



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού
περιεχομένου σε πολλούς χρήστες”

ΣΤΟΪΔΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

ΑΜ: 1999030075

Εξεταστική Επιτροπή: Καθ. Μ. Πατεράκης (επιβλέπων)

Καθ. Ν. Σιδηρόπουλος

Δρ. Σ. Τσακιρίδου (Π.Δ. 407/80)

Χανιά, Οκτώβριος 2004

vasilis@stoidis.net

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	- 6 -
2	Ασύρματα δίκτυα	- 9 -
2.1	Πρωτόκολλα επικοινωνίας	- 10 -
2.1.1	802.11b, 802.11b turbo codec	- 11 -
2.1.2	802.11a	- 12 -
2.1.3	802.11g	- 14 -
2.1.4	Χρήση πλήρους φάσματος	- 14 -
2.2	WiFi is a hubbed environment	- 16 -
2.2.1	IBSS throughput	- 16 -
2.2.2	Μεταδόσεις σε ασύρματα Broadcast κανάλια	- 17 -
2.2.3	Πολύτιμη Χρήση του Hubbed Environment	- 17 -
3	Broadband Transmission over Wireless Link	- 19 -
3.1	Wireless Video Transmission in numbers	- 19 -
3.2	Ταυτόχρονη μετάδοση περιεχομένου	- 21 -
3.2.1	IP Header and unicast to multiple destinations	- 21 -
3.2.3	Unicast in a hubbed environment	- 23 -
3.3	Unicast WiFi	- 23 -
3.4	Multicast	- 25 -
4	Multicast over Broadcast	- 26 -
4.1	Εισαγωγή	- 26 -
4.2	Μετάδοση Broadcast Πληροφορίας στο Επίπεδο Δικτύου.	- 26 -
4.2.1	Κόστος δικτύου	- 27 -
4.3	Διαχείριση της μετάδοσης	- 28 -
4.3.1	Λειτουργία και DHCP	- 29 -
4.3.3	Συμπεράσματα – Σημειώσεις	- 38 -
4.4	Πολλαπλά streams	- 39 -
4.5	Bandwidth in Multicast over Broadcast	- 40 -
4.6	Quality assurance	- 44 -
4.7	Εξυπηρέτηση της Unicast κίνησης	- 46 -
4.8	Άνω Όρια Απόδοσης της προτεινόμενης μεθόδου	- 48 -
4.9	Αλγόριθμος της μεθόδου Multicast over Broadcast	- 49 -
4.10	Προσομοιωτής	- 51 -
5	Κρίσιμα Θέματα Λειτουργίας	- 54 -
5.1	Μελέτη των επιπτώσεων κατά την επέκταση του IP Subnet «προς τα κάτω».	- 54 -
5.2	Έξυπνος αλγόριθμος προσαρμογής του δικτύου στη ζήτηση των streams	- 55 -
5.3	Μελέτη πιθανών προβλημάτων της επικοινωνίας μεταξύ του Access Point και των clients εξαιτίας της χρήσης διαφορετικών broadcast διευθύνσεων.	- 57 -

5.4 Χρήση κατάλληλης client εφαρμογής για το reallocation του IP Subnet	- 58 -
5.5 Χρήση κατάλληλης client εφαρμογής για την αναγνώριση της υπερχρησιμοποίησης των πόρων του δικτύου	- 59 -
5.6 Επεξεργασία / Διαχείριση χρηστών	- 61 -
6 Επίλογος	- 62 -
6.1 Κύρια Συμπεράσματα και Συνεισφορά της Εργασίας	- 63 -
6.1 Επεκτάσεις	- 64 -
Συνομογραφίες και Ακρωνύμια	- 65 -
Βιβλιογραφία	- 67 -

Περίληψη

Κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η παρουσίαση ενός αλγορίθμου ο οποίος επιτυγχάνει την ταυτόχρονη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες, με τρόπο ώστε αυτή να γίνεται δυνατή πάνω από ασύρματα τοπικά κυρίως, δίκτυα. Τέτοια δίκτυα είναι συνήθως χαμηλής χωρητικότητας και η μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου πάνω από αυτά είναι συνήθως προβληματική.

