένο σύστημα (DS). Το DS μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα δίκτυο ραχοκοκαλιά το οποίο είναι υπεύθυνο της MAC υπηρεσίας μονάδων δεδομένων του επιπέδου μεταφοράς MAC (MSDUs). Το DS όπως ορίζεται από το IEEE 802.11 είναι ανεξάρτητη εφαρμογή. Έτσι το DS

μπορεί να είναι ένα συρματωμένο IEEE 802.3 Ethernet LAN, IEEE 802.4 Token bus LAN, IEEE 802.5 Token ring LAN, FDDI μητροπολιτικό δίκτυο (MAN), ή άλλο IEEE 802.11 ασύρματο μέσο. Ας σημειωθεί ότι ενώ από φυσικής άποψης το DS είναι ίδιο μέσο μετάδοσης με το BSS, είναι διαφορετικά από άποψη λογικής, γιατί το DS χρησιμοποιείται αποκλειστικά σαν ραχοκοκαλιά μεταφοράς για μετάδοση πακέτων μεταξύ διαφορετικών BSSs σ' ένα ESS. Ένα ESS παρέχει επίσης πρόσβαση γεφυρών από ασύρματους χρήστες σ' ένα συρματώδη δίκτυο όπως το Internet. Αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός οδηγού γνωστού ως 'πυλώνα' (portal). Ο πυλώνας είναι μια λογική οντότητα η οποία ορίζει το σημείο ένωσης σ' ένα DS, όπου το IEEE 802.11 ενοποιείται μ' ένα όχι IEEE 802.11 δίκτυο. Αν το δίκτυο είναι ένα IEEE 802.X ο πυλώνας συνενώνει τις συναρτήσεις οι οποίες είναι ανάλογες σε μια γέφυρα. Μ' αυτόν τον τρόπο, παρέχει σειρά επέκτασης και την ερμηνεία μεταξύ πλαισίων διαφορετικών μορφών. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται ένα απλό ESS, ανεπτυγμένο με δύο BSS ένα DS και έναν πυλώνα για πρόσβαση στο συρματωμένο LAN.



Σχήμα 2. Δίκτυο Υποδομής

### 3.1.2 Φυσικό Επίπεδο

Τα χαρακτηριστικά του IEEE 802.11, χρησιμοποιούνται για τρία διαφορετικά επίπεδα εφαρμογών: frequency hopping spread spectrum (FHSS), direct sequence spread spectrum (DSSS) και IR. Το FHSS χρησιμοποιεί 2.4 GHz βιομηχανικό, επιστημονικό και ιατρικό (ISM) πεδίο συχνότητας.

Ο λόγος για την ύπαρξη τριών διαφορετικών ομάδων, είναι να αποφευχθούν παρατεταμένοι περίοδοι σύγκρουσης μεταξύ διαφορετικών hopping ακολουθιών σε ένα σύνολο (set). Ο ελάχιστος επιτρεπόμενος ρυθμός είναι 2.5 hops/s. Το DSSS χρησιμοποιεί 2.4 GHz ISM πεδίο συχνοτήτων, όπου ο βασικός ρυθμός 1 Mb/s είναι κωδικοποιημένος χρησιμοποιώντας διαφορική δυαδική φάση shift keying (DBPSK) και ο επαυξημένος ρυθμός 2 Mb/s χρησιμοποιεί διαφορική

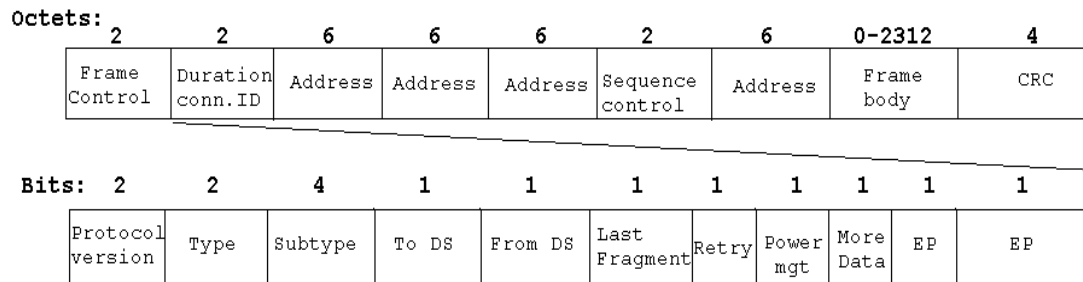
τετραγωνική φάση shift keying (DQPSK). Η επέκταση γίνεται διαμοιράζοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε υποκανάλια καθένα από τα οποία είναι 11MHz και χρησιμοποιεί μια ακολουθία 11chip για την απεικόνιση κάθε συμβόλου. Η μέγιστη χωρητικότητα του καναλιού είναι 1Mb/s αν χρησιμοποιείται η μέθοδος DBPSK.

Το IR κυμαίνεται μεταξύ 850 και 950 nm. Το πεδίο συχνοτήτων IR σχεδιάστηκε για εσωτερική μόνο χρήση και λειτουργεί για μη κατευθυνόμενες μεταδόσεις.

### 3.1.3 Υποεπίπεδο Ελέγχου Μέσου Πρόσβασης (MAC)

Το υποεπίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για τις διαδικασίες διάθεσης του καναλιού, για το πρωτόκολλο διευθυνσιοδότησης μονάδας δεδομένων, Για τη μορφοποίηση των πλαισίων, για έλεγχο λαθών, για την κατάτμηση και την ανασυναρμολόγηση. Το μέσο μετάδοσης μπορεί να λειτουργήσει σαν contention mode αποκλειστικά, απαιτώντας από τους σταθμούς να διεκδικούν πρόσβαση στο κανάλι για κάθε πακέτο μετάδοσης. Το μέσο μπορεί να εναλλαχθεί μεταξύ του contention mode, γνωστό ως contention period (CP) και contention free period (CFP). Κατά τη διάρκεια του CFP, η χρήση του μέσου ελέγχεται από ένα AP, ως εκ τούτου περιορίζεται η ανάγκη των σταθμών να διεκδικήσουν κανάλι πρόσβασης. Το IEEE 802.11 υποστηρίζει τρεις (3) διαφορετικούς τύπους πλαισίων : διαχείρισης , ελέγχου και δεδομένων. Τα πλαίσια διαχείρισης, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και την αποσύνδεση των σταθμών με το AP, για το χρονοισμό και τον συγχροισμό, την αυθεντικοποίηση και την απευθυντικοποίηση. Τα πλαίσια ελέγχου χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή σημάτων επικοινωνίας κατά τη διάρκεια της CP, για θετική γνωστοποίηση κατά τη διάρκεια της CP και για τερματισμό της CFP. Τα πλαίσια δεδομένων χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων κατά τη διάρκεια CP και CFP και μπορούν να συνδεθούν με rolling και γνωστοποιήσεις κατά τη διάρκεια της CFP. Η μορφή του πλαισίου του standard IEEE 802.11, φαίνεται στο σχήμα 3. Ας σημειωθεί ότι το σώμα του πλαισίου (MSDU), είναι ένα πεδίο μεταβλητού

μεγέθους, αποτελούμενο από φορτίο δεδομένων και 7-octets για κρυπτογράφηση – αποκρυπτογράφηση, εάν έχει εφαρμοστεί το προαιρετικό πρωτόκολλο Wired Equivelant Privacy (WEP). Το 42-bit MAC πρότυπο διευθυνσιοδότησης IEEE χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει ένα σταθμό. Οι διπλής διάρκειας octets υποδεικνύουν τον χρόνο (σε msec), τον οποίο διατίθεται το κανάλι για επιτυχής μετάδοση του MAC protocol data unit (MPDU). Τα bits τύπου χαρακτηρίζουν το πλαίσιο σαν ελέγχου, διαχείρισης ή δεδομένων. Ο κυκλικός πλεονασμός ελέγχου (CPC) (cyclic redundancy check), μεγέθους 32-bit χρησιμοποιείται για εντοπισμό λαθών.



Σχήμα 3. Μορφή Πλαισίου του Πρωτύπου IEEE 802.11

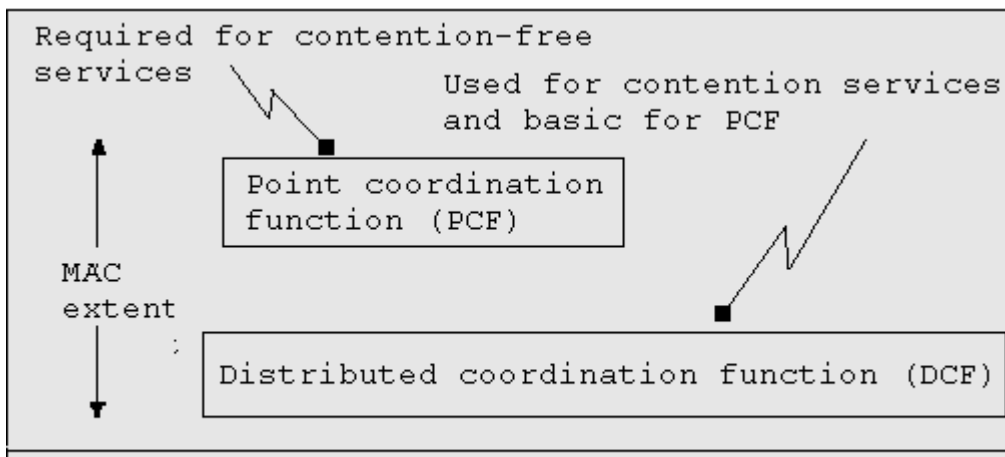
### 3.1.4 Distributed Coordination Function

Το DCF είναι η κύρια μέθοδος πρόσβασης, η οποία χρησιμοποιείται για να υποστηρίζει ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων. Κάθε σταθμός πρέπει να υποστηρίζει το DCF. Ισχύει αποκλειστικά σε δίκτυο ad-hoc και σε δίκτυο infrastucture, είτε ισχύει αποκλειστικά, είτε συνυπάρχει με το PCF. Η αρχιτεκτονική MAC απεικονίζεται στο σχήμα 4, όπου φαίνεται ότι το DFC, βρίσκεται στην κορυφή του φυσικού επιπέδου και υποστηρίζει τις υπηρεσίες διεκδίκησης (contention services). Οι υπηρεσίες διεκδίκησης, υποδηλώνουν ότι κάθε σταθμός, ο οποίος έχει ουρά MSDU για μετάδοση, πρέπει να διεκδικεί πρόσβαση από το κανάλι και εφόσον το MSDU μεταδοθεί, πρέπει να ξαναδιεκδικεί



πρόσβαση στο κανάλι για όλα τα ακόλουθα πλαίσια. Οι υπηρεσίες αυτές προωθούν δίκαιη πρόσβαση για κάθε σταθμό.

Το DCF βασίζεται στην ανίχνευση φέροντος πολλαπλής πρόσβασης με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA). CSMA/CD (η ανίχνευση συγκρούσεων), δεν χρησιμοποιείται γιατί ένας σταθμός, ενώ μεταδίδει, είναι αδύνατο να ακούσει για συγκρούσεις. Στο IEEE 802.11 ανίχνευση φέροντος ισχύει και στην ατμοσφαιρική διεπαφή (air interface), το οποίο καλείται φυσική ανίχνευση φέροντος (physical carrier sensing), και στο υποεπίπεδο MAC, το οποίο αναφέρεται ως εικονική ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sensing). Η φυσική ανίχνευση φέροντος, ανιχνεύει την παρουσία άλλων IEEE 802.11 WLAN χρηστών και επίσης ανιχνεύει δραστηριότητες στο κανάλι μέσω σχετικών σιγιάλων από άλλες πηγές.

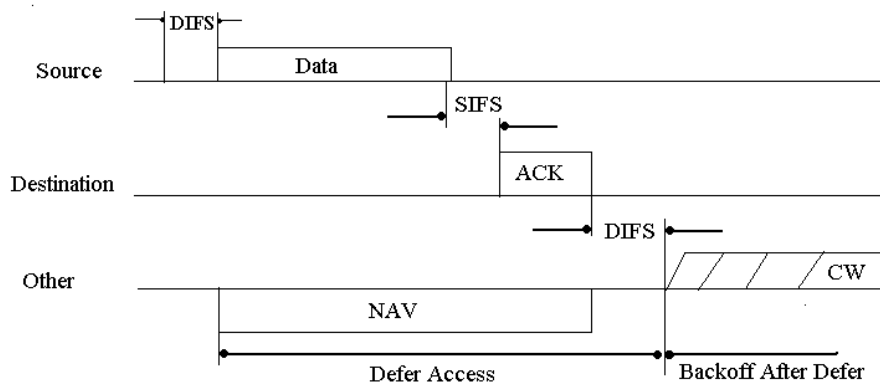


Σχήμα 4. Αρχιτεκτονική MAC

Η πηγή εκτελεί εικονική ανίχνευση, στέλνοντας πληροφορία διάρκειας MSDU στην επικεφαλίδα της απαίτησης για αποστολή (RTS), ελεύθερο για αποστολή(CTS), και πλαίσια δεδομένων. Ένα MPDU είναι μια ολοκληρωμένη μονάδα δεδομένων, η οποία περνάει από το MAC υποεπίπεδο στο φυσικό επίπεδο. Το MPDU περιέχει πληροφορίες επικεφαλίδας, φορτίου, και έναν 32-bit CRC. Το πεδίο διάρκειας υποδεικνύει το χρόνο (σε msec) μετά το τέλος του παρόντος πλαισίου, που θα χρησιμοποιηθεί το κανάλι για να ολοκληρώσει την

επιτυχής μετάδοση του πλαισίου δεδομένων ή διαχείρισης. Οι σταθμοί στο BSS χρησιμοποιούν τις πληροφορίες του χρονικού πεδίου, για να ισοσκελίσουν τον παράγοντα κατανομής δικτύου( Network Allocation Vector), ο οποίος υποδεικνύει την χρονική διάρκεια που πρέπει να περάσει μέχρι το τρέχον μεταδιδόμενο θέμα να ολοκληρωθεί και το κανάλι να μπορεί να επιχειρήσει πάλι για ανενεργό επίπεδο. Το κανάλι χαρακτηρίζεται απασχολημένο αν αυτό υποδεικνύει η φυσική είτε η εικονική ανίχνευση φέροντος.

Η προτεραιότητα πρόσβασης στα ασύρματα μέσα, ελέγχεται μέσω της χρήσης του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης δύο διαδοχικών πλαισίων (interframe space time IFS intervals). Τα IFS διαστήματα είναι υποχρεωτικές ανενεργές περιόδους στο μέσο μετάδοσης. Τρία είδη IFS διαστημάτων ορίζονται στο standard: short IFS(SIFS), point coordination function IFS (PIFS) και DCF-IFS (DIFS). Το SIFS είναι το συντομότερο IFS. Ακολουθεί το PIFS και τέλος το DIFS. Οι σταθμοί που απαιτείται να περιμένουν SIFS διάστημα πριν μεταδώσουν έχουν προτεραιότητα πρόσβασης έναντι αυτών που απαιτείται να περιμένουν PIFS και DIFS διάστημα. Έτσι μεγαλύτερη προτεραιότητα πρόσβασης στο μέσο έχουν τα SIFS. Σύμφωνα με τη βασική μέθοδο πρόσβασης, όταν ένας σταθμός καταλαβαίνει ότι το κανάλι είναι ανενεργό, περιμένει για μια περίοδο DIFS και δοκιμάζει το κανάλι ξανά. Αν είναι ακόμα ανενεργό, ο σταθμός μεταδίδει ένα MPDU. Ο αποδέκτης υπολογίζει το

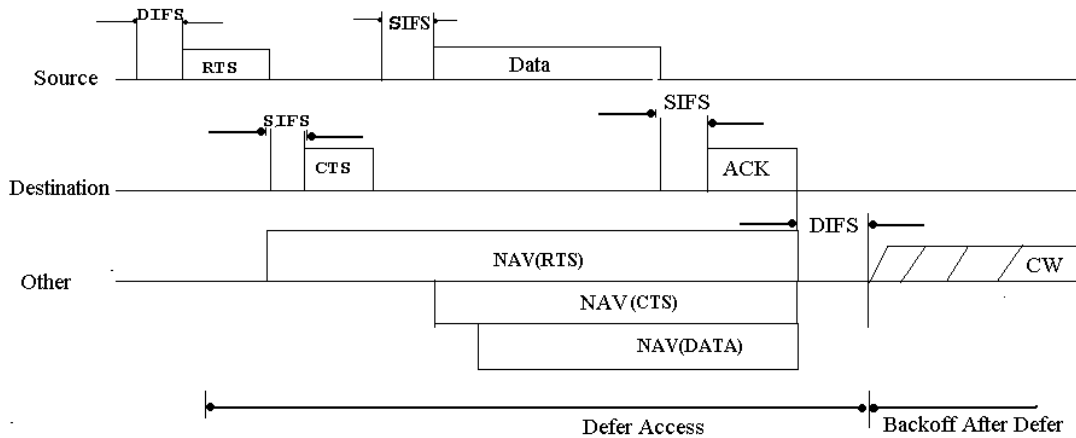


Σχήμα 5. Μετάδοση ενός MPDU δίχως RTS/CTS

checksum και καθορίζει αν το πακέτο έχει ληφθεί σωστά. Αν το πακέτο είναι σωστό, ο αποδέκτης περιμένει διάστημα SIFS και μεταδίδει προς τον πομπό θετική γνωστοποίηση πλαισίου (ACK), η οποία υποδεικνύει ότι η μετάδοση ήταν επιτυχής. Το σχήμα 5 είναι ένα χρονοδιάγραμμα, το οποίο παρουσιάζει την επιτυχής μετάδοση ενός πλαισίου δεδομένων. Όταν ένα πλαίσιο δεδομένων μεταδίδεται, το πεδίο διάρκειας του πλαισίου, χρησιμοποιείται για να γνωστοποιήσει στους σταθμούς του BSS το χρονικό διάστημα που το μέσο θα είναι απασχολημένο. Οι σταθμοί ακούγοντας το πλαίσιο δεδομένων ρυθμίζουν το NAV, βασιζόμενοι στην τιμή του πεδίου διάρκειας, η οποία εμπεριέχει το διάστημα SIFS και την ACK η οποία έπεται του πλαισίου.

Από τη στιγμή που η πηγή, σε ένα BSS, δεν μπορεί να ακούσει την μετάδοσή της, όταν συμβεί μια σύγκρουση, εκείνη συνεχίζει να μεταδίδει το υπόλοιπο MPDU. Αν είναι μεγάλο (π.χ 2300 octets) αρκετό εύρος ζώνης σπαταλιέται εξαιτίας λανθασμένου MPDU. RTS και CTS πλαίσια ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το σταθμό για να δεσμευθεί εύρος ζώνης πριν τη μετάδοση του MPDU και να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος του εύρους ζώνης που χάνεται όταν συμβούν συγκρούσεις. Η πηγή μετά από επιτυχής διεκδίκηση του καναλιού, μεταδίδει το RTS πλαίσιο ελέγχου, ακολουθούμενο από ένα πλαίσιο δεδομένων ή διαχείρισης για μετάδοση σε συγκεκριμένο σταθμό. Όλοι οι σταθμοί στο BSS ακούν το RTS πακέτο, διαβάζουν το πεδίο διάρκειας (σχήμα 3) και καθορίζουν το NAV τους αντιστοίχως. Ο σταθμός προορισμού απαντά στο πακέτο RTS με CTS πακέτο αφού περάσει μια ανενεργή περίοδος SIFS. Οι σταθμοί ακούγοντας το CTS πακέτο, κοιτούν το πεδίο διάρκειας και ανανεώνουν το NAV. Μετά από μια επιτυχής αποδοχή του CTS, η πηγή είναι σχεδόν σίγουρη ότι το μέσο είναι δεσμευμένο για επιτυχής μετάδοση του MPDU. Ας σημειωθεί ότι οι σταθμοί είναι ικανοί να ανανεώνουν το NAV, βασισμένοι στο RTS της πηγής και στο CTS του προορισμού, το οποίο βοηθά στην αντιμετώπιση του προβλήματος του «χαμένου τερματικού». Το σχήμα 6 δείχνει την μετάδοση ενός MPDU χρησιμοποιώντας τους μηχανισμούς, RTS/CTS. Οι σταθμοί μπορούν να μην χρησιμοποιούν ποτέ RTS/CTS, να χρησιμοποιούν όποτε τα MPDU ξεπερνούν την