Είναι γνωστό ότι για την ταυτόχρονη μετάδοση περιεχομένου σε πολλούς χρήστες υπάρχουν πρωτόκολλα multicast όπως είναι το IGMP. Παρόλα αυτά, η χρήση τέτοιων πρωτοκόλλων δεν είναι τόσο διαδεδομένη και στην πραγματικότητα οι μεταδόσεις περιεχομένου γίνονται στην πλειοψηφία τους με unicast.

Σε αυτή την εργασία, λαμβάνονται υπόψη οι φυσικές ιδιότητες των ασυρμάτων δικτύων και παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος ο οποίος κάνοντας χρήση αυτών των φυσικών ιδιοτήτων επιτυγχάνει την ταυτόχρονη, ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες. Οι μεταδόσεις στο δίκτυο με βάση αυτόν τον αλγόριθμο βασίζονται στα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα IP και UDP καθιστώντας τον συμβατό με την ήδη υπάρχουσα κατάσταση στο διαδίκτυο.

Κάνοντας χρήση ήδη υπαρχόντων πρωτοκόλλων μετάδοσης και μεταφοράς, αλλά με τρόπο ο οποίος εκμεταλλεύεται τις φυσικές ιδιαιτερότητες των ασυρμάτων δικτύων, γίνεται δυνατή η λήψη του μεταδιδόμενου περιεχομένου από μεγάλο αριθμό χρηστών χωρίς αντίστοιχα μεγάλη απαίτηση bandwidth του δικτύου.

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια είναι φανερή η ραγδαία ανάπτυξη των δικτύων υπολογιστών. Τα δίκτυα αυτά δεν θα είχαν σήμερα τόσο μεγάλη αποδοχή από τις περισσότερες κοινωνικές ομάδες, αν δεν υπήρχε το Διαδίκτυο, το οποίο διασυνδέει τα επιμέρους δίκτυα.

Σήμερα, η ύπαρξη διασύνδεσης με το Διαδίκτυο είναι χρήσιμη, σε αρκετές περιπτώσεις είναι επιτακτική και πλέον σε πολύ λίγες περιπτώσεις κρίνεται άχρηστη. Το Διαδίκτυο, προσφέροντας πάρα πολλές υπηρεσίες πάνω από μία σχετικά απλή υποδομή έχει κερδίσει σημαντική θέση στη ζωή του κάθε φοιτητή, καθηγητή, επαγγελματία, και γενικότερα στη ζωή των περισσότερων ατόμων στη κοινωνία.

Το Διαδίκτυο, είναι το δίκτυο που διασυνδέει τὰ υποδίκτυα **υπολογιστών**. Παρά το γεγονός ότι δεν παρατηρείται αντίστοιχα ραγδαία εξάπλωση των υπολογιστικών συστημάτων, η ανάγκη δικτύωσης εξελίσσεται σήμερα με πολύ ταχείς ρυθμούς. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας σήμερα συσκευών που βασίζονται σε μικροϋπολογιστές, ή ακόμη και σε κανονικούς υπολογιστές. Τέτοιες συσκευές αποτελούν τα κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές παλάμης, συσκευές τιμολόγησης κ.α.

Η ανάγκη δικτύωσης της κάθε συσκευής παντού, ακόμη κι αν αυτή κινείται, μπορεί να επιτευχθεί εύκολα μόνο με τη χρήση ασυρμάτων δικτύων. Σήμερα, η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων, έχει ωριμάσει και ευνοεί την εξάπλωσή τους. Γι' αυτό το λόγο, παρατηρούμε την ασύρματη κάλυψη όλο και περισσότερων περιοχών σε μεγάλο βαθμό. Ακόμη όμως, δεν έχει παρατηρηθεί η αντικατάσταση των ενσύρματων δικτύων στο χώρο εργασίας από ασύρματα.

Στην εργασία αυτή αναλύονται οι ανάγκες σε εύρος ζώνης για την μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου, γίνεται αναφορά στις διάφορες εναλλακτικές τεχνικές μετάδοσης και προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος για ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου ο οποίος επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση εύρους ζώνης.