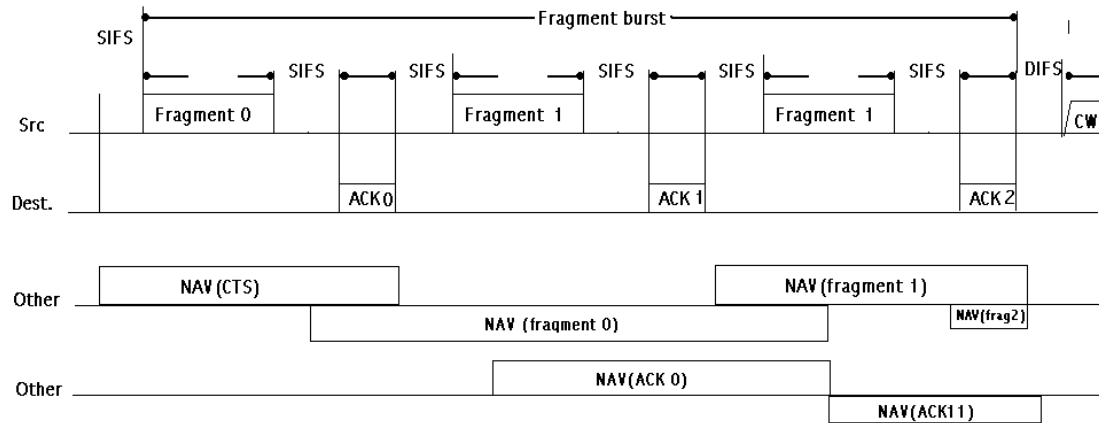
τιμή της RTS-Threshold(παράμετρος διαχείρισης), ή να χρησιμοποιούν πάντα. Αν γίνει μια σύγκρουση μ' ένα RTS ή CTS MPDU χάνεται πολύ λιγότερο εύρος σε σύγκριση με εκείνο που χάνεται αν η σύγκρουση γίνει μ' ένα μεγάλο πακέτο δεδομένων MPDU.



Σχήμα 6. Μετάδοση ενός MPDU χρησιμοποιώντας RTS/CTS

Για να αυξηθεί η αξιοπιστία μετάδοσης, μεγάλα MPDU που περνούν από το LLC στο MAC, πιθανόν να 'σπάσουν' σε μικρότερα κομμάτια (fragmentation). Το αν θα εφαρμοστεί σπάσιμο, το καθορίζει το αποτέλεσμα της σύγκρισης της παραμέτρου Fragmentation-Threshold με το MPDU. Αν το μέγεθος του MPDU ξεπερνά την τιμή της παραμέτρου, τότε το MPDU σπάει σε πολλά πλαίσια. Τα προκύπτοντα MPDUs έχουν το μέγεθος που δηλώνει η παράμετρος, με εξαίρεση το τελευταίο το οποίο είναι μεταβλητού μεγέθους, που δεν υπερβαίνει το Fragmentation-Threshold. Όταν ένα MPDU κομματιάζεται τα μέρη του μεταδίδονται με τη σειρά (σχήμα 7). Το κανάλι δεν απελευθερώνεται, έως ότου να μεταδοθεί επιτυχώς το πλήρες MPDU, ή η πηγή να μην λάβει γνωστοποίηση για ένα μεταδιδόμενο κομμάτι. Ο αποδέκτης γνωστοποιεί την επιτυχής λήψη ενός κομματιού, στέλνοντας στην πηγή DCF ACK. Εκείνη συνεχίζει τον έλεγχο του καναλιού κατά τη διάρκεια της μετάδοσης του MPDU,

περιμένοντας μόνο για χρονική περίοδο SIFS αφού λάβει την γνωστοποίηση (ACK) και μεταδίδει το επόμενο κομμάτι. Όταν ACK δεν ληφθεί για το προηγούμενο μεταδιδόμενο κομμάτι, η πηγή κρατά τη μετάδοση και ανταγωνίζεται για πρόσβαση στο κανάλι. Αν την αποκτήσει, αρχίζει την μετάδοση του τελευταίου πακέτου για το οποίο δεν έχει ληφθεί μήνυμα γνωστοποίησης.



Σχήμα 7. Μετάδοση 'σπασμένου' MPDU

Αν χρησιμοποιούνται RTS και CTS, μόνο το πρώτο κομμάτι στέλνεται χρησιμοποιώντας το μηχανισμό handshaking. Η χρονική τιμή του RTS και CTS μετρά μόνο για την μετάδοση του πρώτου κομματιού, κατά τη λήψη των γνωστοποιήσεών τους.

Η αποφυγή συγκρούσεων στο CSMA\CA εφαρμόζεται μέσω μιας τυχαίας backoff συνάρτησης. Αν ένας σταθμός που έχει να μεταδώσει, καταλαβαίνει ότι το κανάλι είναι απασχολημένο, περιμένει μέχρι εκείνο να είναι ελεύθερο για διάρκεια DIFS και τότε υπολογίζει έναν τυχαίο backoff χρόνο. Για το IEEE 802.11 ο χρόνος χωρίζεται σε περιόδους που καλούνται 'χρόνος σχισμής' (slot-time). Αντίθετα με το Aloha Με Σχισμές, όπου ο χρόνος σχισμής, είναι ίσος με το χρόνο μετάδοσης του πακέτου, ο χρόνος σχισμής που χρησιμοποιείται στο IEEE 802.11, είναι πολύ μικρότερος από ένα MPDU και χρησιμοποιείται να ορίσει τα διαστήματα IFS και να καθορίσει το backoff χρόνο των σταθμών στο CP. Το slot-time είναι διαφορετικό για κάθε εφαρμογή του φυσικού επιπέδου.

Ο τυχαίος backoff χρόνος είναι μια ακέραια τιμή μεταξύ 0-7. Αφού το μέσο είναι ελεύθερο μετά από χρονική περίοδο DIFS, οι σταθμοί μειώνουν το backoff χρόνο τους, μέχρι το μέσο να απασχοληθεί πάλι ή μέχρι ο μετρητής πλησιάζει το μηδέν. Αν ο χρονομετρητής πλησιάζει το μηδέν και το μέσο είναι απασχολημένο ο σταθμός τον 'παγώνει'. Όταν τελικά ο μετρητής μειωθεί στο μηδέν, ο σταθμός μεταδίδει το πλαίσιο. Αν δύο ή περισσότεροι σταθμοί μειωθούν στο μηδέν την ίδια χρονική στιγμή, θα επέλθει σύγκρουση και κάθε σταθμός θα πρέπει να δημιουργήσει ένα νέο backoff χρόνο μεταξύ 0-15. Για κάθε προσπάθεια αναμετάδοσης, ο backoff χρόνος αυξάνεται κατά

$$\lfloor 2^{2+i} \text{ranf}() \rfloor.$$

$i$  είναι ο αριθμός των διαδοχικών φορών που ο σταθμός προσπαθεί να στείλει ένα MPDU,  $\text{ranf}()$  συνάρτηση με τιμές στο διάστημα (0,1) και το  $\lfloor x \rfloor$  αναπαριστά τον μεγαλύτερο ακέραιο που είναι μικρότερος ή ίσος του  $x$ . η ανενεργή περίοδος μετά το διάστημα DIFS αναφέρεται ως contention window (CW). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου πρόσβασης είναι ότι ενισχύει την δικαιοσύνη μεταξύ των σταθμών, μα η αδυναμία του είναι ότι πιθανόν δεν υποστηρίζει DTBS. Η δίκαιη μεταχείριση, υποστηρίζεται γιατί κάθε σταθμός πρέπει να διεκδικεί το κανάλι μετά από κάθε μετάδοση ενός MSDU. Όλοι οι σταθμοί, μετά από κάθε DIFS μεσοδιάστημα, έχουν ίση πιθανότητα να αποκτήσουν πρόσβαση στο κανάλι. Οι υπηρεσίες που εξαρτώνται από το χρόνο, τυπικά υποστηρίζουν εφαρμογές – όπως πακετοποίηση φωνής και βίντεο- στις οποίες πρέπει να καθορίζεται μια ελάχιστη καθυστέρηση.

Με DFC, δεν υπάρχει τεχνική να εγγυηθεί ελάχιστη καθυστέρηση στους σταθμούς που υποστηρίζουν τις χρονικά εξαρτημένες υπηρεσίες.

### 3.1.5 Point coordination function

Το PFC είναι μια προαιρετική δυνατότητα η οποία είναι connection-oriented και παρέχει μετάδοση πλαισίου δίχως ανταγωνισμό για πρόσβαση στο κανάλι. Η συνάρτηση του PFC εφαρμόζεται από το AP για κάθε BSS. Οι σταθμοί στα BSS, οι οποίοι είναι ικανοί να λειτουργήσουν σε διάστημα CP (CFP) , είναι γνωστοί σαν CP- aware.

Το PFC απαιτείται να συνδεθεί με το DCF και λογικά βρίσκεται στην κορυφή του(σχήμα 4). Το διάστημα επανάληψης CFP (CFP-rate), χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη συχνότητα με την οποία το PCF εμφανίζεται.

Το μεσοδιάστημα επανάληψης CFP αρχικοποιείται με ένα πλαίσιο φανάρι, όπου αυτό μεταδίδεται από το AP. Μία από τις πρωταρχικές του συναρτήσεις είναι ο συγχρονισμός και ο χρονισμός. Από τη στιγμή που το CFP\_Rate εδραιώνεται, η διάρκεια του CFP είναι καθορισμένη. Το μέγιστο μέγεθος του CFP καθορίζεται από την παράμετρο CFP\_Max\_Duration. Η μικρότερη τιμή της CFP\_Max\_Duration είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση δύο MPDUs μέγιστου μεγέθους,, περιέχοντας overhead, το αρχικό πλαίσιο φανάρι και ένα πλαίσιο CF\_end( CF\_τέλος). Η μέγιστη τιμή της CFP\_Max\_Duration είναι το μεσοδιάστημα επανάληψης CFP μείον το χρόνο που απαιτείται για την επιτυχής μετάδοση ενός MPDU μέγιστου μεγέθους κατά τη διάρκεια της CP. Επομένως , ο χρόνος πρέπει να κατανεμηθεί έτσι ώστε να μεταδίδεται το λιγότερο ένα MPDU κατά τη διάρκεια της CP. Από το AP εξαρτάται να καθορίσει για πόσο χρόνο θα λειτουργήσει σε CFP κατά τη διάρκεια κάθε δοσμένου μεσοδιαστήματος επανάληψης. Αν η κίνηση είναι πολύ μικρή, το AP μπορεί να μειώσει το CFP και να δώσει το υπόλοιπο του μεσοδιαστήματος επανάληψης για το DCF. Η μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να προκληθεί είναι ο χρόνος που χρειάζεται να μεταδοθεί ένα RTS/CTS χαιρετισμός, το μέγιστο MPDU και ACK.