Ειδικότερα, το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει σύντομη αναφορά στα ασύρματα δίκτυα και στα σχετικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα σε αυτά. Παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων όσον αφορά την μπάντα συχνοτήτων που χρησιμοποιούν, τους μηχανισμούς μετάδοσης και τις ταχύτητες μετάδοσης που επιτυγχάνουν. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται τεχνικές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί η συνολικά επιτυγχανόμενη ταχύτητα μετάδοσης προκειμένου να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει αναλυτική παρουσίαση της ευρυζωνικής μετάδοσης video πάνω από ενσύρματα δίκτυα και του εύρους ζώνης που απαιτείται για αυτές τις μεταδόσεις. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή και ανάλυση της λειτουργίας των δομημένων ενσυρμάτων δικτύων με σταθμούς (Hubbed networks) και παραλληλισμός με τα ασύρματα δίκτυα. Αναλύοντας την συμπεριφορά των δομημένων ασυρμάτων δικτύων, hubbed μορφής, εξάγονται συμπεράσματα τα οποία είναι χρήσιμα στη μέθοδο που προτείνεται στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μέθοδος για ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες η οποία σχεδιάζεται και αξιολογείται σε αυτήν την εργασία. Περιγράφεται η κύρια ιδέα, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί αυτή να υλοποιηθεί καθώς και πολλά παράπλευρα ζητήματα τα οποία παρουσιάζονται μαζί με τις λύσεις τους. Στη συνέχεια, περιγράφεται η χρήση του Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), το οποίο

παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της προτεινόμενης μεθόδου. Επιπλέον παρατίθεται ιδιαίτερη περιγραφή του προσομοιωτή, ο οποίος κατασκευάστηκε για να πιστοποιήσει την λειτουργία της προτεινόμενης μεθόδου. Επίσης, περιγράφονται αντιπροσωπευτικά σενάρια λειτουργίας των ασυρμάτων δικτύων και δίδονται αποτελέσματα από τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου. Τέλος παρουσιάζονται τεχνικές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις που αυξάνονται οι χρήστες των ασυρμάτων δικτύων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται σημαντικά θέματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της προτεινόμενης στο κεφ. 4 μεθόδου. Επειδή αυτή η μέθοδος επικοινωνίας βασίζεται σε ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιεί με «ειδικό» τρόπο, πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη ζητήματα που απορρέουν από αυτή τη χρήση. Επιπλέον, μελετάται σε ποιο βαθμό είναι επιθυμητός και κατά πόσο, ο παραπάνω τρόπος χρήσης των υπάρχοντων πρωτοκόλλων.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα και η συνεισφορά της εργασίας καθώς και οι ιδέες για μελλοντικές επεκτάσεις. Επιπλέον, γίνεται αναφορά για την εξέλιξη της εργασίας σε πρωτότυπο, ώστε να διαπιστωθεί πειραματικά η ορθή λειτουργία, οι επιδόσεις και οι περιορισμοί της προτεινόμενης μεθόδου ταυτόχρονης, ασύρματης μετάδοσης ευρυζωνικού περιεχομένου.

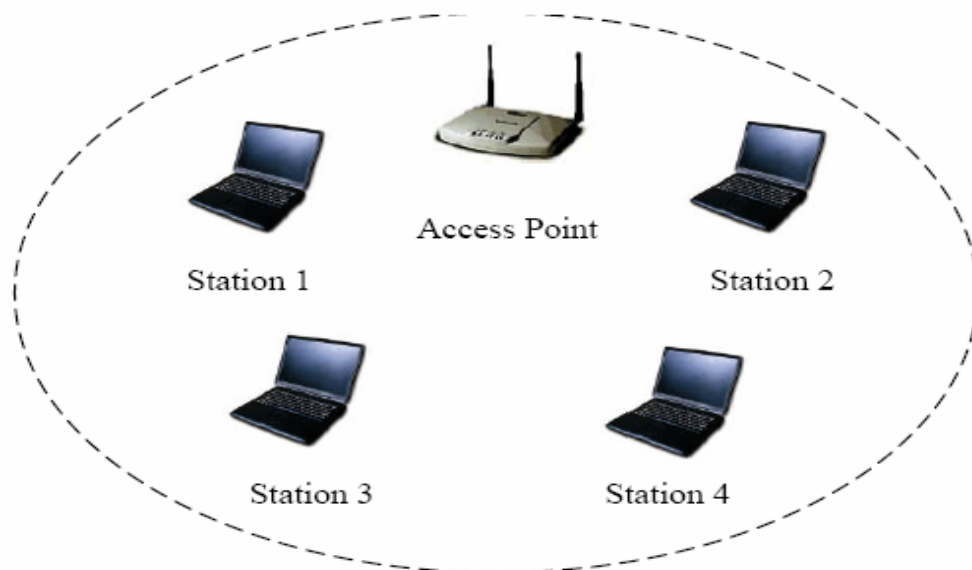
2 Ασύρματα δίκτυα

Η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων έχει σήμερα ωριμάσει επιτρέποντας την εύκολη, αποτελεσματική και οικονομικά φθηνή χρήση τους.

Μετά την έκδοση του προτύπου (standard) της Διεθνούς Ένωσης Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών, IEEE 802.11 [1] οι κατασκευαστές δικτυακού εξοπλισμού ξεκίνησαν την παραγωγή εξοπλισμού ο οποίος επιτύγχανε ασύρματη σύνδεση υπολογιστών σε ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 2 Mbps. Λίγο αργότερα, φάνηκε ότι για κάτι τέτοιο υπήρχε έντονη ζήτηση από την αγορά δίνοντας ώθηση στην κατασκευή των συσκευών, αλλά και στην έρευνα για την εξέλιξη του πρωτοκόλλου.

Τα ασύρματα IEEE 802.11 δίκτυα χρησιμοποιούν ένα σταθμό βάσης (Access Point, AP) και κάρτες πρόσβασης εγκατεστημένες στις ασύρματες συσκευές του δικτύου χρηστών (clients). Ένα AP και ένας ή περισσότεροι clients, δημιουργούν ένα **Infrastructure Basic Service Set** (IBSS), επιτρέποντας την επικοινωνία μεταξύ των clients, μέσω του AP.

Infrastructure Basic Service Set



Εικόνα 2.1

Το ασύρματο δίκτυο στο οποίο βασίζεται αυτή η εργασία είναι ένα δίκτυο της παραπάνω μορφής. Αποτελείται από ένα Access Point και διάφορους ασύρματους clients.

2.1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η ομάδα εργασίας (working group) 802.11 της IEEE θέσπισε διάφορα πρότυπα ασυρμάτων πρωτοκόλλων μετάδοσης. Τα πρωτόκολλα αυτά με τη χρονική σειρά που εμφανίστηκαν είναι τα: 802.11, 802.11b, 802.11a και 802.11g. Τα πρωτόκολλα 802.11 **[1]**, 802.11b **[3]** και 802.11g **[4]** λειτουργούν στη συχνότητα λειτουργίας (μπάντα) των 2.4 GHz. Αντίθετα, το πρωτόκολλο 802.11a, λειτουργεί στην μπάντα των 5 GHz **[4]** και προσφέρει διαφορετικό τρόπο επικοινωνίας από τα άλλα πρωτόκολλα.