Στο ξεκίνημα κάθε μεσοδιαστήματος επανάληψης CFP, όλοι οι σταθμοί στο BSS, ανανεώνουν το NAV τους στο μέγιστο μήκος του CFP. Στην αρχή του CFP το PC αισθάνεται το μέσο. Αν αυτό παραμείνει ανενεργό για μεσοδιάστημα

PIFS, το PC για να αρχικοποιήσει το CFP, μεταδίδει ένα πλαίσιο φάρο. Το PC ξεκινά τη μετάδοση CF μετά από μεσοδιάστημα SIFS αφού στάλθηκε ένα CF\_roll (δίχως δεδομένα). Το PC μπορεί να τερματίσει αμέσως το CFP μεταδίδοντας ένα CF\_End πλαίσιο. Αν το PC μεταδώσει ένα CF\_roll (δίχως δεδομένα) πλαίσιο και ο σταθμός προορισμού δεν έχει να μεταδώσει πλαίσιο δεδομένων, ο σταθμός στέλνει ένα πλαίσιο Null Function (δίχως δεδομένα), πίσω στο PC. Αν ένα PC δεν λάβει γνωστοποίηση ACK για ένα μεταδιδόμενο πλαίσιο, περιμένει για μεσοδιάστημα PIFS, και συνεχίζει να μεταδίδει στον επόμενο σταθμό.

Αφού λάβει το ψήφισμα από το PC όπως περιγράφηκε παραπάνω, ο σταθμός δύναται να επιλέξει να μεταδώσει ένα πλαίσιο σ' άλλον σταθμό του BSS. Όταν ο σταθμός προορισμού λάβει το πλαίσιο, στέλνεται στην πηγή DCF ACK, και το PC περιμένει για μεσοδιάστημα PIFS μετά το πλαίσιο ACK, πριν μεταδώσει άλλα πρόσθετα πλαίσια. Το σχήμα 10 δείχνει μετάδοση πλαισίου από σταθμό σε σταθμό κατά τη διάρκεια του CFP. Το PC, μπορεί να επιλέξει να μεταδώσει ένα πλαίσιο σ' έναν σταθμό no-CF-aware. Αν υπάρξει επιτυχής λήψη του πλαισίου, ο σταθμός θα περιμένει μεσοδιάστημα SIFS και θα απαντήσει στο PC μένα σύνηθες πλαίσιο ACK. Το κομμάτισμα και η σύνθεση παρέχονται με την χρήση της τιμής Fragmentation\_Threshold η οποία ορίζει αν τα MSDUs είναι 'κομματιασμένα', πριν την μετάδοση. Ευθύνη του προορισμού είναι να συνθέσει τα κομμάτια για να προκύψει το γνήσιο MSDU.

### 3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης

Δύο διαφορετικά μοντέλα προσομοίωσης παρουσιάζονται σ' αυτό το άρθρο. Το πρώτο παρουσιάζει ένα ad hoc δίκτυο όπου όλοι οι σταθμοί σε ένα BSS είναι ικανοί να επικοινωνήσουν άμεσα με όλους τους άλλους σταθμούς. Όλοι οι σταθμοί σ' ένα ad hoc δίκτυο θεωρείται ότι είναι χρήστες ασύγχρονων δεδομένων. Το δεύτερο μοντέλο παρουσιάζει ένα δομημένο δίκτυο το οποίο χαρακτηρίζει ένα απλό BSS με ένα AP. Το δομημένο δίκτυο λειτουργεί με χρήστες



ασύγχρονων δεδομένων στα CP και τερματικά πακετοποίησης φωνής που εφαρμόζονται στο CFP. Και τα δύο μοντέλα προσομοίωσης εφαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας παραμέτρους του φυσικού επιπέδου, ορισμένες στο standard για την εφαρμογή DSS.

## Αποτελέσματα Προσομοίωσης

### 3.2.1 Δίκτυο ad hoc

Για το δίκτυο ad hoc, υποθέτουμε ότι όλοι οι κινητοί σταθμοί, δημιουργούν κίνηση ασύγχρονων δεδομένων με την ίδια ένταση. Ας σημειωθεί, ότι οι ρυθμοί έκρηξης λαθών γι' αυτό το μοντέλο δείχνουν ότι περισσότερη ώρα ξοδεύεται σε 'κακή' κατάσταση, απ' ότι σε 'καλή'. Είναι προφανές, ότι η κατάσταση του καναλιού, μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς, την παρουσία του throughput σ' ένα σύστημα IEEE 802.11. Ας σημειωθεί επίσης ότι το throughput κορεννύει γύρω στα 90% πάνω από τις ιδανικές καταστάσεις του καναλιού εξαιτίας της υπερχείλισης, των συγκρούσεων, των IFS και των backoff διαστημάτων.

### 3.2.2 Το αποτέλεσμα του RTS στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων

Ο μηχανισμός χαιρετισμού RTS/CTS, όπως είδαμε χρησιμοποιείται για να αντικρούει τα αποτελέσματα των συγκρούσεων. Το RTS/CTS κρατά το κανάλι για μετάδοση ενός μεγαλύτερου πακέτου, με το επιθυμητό αποτέλεσμα πως αν συμβεί μια σύγκρουση με το RTS/CTS, θα χαθεί λιγότερο εύρος ζώνης από εκείνο που θα χάνονταν αν μεταδίδονταν και διακόπτονταν ένα μεγαλύτερο πακέτο δεδομένων. Η `RTS_threshold` είναι μια παράμετρος, η οποία

χρησιμοποιείται να ορίσει πότε να προηγηθεί ένα πακέτο δεδομένων με το χαιρετισμό RTS/CTS. Το μέγιστο throughput δεδομένων, ορίζεται ως η μέγιστη τιμή του throughput που λαμβάνεται πέρα από όλα τα προσφερόμενα φορτία όταν η RTS\_threshold κρατείται σταθερά σε μια συγκεκριμένη τιμή.

Πέρα από όλες τις τιμές των MSDU η κορυφή (peak) του throughput λαμβάνει χώρα όταν το RTS\_threshold είναι περίπου 250 octets. Οι μέγιστες τιμές throughput, αρχίζουν να μειώνονται σημαντικά όταν το RTS\_threshold αρχίζει να υπερβαίνει τις 400 octets, υποδεικνύοντας ότι οι συγκρούσεις έχουν αντίθετη επίπτωση στο throughput του συστήματος. Έχουμε επίσης διαφοροποιήσει τον αριθμό των σταθμών δεδομένων και παρατηρούνται τα ίδια αποτελέσματα.

### **3.2.3 Αποτέλεσμα του Fragmentation Threshold στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων**

Το Fragmentation Threshold χρησιμοποιείται να αντικρούσει τα αποτελέσματα της φτωχής ποιότητας καναλιού. Μειώνοντας το μέγεθος των μεταδιδόμενων πακέτων, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα για επιτυχής μετάδοση ειδικά κάτω από συνθήκες φτωχού καναλιού.

Αφ' ότου ένα τυπικό WLAN τερματικό, δοκιμάσει όλο το φάσμα των δυνατοτήτων του καναλιού, το βέλτιστο Fragmentation\_Threshold πρέπει να τεθεί μεταξύ 500 και 800 octets. Αυτή η σειρά των τιμών είναι ιδανική όχι για ένα καθαρό κανάλι ούτε για ένα εξασθενωμένο, αλλά προσφέρει αποδεκτή απόδοση απέναντι σε όλο το φάσμα των ιδιοτήτων του καναλιού.

### **3.2.4 Αποτέλεσμα του μήκους του MSDU στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων**

Τα επίπεδα MAC και PHY προσθέτουν ένα σύνολο των 58 octets για overhead. Έχοντας ένα καθαρό κανάλι, όσο μεγαλύτερο είναι το MSDU, τόσο

αποτελεσματικότερο είναι το σύστημα. Όταν το κανάλι λειτουργεί σε εξαθλιωμένη κατάσταση, παρατηρούμε ότι τα οφέλη ενός MSDU με μεγάλο μήκος, είναι λιγότερο έντονα.

### **Δομημένο δίκτυο**

*Το δομημένο δίκτυο, θεωρείται ότι υποστηρίζει κίνηση φωνής και δεδομένων. Η κίνηση δεδομένων μεταφέρεται μέσω του CFP και η κίνηση φωνής μέσω του CP.*

Κλείνοντας την αναφορά μας στο πρότυπο IEEE 802.11, οφείλουμε να αναφέρουμε συνοπτικά τα εξής :

- Η αποτελεσματικότητα του DCF, είναι υψηλή αν το μέσο μέγεθος του MSDU, είναι μεγαλύτερο από 500 octets, το Fragmentation\_Threshold θέτεται στις 250 octets, και το μέσο είναι σχετικά καθαρό.
- Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, μπορούν να μεταφερθούν από το PCF. Εντούτοις, συστήματα πακετοποιημένης φωνής πρέπει να χρησιμοποιούν ακυρωτή απήχησης από τη στιγμή που η καθυστέρηση από άκρη σε άκρη δεν μπορεί να περιοριστεί κάτω από 25 ms.
- Συμβιβάσιμη επίδοση για την κίνηση δεδομένων και φωνής, επιτελείται όταν το μήκος του φορτίου φωνής είναι περίπου 200 octets.

Όταν ένας σταθμός φωνής δεν έχει δεδομένα να λάβει και μεταδίδει κατά τη διάρκεια του roll, ο σταθμός πρέπει να πέσει αμέσως από τη λίστα, έτσι ώστε το εύρος ζώνης που παραμένει να μπορεί να κατανεμηθεί σε άλλους σταθμούς

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

#### Εισαγωγή

Ένα βασικό σχεδιαστικό πρόβλημα στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι αυτό του ελέγχου συμφόρησης. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με διάφορους τρόπους στα ασύρματα δίκτυα, στα frame Relay, στα ATM και στο διαδίκτυο. Η συμφόρηση είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο και ο έλεγχος της είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία. Με τον όρο συμφόρηση μπορούμε να ορίσουμε γενικά την κατάσταση στην οποία η κίνηση στο διαδίκτυο πλησιάζει στα όρια της δυνατότητας του δικτύου να μεταφέρει τα πακέτα στον προορισμό τους. Σκοπός τότε του ελέγχου συμφόρησης είναι να κρατήσει τον αριθμό των πακέτων στο δίκτυο κάτω από το όριο στο οποίο η απόδοση του δικτύου αρχίζει να είναι κατώτερη των επιθυμητών επιπέδων.

Ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων είναι ένα δίκτυο μεταγωγής από ουρές. Σε κάθε κόμβο του δικτύου (δηλαδή σε κάθε μεταγωγέα ή δρομολογητή) υπάρχει μια ουρά για τα εξερχόμενα πακέτα προς το δίκτυο. Εάν ο ρυθμός με τον οποίο φτάνουν τα πακέτα είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό με τον οποίο μπορεί η συσκευή να στείλει τα πακέτα, η ουρά μεγαλώνει. Η αύξηση αυτή του μεγέθους της ουράς μπορεί να γίνει πολύ γρήγορα και να φτάσει σε ανεπίτρεπτα επίπεδα εάν ο ρυθμός άφιξης πλησιάζει τον ρυθμό μεταφοράς. Στην περίπτωση δε που είναι μεγαλύτερος ( υποθέτοντας ότι έχει δημιουργηθεί μια ουρά άπειρου μεγέθους ) δημιουργούνται στο δίκτυο προβλήματα αστάθειας. Μεγάλες ουρές σημαίνει μεγάλες καθυστερήσεις και συχνά μεγάλους ρυθμούς απόρριψης

πακέτων αν η ουρά έχει ένα πεπερασμένο μήκος – όπως είναι πάντα η κατάσταση σε ένα δίκτυο. Συνήθως προσπαθούμε να κρατάμε την γραμμή φορτωμένη στο 80% και συχνότερα στο 60% της δυνατότητας της.

#### 4.1 Τα αποτελέσματα της συμφόρησης

Σε ένα δίκτυο με συσκευές (μεταγωγείς και δρομολογητές) οι οποίοι έχουν ουρές για τα εισερχόμενα και τα εξερχόμενα πακέτα. Κάθε κόμβος έχει ένα ορισμένο αριθμό θυρών οι οποίες οδηγούν σε άλλους κόμβους ή σε ακραία συστήματα προορισμού. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχουν δυο ενταμιευτές σε κάθε κόμβο –ένας για τα εισερχόμενα πακέτα και ένας για τα εξερχόμενα. Οι ενταμιευτές αυτοί μπορεί να είναι δυο διαφορετικές φυσικές μνήμες ή μόνο ένας χωρισμός μιας μνήμης σε δυο κομμάτια (πιθανά μεταβλητού μεγέθους με σταθερό άθροισμα αυτό της φυσικής μνήμης ) που χρησιμοποιούνται για ξεχωριστούς σκοπούς.

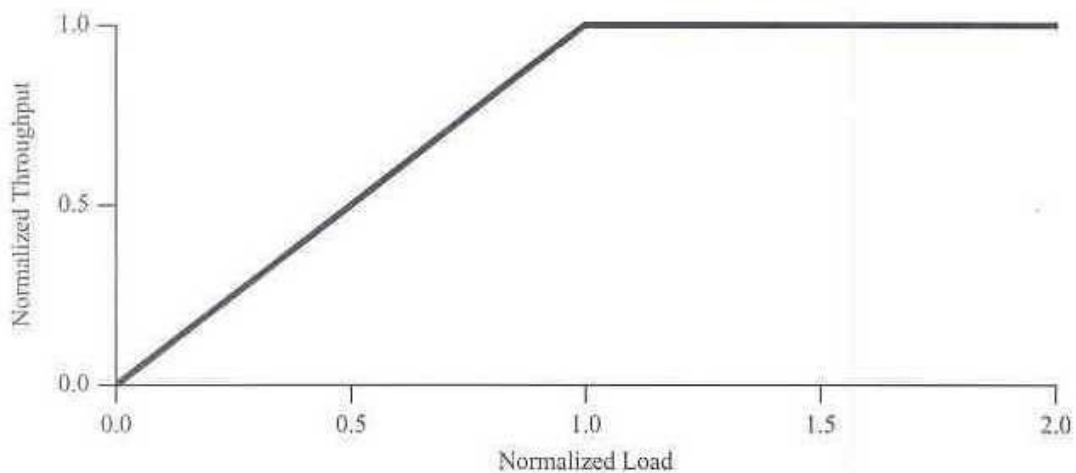
Όταν ένα πακέτο φτάσει σε ένα κόμβο αποθηκεύεται σε έναν ενταμιευτή εισόδου της αντίστοιχης θύρας. Ο κόμβος εξετάσει το εισερχόμενο πακέτο και παίρνει την απόφαση για το που πρέπει να δρομολογηθεί, μεταφέροντας το πακέτο στον αντίστοιχο ενταμιευτή εξόδου. Τα πακέτα μεταφέρονται όσο πιο γρήγορα γίνεται χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές ως προς το τι διαβάζεται και πως γίνεται η επεξεργασία τους για να παρθεί η απόφαση δρομολόγησης. Όταν όμως τα πακέτα φτάνουν με ρυθμούς γρηγορότερους από τον ρυθμό με τον οποίο μπορούν να τα επεξεργαστούν και να τα στείλουν προς τα έξω οι ενταμιευτές εξόδου τότε υπάρχει ο κίνδυνος ανεπαρκούς χώρου και να πρέπει να γίνει μια απόρριψη.

Όταν το δίκτυο βρεθεί σε αυτό το σημείο κορεσμού μπορούν σε γενικές γραμμές να χρησιμοποιηθούν δυο στρατηγικές. Η πρώτη είναι να γίνει απλή απόρριψη του εισερχόμενου πακέτου το οποίο βρίσκει την μνήμη γεμάτη. Σύμφωνα όμως με την δεύτερη τεχνική ο κόμβος που αντιμετωπίζει προβλήματα

μπορεί να χρησιμοποιήσει μια μορφή ελέγχου ροής προς τους γειτονικούς του κόμβους ώστε να μείνει η κίνηση σε επίπεδα που δεν δημιουργούν προβλήματα. Βέβαια έτσι το πρόβλημα μπορεί να επεκταθεί σε όλο το δίκτυο γιατί αν ένας κόμβος περιορίσει την εισερχόμενη κίνηση, τότε ο ενταμιευτής εξόδου του γειτονικού κόμβου αρχίζει να γεμίζει, μεταφέροντας έτσι την συμφόρηση σε μια ολόκληρη περιοχή του δικτύου και ίσως σε ολόκληρο το δίκτυο.

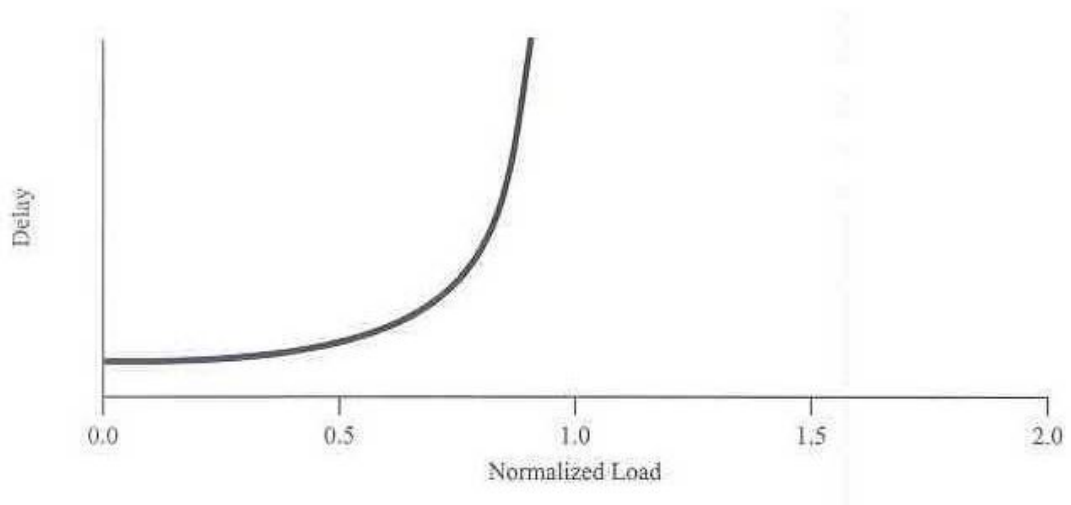
## 4.2 Ιδεατή απόδοση

Σε ένα δίκτυο που όλα λειτουργούν με τον τελειότερο έλεγχο και κάτω από ιδεατές συνθήκες η διαπερατότητα του δικτύου (δηλαδή ο αριθμός των πακέτων που το δίκτυο μεταφέρει στον προορισμό τους ανά μονάδα χρόνου) πρέπει να είναι ίσος με το προσφερόμενο φορτίο μέχρις ότου το δίκτυο να φτάσει την χωρητικότητά του. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται το γράφημα μιας τέτοιας κατάστασης όπου περιγράφεται μια κανονικοποιημένη διαπερατότητα σαν συνάρτηση του κανονικοποιημένου προσφερόμενου φορτίου. Ένα δίκτυο που έχει γραμμές T1 δεν μπορεί να μεταφέρει κίνηση μεγαλύτερη από 1.541 Mbps ανά γραμμή. Αυτό φαίνεται στο σχήμα σαν κανονικοποιημένη διαπερατότητα ίση με 1 (100%).