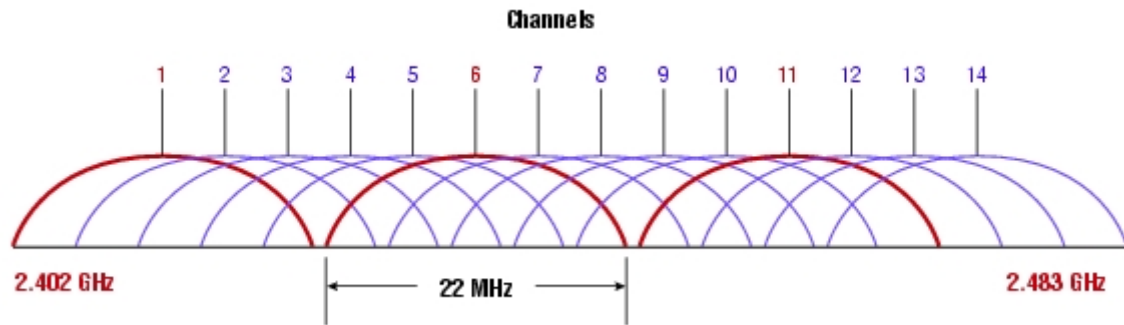
Το 802.11g είναι το τελευταία στη σειρά πρωτόκολλο ενώ σε σύντομο χρόνο αναμένεται η προτυποποίηση του πρωτοκόλλου 802.11n το οποίο θα δώσει στα ασύρματα δίκτυα την δυνατότητα να ανταγωνιστούν σε κάποιο βαθμό τα ενσύρματα δίκτυα δομημένης καλωδίωσης όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, το 802.11n αναμένεται να επιτυγχάνει ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης 140 Mbps.

2.1.1 802.11b, 802.11b turbo codec

Λίγο μετά την εμφάνιση του πρωτοκόλλου 802.11 εμφανίστηκε το πρωτόκολλο 802.11b, το οποίο έχει τη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με ονομαστικούς ρυθμούς έως 11 Mbps χρησιμοποιώντας διαμόρφωση Complementary Code Keying (CCK) (για να επιτύχει τον μέγιστο ρυθμό) ενώ είναι συμβατό με το πρωτόκολλο 802.11. Στην πράξη, ο μέγιστος επιτυγχανόμενος ρυθμός μετάδοσης του πρωτοκόλλου 802.11b είναι μεταξύ 5 και 6 Mbps.

Η απαίτηση των χρηστών για ολοένα και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, ιδιαίτερα σε μία εποχή όπου το Fast Ethernet είχε αντικαταστήσει το Ethernet 10base-T, ώθησε τις εταιρείες στην μελέτη των codecs διαμόρφωσης και στην παραγωγή συσκευών δικτύωσης συμβατών με το πρωτόκολλο 802.11b και τη δυνατότητα επιπλέον χρήσης διαμόρφωσης Packet Binary Convolutional Code (PBCC), έτσι ώστε να επιτευχθούν ονομαστικοί ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των 22 Mbps. Στην πράξη, με τη χρήση διαμόρφωσης PBCC **[5]**, οι μέγιστοι επιτυγχανόμενοι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τα 8 Mbps.

Η χρήση περισσότερων σταθμών βάσης με σκοπό την αύξηση του συνολικού throughput είναι εφικτή, αλλά στην περίπτωση αυτή συνεχίζει να υπάρχει ο περιορισμός του πεπερασμένου αριθμού καναλιών του πρωτοκόλλου. Στο Αμερικάνικο πρότυπο 802.11b υπάρχουν 11 κανάλια (στο αντίστοιχο Ευρωπαϊκό 13) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά μόνο τα 3 από αυτά είναι μη-επικαλυπτόμενα μεταξύ τους **[6]**.