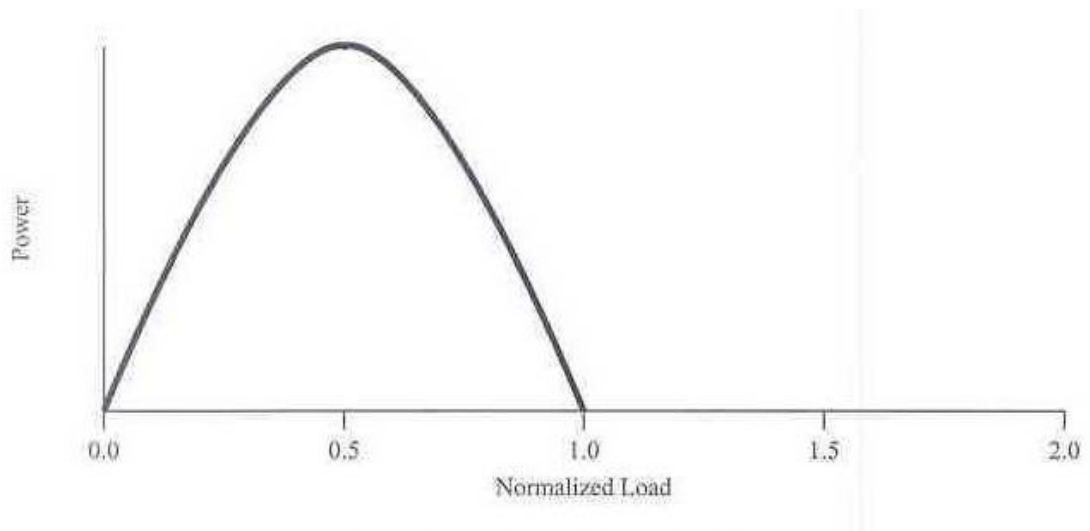
Σχήμα 4.1

Πρέπει όμως παράλληλα με την διαπερατότητα να δούμε και την καθυστέρηση στο δίκτυο. Το σχήμα 4.2 μας δείχνει μια μικρή καθυστέρηση ( λόγω της ανάγκης επεξεργασίας και μεταφοράς των πακέτων μέσα στο δίκτυο ) για χαμηλά φορτία, η οποία παραμένει χαμηλή για ένα μεγάλο εύρος τιμών του προσφερόμενου φορτίου. Από ένα σημείο και μετά όμως βλέπουμε την καθυστέρηση να αρχίζει να αυξάνει εκθετικά. Σε μια περιοχή δε μετά το 0,8 μικρή αύξηση του φορτίου οδηγεί σε τεράστια αύξηση της καθυστέρησης, φτάνοντας σε άπειρη καθυστέρηση αν υποθέσουμε άπειρο μέγεθος ενταμιευτών.



Σχημα 4.2

Εάν θέλουμε να δούμε καλύτερα την σχέση μεταξύ διαπερατότητας και καθυστέρησης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον λόγο διαπερατότητας προς την καθυστέρηση, γνωστό σαν ισχύ του δικτύου. Ο λόγος αυτός φαίνεται στο σχήμα 4.3 . μεγιστοποίηση της ισχύος οδηγεί σε σημεία λειτουργίας που δίνουν βέλτιστα σημεία λειτουργίας. Κάθε σημείο πέρα από το ιδεατό οδηγεί σε καταστάσεις υπο-βέλτιστες.

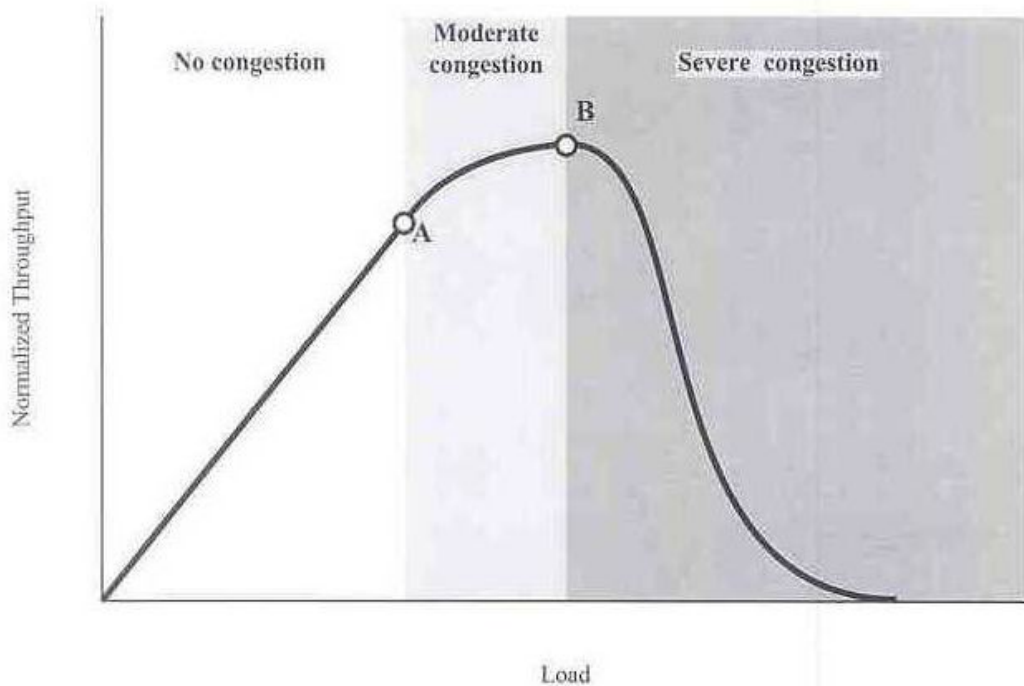


Σχημα 4.3

### 4.3 Πρακτική συμπεριφορά

Η συμπεριφορά που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο υποθέτει άπειρους ενταμιευτές και καθόλου παραπάνω βάρος λόγω ελέγχου συμφόρησης και μετάδοσης των πακέτων. Στην πραγματικότητα οι ενταμιευτές έχουν πεπερασμένο μήκος και τα πακέτα σηματοδοσίας που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο δημιουργούν πρόσθετη κίνηση στο δίκτυο.





Σχημα 4.4

Στο σχήμα 4.4 φαίνεται η κατάσταση που δημιουργείται όταν έχουμε πεπερασμένους ενταμιευτές. Η κατάσταση αυτή διαφέρει από αυτή της ιδεατής κατάστασης. Η συμπεριφορά στα χαμηλά φορτία είναι πολύ κοντά στην ιδεατή. Όσο όμως το φορτίο μεγαλώνει το δίκτυο δεν μπορεί να μεταφέρει τα πακέτα με τον ρυθμό που αυτά παράγονται. Λέμε τότε ότι έχουμε μια μέτρια συμφόρηση (μεταξύ περιοχή A και B). Αυτό μπορεί να γίνει για διάφορους λόγους. Μερικοί κόμβοι μπορεί, π.χ. να είναι πολύ φορτωμένοι ενώ το δίκτυο κατά μέσο όρο να μην είναι βαρυφορτωμένο. Τότε οι κόμβοι αυτοί απορρίπτουν πακέτα ή ζητάνε αλλαγή της δρομολόγησης από το δίκτυο. Στην δεύτερη περίπτωση μεγαλώνει ο αριθμός των βημάτων που ένα πακέτο ακολουθεί μέσα στο δίκτυο με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της κίνησης και την συμφόρηση.

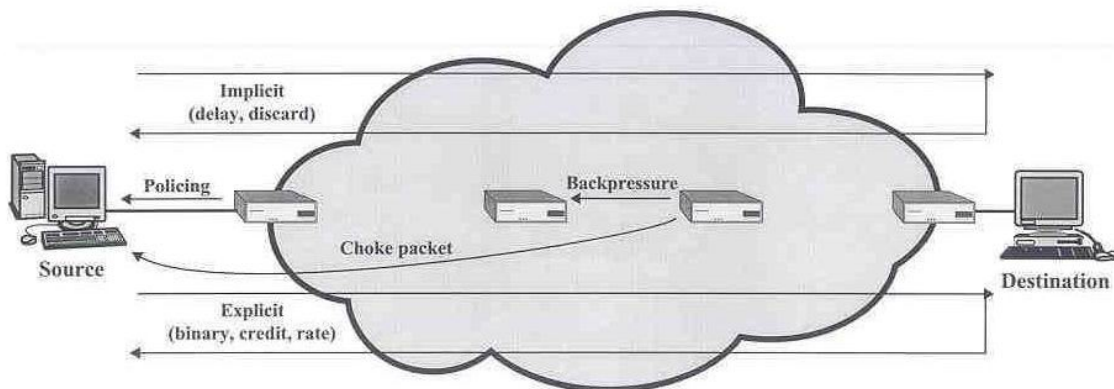
Στο σημείο B έχουμε σοβαρή συμφόρηση καθώς πια η διαπερατότητα γίνεται μικρότερη από το προσφερόμενο φορτίο. Αυτό είναι δυνατό καθώς οι

γεμάτοι ενταμιευτές αναγκάζουν την απόρριψη των πακέτων και μετά την επανεκπομπή τους από τις πηγές. Έτσι στο δίκτυο έχουμε όχι μόνο καινούρια κίνηση αλλά και κίνηση από επανεκπομπή. Όσο το φορτίο μεγαλώνει τόσο το δίκτυο αρχίζει να έχει περισσότερα πακέτα από επανεκπομπή και σε καταστάσεις ακραίες η διαπερατότητα πέφτει στο μηδέν. Το τελευταίο γεγονός είναι συνδυασμός των επανεκπομπών και πιθανών μηνυμάτων ελέγχου τα οποία εμποδίζουν την κίνηση στο δίκτυο καθώς ένας ενταμιευτής περιμένει να αδειάσει ο άλλος κ.ο.κ. . Η κατάσταση αυτή μας είναι γνωστή από μία διασταύρωση με ένα ατύχημα σε ένα συγκοινωνιακό δίκτυο όπου δεν υπάρχει κάποιος τροχονόμος να καθαρίσει την κατάσταση και έτσι δημιουργείται το γνωστό μποτιλιάρισμα.