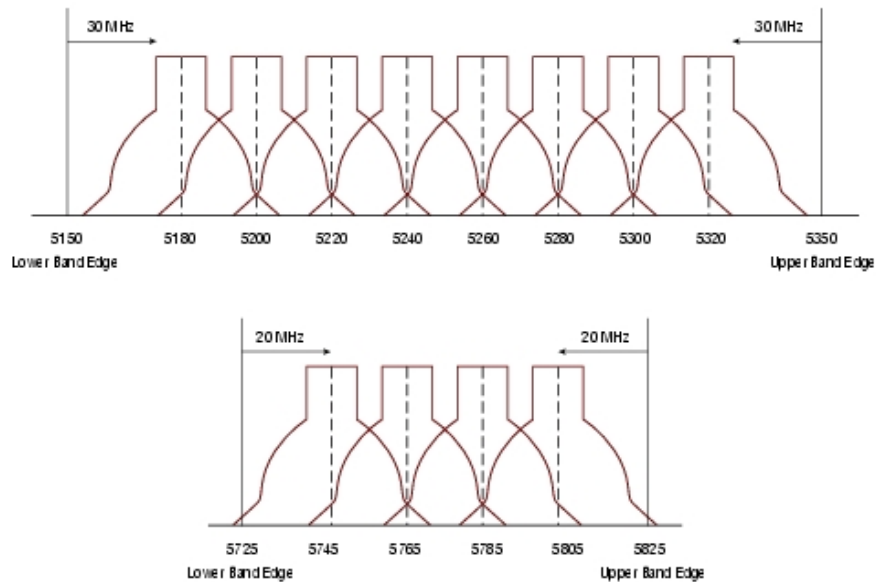
Εικόνα 2.1.1.2

Κατά συνέπεια, το συνολικό throughput σε ένα σημείο του χώρου δεν μπορεί να ξεπεράσει ονομαστικά τα 3x11 Mbps (στην πράξη το επιτυγχανόμενο throughput δεν ξεπερνά τα 3x6 Mbps). Με τη χρήση διαμόρφωσης PBCC, το συνολικό επιτυγχανόμενο throughput δεν ξεπερνάει τα 3x8 Mbps.

2.1.2 802.11a

Το 802.11a είναι μεταγενέστερο πρωτόκολλο του 802.11b με σημαντικές διαφορές από το τελευταίο. Δημιουργήθηκε για να επιτρέψει περισσότερα non-overlapping channels και να αυξήσει το throughput, κάνοντας χρήση Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) διαμόρφωσης. Με αυτό το τρόπο έγινε δυνατή η μετάδοση δεδομένων σε ονομαστικές ταχύτητες έως 54 Mbps (στην πράξη επιτυγχάνονται ταχύτητες μεταξύ 20 και 22 Mbps). Τα non-overlapping channels **[7]** για διασύνδεση από το AP προς τους clients είναι 8, επιτρέποντας την τοποθέτηση περισσότερων Access Points στο χώρο με απώτερο σκοπό τη συνολική αύξηση του διαθέσιμου bandwidth στο σημείο. Αναλυτικότερα, κάνοντας χρήση των non-overlapping καναλιών είναι δυνατός ο διαχωρισμός των clients και κατά συνέπεια της κίνησης από αυτούς, σε 8 διαφορετικά Access Points στην ίδια περιοχή στο χώρο.

Non-overlapping channels 802.11a



Εικόνα 2.1.2.1

Παρά το γεγονός ότι το πρωτόκολλο 802.11a επιτρέπει την εγκατάσταση περισσότερων Access Points στο ίδιο σημείο, κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό στην πράξη λόγω κόστους (και αυξημένων απαιτήσεων δικτυακής συντήρησης). Επιπλέον, το επιτυγχανόμενο μέγιστο throughput των περίπου 20 Mbps είναι ικανοποιητικό δεδομένου ότι καλύπτει σήμερα τις περισσότερες ανάγκες των ασύρματων χρηστών.

Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου 802.11a το οποίο συνετέλεσε στη μειωμένη αποδοχή του, ήταν η ασυμβατότητά του με το πρωτόκολλο 802.11b. Το πρωτόκολλο 802.11a χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα λειτουργίας, από αυτή του 802.11b. Κατά συνέπεια, μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα αλλά όχι μαζί με εξοπλισμό τεχνολογίας 802.11b. Στην πράξη, ολική αντικατάσταση του εξοπλισμού ασύρματης δικτύωσης μίας εταιρείας

και πλήρης αχρήστευση του παλαιότερου εξοπλισμού δεν ήταν κάτι που μπορούσε να αποφασισθεί εύκολα.

2.1.3 802.11g

Η λύση στην αντιπαράθεση του γρήγορου 802.11a με το αργότερο σε ρυθμούς μετάδοσης αλλά με μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς 802.11b, ήταν ακριβώς στη μέση. Το πρωτόκολλο 802.11g χρησιμοποιεί τον ίδιο πομποδέκτη από άποψη συχνότητας και καναλιών μετάδοσης με το 802.11b, όμως για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης κάνει χρήση κωδικοποίησης OFDM **[8]**, όπως το 802.11a.

Η τεχνολογία του πρωτοκόλλου 802.11g είναι πλήρως συμβατή με το 802.11b. Η αναβάθμιση του ασύρματου δικτυακού εξοπλισμού από 802.11b σε 802.11g συνίστατο σε απλή αλλαγή των Access Points και των καρτών πρόσβασης. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αποδοχή του 802.11g ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτή του 802.11a παρόλο που τα non-overlapping channels, είναι ίδια με αυτά του 802.11b, σαφώς λιγότερα από αυτά του 802.11a.

2.1.4 Χρήση πλήρους φάσματος

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, μία μέθοδος για την αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης σε ένα χώρο είναι η προσθήκη στο δίκτυο επιπλέον σταθμών βάσης (Access Points) στους οποίους κατανέμονται οι χρήστες του δικτύου. Σαν αποτέλεσμα, κάθε Access Point εξυπηρετεί ένα κλάσμα των χρηστών (κατά συνέπεια καλείται να υποστηρίξει ένα κλάσμα του συνολικού απαιτούμενου bandwidth).

Το πρόβλημα που εμφανίζεται σε αυτή την περίπτωση έχει να κάνει με τη διαχείριση των χρηστών. Οι χρήστες θα πρέπει να

καταμερισθούν με τέτοιο τρόπο ώστε τελικά να είναι ισοβαρώς μοιρασμένο μεταξύ των Access Points το συνολικό χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει και ερευνητικό ενδιαφέρον δεδομένου ότι απαιτείται ο σχεδιασμός πρόσθετων μηχανισμών στο πρωτόκολλο 802.11x για να επιτευχθεί ο παραπάνω καταμερισμός των χρηστών.

Το 802.11x χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό για τη σύνδεση του client στο Access Point, με αποτέλεσμα ο client συνήθως να συνδέεται στο Access Point με το «καλύτερο» σήμα **[9]**. Παραμένει ασαφές και επαφίεται στην επιλογή του κατασκευαστή της κάρτας ασυρμάτου δικτύου για την σύνδεση του client με το Access Point το οποίο προσφέρει το δυνατότερο, ή το ποιοτικότερο σήμα*. Ο client δεν μπορεί κατά το negotiation να είναι σε θέση να επιλέξει το Access Point με το λιγότερο φόρτο. Ακόμη περισσότερο, κατά τη διάρκεια της σύνδεσής του ο client δεν μπορεί να συνδεθεί σε άλλο Access Point το οποίο εκείνη τη στιγμή έχει διαθέσιμο περισσότερο εύρος ζώνης.

Κατά συνέπεια, γίνεται αντιληπτό, ότι η απλή προσθήκη Access Points στο δίκτυο δεν αυξάνει κατ' ανάγκη το διαθέσιμο εύρος ζώνης, δεδομένου ότι απαιτούνται μηχανισμοί αποτελεσματικής διαχείρισης του επιπλέον εύρος ζώνης που τα Access Points έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν στο δίκτυο. Όμως τα 802.11x πρωτόκολλα δεν διαθέτουν τέτοιους μηχανισμούς, οπότε αυτοί θα πρέπει να επινοηθούν και υλοποιηθούν.

*: Δυνατότερο σήμα, είναι αυτό που εμφανίζει μεγαλύτερη ένταση σε dBm στην είσοδο του δέκτη του client. Ποιοτικότερο σήμα, είναι το σήμα του οποίου η αποδιαμόρφωση γίνεται με μεγαλύτερη επιτυχία από το δέκτη. Ένα δυνατό σήμα, δεν είναι απαραίτητα και ποιοτικό, καθότι μπορεί να το έχουν αλλοιώσει παρεμβολές από άλλα σήματα ή να οφείλεται η μειωμένη ποιότητά του στην κακή κατασκευή του πομπού ή του διαμορφωτή

2.2 WiFi is a hubbed environment

Παρά το γεγονός ότι τα 802.11x πρωτόκολλα των ασυρμάτων δικτύων επιτυγχάνουν σημαντικούς συνολικούς ρυθμούς μετάδοσης, ο υποστηριζόμενος ρυθμός μετάδοσης ανά χρήστη (client) περιορίζεται λόγω του χαρακτήρα της μετάδοσης.