#### 4.4 Έλεγχος Συμφόρησης

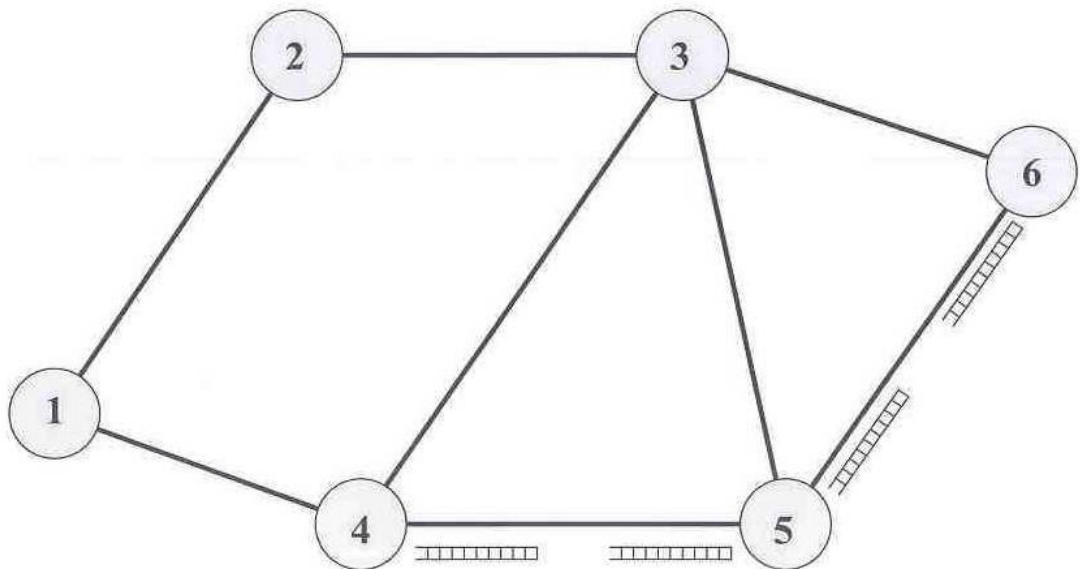
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις βασικές αρχές που διέπουν τον έλεγχο συμφόρησης και θα τονιστούν οι καταστάσεις στις οποίες η μία μέθοδος είναι πιο πρόσφορη από την άλλη.

Στο σχήμα 4.5 φαίνονται γραφικά οι διάφοροι μέθοδοι.



### 4.4.1 Πίεση προς τα πίσω

Η πίεση προς τα πίσω (backpressure) λειτουργεί με βάση τους συνδέσμους του δικτύου ή με βάση τις λογικές συνδέσεις. Εάν ο κόμβος 6 του σχήματος 4.6 παρατηρήσει ότι οι ενταμιευτές του γεμίζουν, φτάνει δηλαδή σε ένα σημείο συμφόρησης, ζητάει από τον 5 να σταματήσει να στέλνει κίνηση, ή να μειώσει τη ροή της κίνησης. Ο περιορισμός αυτός της κίνησης προχωράει προς τα πίσω, δηλαδή προς την πηγή της κίνησης, η οποία αναγκάζεται να σταματήσει να στέλνει πακέτα στο δίκτυο.



Σχημα 4.6

Η εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να γίνει επιλεκτικά σε κάθε λογική σύνδεση ή να γίνει σε όλες την κίνηση που φτάνει στον κόμβο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα που προσφέρουν είτε λογικές συνδέσεις ή έλεγχο ροής από κόμβο σε κόμβο (hop by hop). Μια τέτοια τεχνική βλέπουμε στα δίκτυα X.25. Το frame relay και το ATM δεν προσφέρουν αυτή την δυνατότητα, ούτε κάτι τέτοιο προσφέρεται στα δίκτυα TCP/IP.

#### 4.4.2 Πακέτα Πνιγμού

Το πακέτο πνιγμού είναι ένα πακέτο που παράγεται από ένα κόμβο υπό συμφόρηση και μεταδίδεται πίσω προς την πηγή για να περιοριστεί η ροή της κίνησης. Παράδειγμα τέτοιου πακέτου είναι το πακέτο Source Quench του ICMP (Internet Control Message Protocol). Το πακέτο αυτό μπορεί να σταλεί από ένα δρομολογητή ή από τον προορισμό και απαιτεί από την πηγή να μειώσει τον ρυθμό με τον οποίο στέλνει πακέτα στο συγκεκριμένο προορισμό. Μόλις η πηγή παραλάβει το πακέτο αυτό μειώνει την αποστολή μηνυμάτων μέχρι να σταματήσει να λαμβάνει τέτοια μηνύματα. Στο IP στέλνονται συνήθως τέτοια πακέτα για κάθε πακέτο που απορρίπτεται από τον δρομολογητή λόγω πλήρων ενταμιευτών. Μπορεί βέβαια να γίνει και κάποια πρόβλεψη και να στέλνονται πακέτα πνιγμού πριν φτάσουμε στην απόρριψη πακέτων. Επειδή τα μηνύματα αυτά δεν σημαίνουν πάντα απόρριψη πακέτων δεν μπορεί η πηγή να υποθέσει τίποτε για την τύχη τους – πρέπει να χρησιμοποιήσει άλλες τεχνικές για να μάθει αν απορρίφτηκε κάποιο πακέτο και να το ξαναστείλει.

#### 4.4.3 Υπονοούμενη Σηματοδοσία Συμφόρησης (Implicit Congestion Control)

Είδαμε στα προηγούμενα ότι σε περιπτώσεις συμφόρησης

- πακέτα απορρίπτονται ή
- πακέτα αργούν να μεταφέρουν από την πηγή στον προορισμό

δημιουργώντας καθυστερήσεις μεγαλύτερες από αυτές που τυπικά θα αναμένονταν (χρόνος μεταφοράς και μικρός χρόνος επεξεργασίας)

Εάν η πηγή έχει την δυνατότητα να αντιληφθεί πακέτα που δεν έφτασαν στον προορισμό τους ή πακέτα που έχουν καθυστερήσει υπέρμετρα μπορεί τότε

να διαπιστώσει ότι βρισκόμαστε σε κατάσταση συμφόρησης και να μειώσει τον ρυθμό μετάδοσης. Έτσι οι ακραίοι κόμβοι αναλαμβάνουν την μείωση της συμφόρησης χωρίς να χρειάζεται η συμμετοχή των κόμβων του δικτύου.

Η μέθοδος αυτή βρίσκει ευρεία χρήση σε δίκτυα που δεν χρησιμοποιούν συνδέσεις ή χρησιμοποιούν αυτοδύναμα πακέτα. Τέτοια είναι τα διαδίκτυα που βασίζονται στο IP. Αν και δεν υπάρχουν λογικές συνδέσεις στο επίπεδο αυτό, υπάρχουν λογικές συνδέσεις στο παραπάνω επίπεδο, το TCP. Το TCP χρησιμοποιεί επιβεβαιώσεις (acknowledgements), η μη άφιξη των οποίων σηματοδοτεί πιθανή έναρξη συμφόρησης.

Στα δίκτυα frame relay, που είναι δίκτυα βασισμένα στην σύνδεση, το πρωτόκολλο LAPF μπορεί να διακρίνει χαμένα πλαίσια και να εξασκήσει έλεγχο ροής.

#### 4.4.4 Ρητή Σηματοδοσία Συμφόρησης (Explicit Congestion Signaling)

Μπορούμε να ελέγχουμε την συμφόρηση με οργανωμένο και δίκαιο τρόπο αξιοποιώντας την χωρητικότητα του δικτύου με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η ρητή σηματοδοσία συμφόρησης χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό. Το δίκτυο ενημερώνει τα ακραία συστήματα ότι η συμφόρηση στο δίκτυο μεγαλώνει και τους ζητάει να μειώσουν το ρυθμό αποστολής πακέτων στο δίκτυο.

Συνήθως η μέθοδοι αυτοί είναι αποτελεσματικότεροι σε δίκτυα με σύνδεση, ελέγχοντας την συμφόρηση σε κάθε λογική σύνδεση. Η πληροφορία για την συμφόρηση μπορεί να μεταδίδεται σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις:

**Προς τα πίσω (backward):** Πληροφορία προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της κίνησης μεταφέρεται είτε μέσα σε πακέτα που κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση είτε με ειδικά πακέτα ελέγχου. Η πληροφορία που μεταφέρεται ενημερώνει την πηγή ότι υπάρχουν πόροι του δικτύου οι οποίοι υποφέρουν από συμφόρηση.

**Προς τα εμπρός (forward):** Μεταφέρεται πληροφορία προς την ίδια κατεύθυνση με την κίνηση ενημερώνοντας τον προορισμό ότι κατά την διάρκεια της ζωής του το δίκτυο συνάντησε συμφορημένους πόρους. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση μπορεί να σταλούν ειδικά πακέτα ή να γίνει αλλαγή κάποιων ψηφίων στο πακέτο που συναντάει την συμφόρηση. Όταν το ακραίο σύστημα λάβει το μήνυμα της συμφόρησης τότε ή στέλνει πίσω στην πηγή μια ηχώ συμφόρησης ή ασκεί έλεγχο ροής προς την πηγή.

Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις τρόπους που μεταδίδεται η πληροφορία για την συμφόρηση:

**Διαδικός (Binary)** Γίνεται η χρήση ενός ψηφίου, που δηλώνει την ύπαρξη ή μη συμφόρησης. Όταν η πηγή λάβει αυτό το ψηφίο αρχίζει να μειώνει τον ρυθμό αποστολής.

**Βασισμένος σε άδειες (credit based):** Σύμφωνα με αυτά τα συστήματα κάθε λογική σύνδεση έχει ένα αριθμό αδειών για αποστολή πακέτων στο δίκτυο. Ο αριθμός αυτός δηλώνει πόσες οκτάδες ή συχνότερα πόσα πακέτα επιτρέπεται να στείλει η πηγή χωρίς να έχει λάβει επιβεβαίωση ότι αυτά έφτασαν στον προορισμό τους. Όταν τελειώσει ο αριθμός των αδειών τότε η πηγή σταματάει να στέλνει πακέτα. Η τεχνική αυτή είναι πολύ χρήσιμη για από άκρου εις άκρον έλεγχο ροής και συχνά χρησιμοποιείται για έλεγχο συμφόρησης.

**Βασισμένη στον ρυθμό (rate based):** Σύμφωνα με τα συστήματα αυτά κάθε πηγή έχει ένα δεδομένο ρυθμό σύμφωνα με τον οποίο μπορεί να στέλνει πακέτα στο δίκτυο. Η πηγή δεν μπορεί να ξεπεράσει τον ρυθμό αυτό. Σε περίπτωση συμφόρησης ο ρυθμός αυτός μειώνεται ανάλογα με το περιεχόμενο του πακέτου ελέγχου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ελέγχου συμφόρησης με την χρήση της τεχνικής αυτής είναι τα δίκτυα ATM.

#### 4.4.5 Παράμετροι Διαχείρισης Κίνησης

Είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια ότι μια πηγή μπορεί να μειώσει το ρυθμό αποστολής πακέτων ή ένας δρομολογητής μπορεί να απορρίψει πακέτα όταν διαπιστωθεί συμφόρηση με σκοπό να αυξηθεί η κίνηση στο δίκτυο. Πέρα όμως από τον ολικό αριθμό πακέτων που περνούν από το δίκτυο είναι αναγκαίο να εξεταστούν και άλλες παράμετροι που ορίζουν την επιτυχία ή μη ενός τρόπου ελέγχου συμφόρησης. Η χρήση των παραμέτρων αυτών μας βοηθάει να έχουμε δίκτυα που προσφέρουν υπηρεσίες οι οποίες εξαρτώνται από την κατηγορία της κίνησης που υπάρχει στο δίκτυο και λαμβάνουν υπόψη συμφωνίες μεταξύ του δικτύου και των χρηστών για την μίξη της κίνησης και την ποιότητα των προσφερομένων υπηρεσιών.

#### 4.4.6 Δικαιοσύνη

Στη περίπτωση μεγάλης συμφόρησης θα θέλαμε οι διάφορες λογικές συνδέσεις να υποφέρουν με ένα τρόπο δίκαιο και αποδεκτό σε όλους. Μια ροή η οποία κινείται σε ένα μέρος του δικτύου στο οποίο δεν υπάρχει κίνηση δεν μπορεί να τιμωρηθεί για την κίνηση στα άλλα μέρη του δικτύου. Ή μια ροή που έχει πολύ μικρές απαιτήσεις ευρύς ζώνης δεν μπορεί να υποφέρει το ίδιο με μια ροή που έχει τεράστιες απαιτήσεις. Η συνήθως χρησιμοποιημένη τεχνική να απορρίπτονται πακέτα τα οποία έφτασαν τελευταία στον κόμβο δεν είναι πάντα η πιο δίκαιη λύση. Θα μπορούσε ο κάθε κόμβος να διατηρούσε διαφορετικές ουρές για κάθε ροή (λογική σύνδεση ή κάθε ζεύγους πηγής προορισμού) και να απέρριπτε πακέτα από την ουρά που γέμιζε πρώτη – επιτρέποντας έτσι στις ροές που δεν έχουν μεγάλη κίνηση να διέρχονται χωρίς μεγάλη μείωση από το δίκτυο.

#### 4.4.7 Ποιότητα Υπηρεσίας

Έχουμε τονίσει ότι διαφορετικές μορφές κίνησης έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο. Η φωνή και η κινούμενη εικόνα θέλουν χαμηλές καθυστερήσεις ενώ τα δεδομένα απαιτούν μηδενικές απώλειες. Πακέτα ελέγχου και διαχείρισης είναι συνήθως μικρά και πρέπει να φτάσουν γρήγορα και σώα στον προορισμό τους. Σε περιπτώσεις συμφόρησης πρέπει να λαμβάνονται αυτά ιδιαίτερα υπόψη. Θα μπορούσαν τα πακέτα ελέγχου να έχουν υψηλότερη προτεραιότητα από τα άλλα πακέτα. Ή θα μπορούσε η φωνή και η εικόνα να είχαν μεγαλύτερους ενταμιευτές και κάποια προτεραιότητα σε σχέση με τα δεδομένα.

#### 4.4.8 Κρατήσεις (Reservations)

Μπορεί κατά το στάδιο της εγκατάστασης της σύνδεσης να γίνουν κρατήσεις όσον αφορά την δυνατότητα του δικτύου να μεταφέρει την κίνηση αυτή. Ο χρήστης και το δίκτυο μπορούν να κάνουν μια συμφωνία και να ορίσουν μια σειρά παραμέτρων οι οποίες αναφέρονται στην καθυστέρηση, στον ρυθμό μετάδοσης κλπ. Το δίκτυο ελέγχει αν μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες αυτές και αποδέχεται ή απορρίπτει την κλήση. Το δίκτυο από την πλευρά του αστυνομεύει την κίνηση και αποκλείει από το δίκτυο ροές που δεν ακολουθούν προκαθορισμένες συμφωνίες.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

• Πρόλογος	1
<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ (ad hoc και Bluetooth)</b>	
• Εισαγωγή	4
• 1.1 Μοντέλο Λειτουργίας	8
1.1.1. Συμμετρικές Ζεύξεις	11
1.1.2. Λύσεις Ad Hoc Επιπέδου 2	11
1.1.3. Πολυεκπομπή (multicast)	12
• 1.2. Εμπορικές Εφαρμογές Ad Hoc Δικτύων	13
1.2.1. Συνεδριάσεις	14
1.2.2. Οικιακό Δίκτυο	14
1.2.3. Υπηρεσίες Ανάγκης	15
1.2.4. Δίκτυα Αισθητήρων	16
1.2.5. Άλλες Εφαρμογές	17
• 1.3. Τεχνικοί και Επιχειρηματικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν τα Ad Hoc Δίκτυα	18
• 1.4 Δυνατότητα Επεκτασιμότητας	20
• 1.5 Απαιτούμενη Ενέργεια – Καθυστέρηση	21
• 1.6 Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων σε Ασύρματα Δίκτυα	23
• 1.7 Επίπεδο Μόρφωσης Χρηστών	24
• 1.8 Ζητήματα Ασφάλειας	25
• 1.9 Ζητήματα Κάλυψης	25
• Bluetooth	27
• Τεχνική προδιαγραφή Bluetooth	31
• Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Bluetooth	34
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ</b>	
• Εισαγωγή	36

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
• 2.1. Table-driven Προσεγγίσεις	37
2.1.1. Destination Sequenced Distance Vector – DSDV	38
2.1.2. Wireless Routing Protocol – WRP	39
2.1.3. Cluster Switch Gateway Routing – CSGR	40
• 2.2. Source initiated/On demand Προσεγγίσεις	43
2.2.1. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing – AODV	43
2.2.2. Dynamic Source Routing – DSR	46
• 2.3. Υβριδικά Σχήματα Δρομολόγησης	48
2.3.1. Zone Routing Protocol – ZRP	48
• 2.4. Σύγχρονη Έρευνα πάνω σε Θέματα Δρομολόγησης στα Ad Hoc Δίκτυα	50
2.4.1. Εξοικονόμηση Ενέργειας	51
2.4.1.1. Request-Delay Routing Protocol – RDRP	54
2.4.1.2. Max-Min Routing Protocol – MMRP	56
2.4.2. Υποστήριξη QoS	58
2.4.2.1. Μετρικά Δρομολόγησης	61
2.4.2.2. Εφαρμογή στο DSR	63
 <b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕΕΕ 802.11</b>	
• Εισαγωγή	65
• 3.1. Περιγραφή του μοντέλου ΙΕΕΕ 802.11	66
3.1.1 Αρχιτεκτονική	66
3.1.2 Φυσικό Επίπεδο	69
3.1.3 Υποεπίπεδο Ελέγχου Μέσου Πρόσβασης (MAC)	70
3.1.4 Distributed Coordination Function	71
3.1.5 Point coordination function	78
• 3.2 Μοντέλο Προσομοίωσης	79

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Αποτελέσματα Προσομοίωσης	80
3.2.1 Δίκτυο ad hoc	80
3.2.2 Το αποτέλεσμα του RTS στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων	80
3.2.3 Αποτέλεσμα του Fragmentation Threshold στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων	81
3.2.4 Αποτέλεσμα του μήκους του MSDU στο Μέγιστο Throughput Δεδομένων	81
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ</b>	
• Εισαγωγή	83
• 4.1 Τα αποτελέσματα της συμφόρησης	84
• 4.2 Ιδεατή απόδοση	85
• 4.3 Πρακτική συμπεριφορά	87
• 4.4 Έλεγχος Συμφόρησης	89
4.4.1 Πίεση προς τα πίσω	90
4.4.2 Πακέτα Πνιγμού	91
4.4.3 Υπονοούμενη Σηματοδοσία Συμφόρησης (Implicit Congestion Control)	91
4.4.4 Ρητή Σηματοδοσία Συμφόρησης (Explicit Congestion Signaling)	92
4.4.5 Παράμετροι Διαχείρισης Κίνησης	94
4.4.6 Δικαιοσύνη	94
4.4.7 Ποιότητα Υπηρεσίας	95
4.4.8 Κρατήσεις (Reservations)	95

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Ad Hoc Mobile Wireless Networks*, C – K Toh, Prentice Hall 2002
2. *Ad Hoc Networking*, C. Perkins, Addison – Welsey 2001
3. *Bluetooth Revealed*, B. A. Miller, C. Bisdikian, Prentice Hall 2001
4. **“DSR – based Energy – aware Routing Protocols in Ad Hoc Networks”**, W. Yu, J. Lee
5. **“A Comprehensive Energy Conservation Solution for Mobile Ad Hoc Networks”**,  
J. A. Stine, G. Veciana, ICC 2002
6. **“A Cluster – based Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Networks”**,  
I. Chakraborty, G. Barua
7. **“A More Reliable Ad Hoc Multihop Routing Protocol”**, T. Okuda, S. Ishihara, T. Watanabe
8. **“Signaling and QoS Guarantees in Mobile Ad Hoc Networks”**, C. Yeh, H. T. Mouftah, H. Hassanein
9. **“Dynamic Clustering with Quality of Service Guarantees and Forwarder Selection in Wireless Ad Hoc Networks”**, J. Habetha, M. Nadler, D. Calvo de No
10. **“Δίκτυα Υπολογιστών”**, Andrew S. Tanenbaum
11. **“Τηλεπληροφορική και Δίκτυα Υπολογιστών”**, Παν. Παναγιωτόπουλος – Γιαν. Δραγώνας – Χριστ. Σκουρλάς

## Ηλεκτρονική Αρθρογραφία

1. [www.bluetooth.org](http://www.bluetooth.org)
2. [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com)
3. [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
4. [www.adhoc-networking.de](http://www.adhoc-networking.de)
5. [www.it.uom.gr](http://www.it.uom.gr)
6. <http://cgi.di.uoa.gr>
7. <http://en.wikipedia.org>