Η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ασύρματα δίκτυα είναι ευρεία (broadcast) και διαχέεται στο χώρο. Η ευρεία αυτή μετάδοση καλύπτει το χώρο κάλυψης του ασυρμάτου δικτύου και άρα όλους τους clients που το χρησιμοποιούν. Αυτό σημαίνει ότι η μετάδοση που γίνεται από το AP προς έναν client του ασυρμάτου δικτύου, γίνεται αντιληπτή από το σύνολο των clients ενώ η μετάδοση ενός client μονοπωλεί το AP.

Αντίθετα, στο σύνολο του μοντέρνου ενσύρματου δικτυακού εξοπλισμού δομημένης καλωδίωσης χρησιμοποιούνται σήμερα switches τα οποία έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης ταυτόχρονων μεταδόσεων ανάμεσα σε διαφορετικούς χρήστες. Σε ένα τυπικό switch με θύρες (ports) ταχύτητας 100 Mbps, η συνολική διαμεταγωγή είναι 8.8 Gbps, επιτρέποντας 44 ($8.8 / 0.2$) full duplex μεταδόσεις με πλήρη διαμεταγωγή στα 100 Mbps μεταξύ των ports του switch, ή 88 half duplex κανάλια.

2.2.1 IBSS throughput

Στην περίπτωση ενός IBSS στο οποίο έχουμε ένα AP και μερικούς clients στην εμβέλειά του, η συνολική διαμεταγωγή του IBSS φράσσεται από πάνω από το throughput του πρωτοκόλλου (το οποίο στην περίπτωση του 802.11g είναι στην πράξη περίπου 20 Mbps). Αν υποθέσουμε ότι το IBSS εξυπηρετεί 20 σταθμούς

(clients), τότε το μέγιστο throughput που μπορεί να επιτύχει ταυτόχρονα ο καθένας από αυτούς είναι μόλις 1 Mbps!

Αντίθετα, στην περίπτωση ενός όμοιου switched Fast Ethernet δικτύου, το μέγιστο throughput που μπορεί να επιτευχθεί ταυτόχρονα από κάθε σταθμό μπορεί να είναι ίσο με 100 Mbps.

2.2.2 Μεταδόσεις σε ασύρματα Broadcast κανάλια

Στο παραπάνω πρόβλημα, η ερευνητική κοινότητα έχει παρουσιάσει λύσεις με «έξυπνες» κεραιές (smart antennas), οι οποίες ονομάζονται έτσι λόγω της δυνατότητάς τους να επιτρέπουν τις ταυτόχρονες μεταδόσεις από και προς το Access Point. Το παραπάνω ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι οι θέσεις των σταθμών είναι διαφορετικές στο χώρο. Επιπλέον, τέτοιου είδους λύσεις είναι τεχνολογικά ιδιαίτερα προχωρημένες με αποτέλεσμα να είναι υψηλού κόστους.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι broadcast μεταδόσεις είναι επιθυμητές. Τέτοιες είναι οι περιπτώσεις των πρωτοκόλλων Network Basic Input/Output System NETBIOS [10] και DHCP τα οποία βασίζονται στην broadcast μετάδοση πληροφορίας ενημέρωσης σε όλους τους clients την ίδια χρονική στιγμή.

2.2.3 Πολύτιμη Χρήση του Hubbed Environment

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται η ευρεία (broadcast) φύση της ασύρματης μετάδοσης στο χώρο για την ταυτόχρονη μετάδοση πληροφορίας στους χρήστες του δικτύου. Τα σύγχρονα ενσύρματα δίκτυα υπολογιστών είναι ως επί το πλείστον σχεδιασμένα ώστε να είναι εφικτές σε υψηλές ταχύτητες οι μεταδόσεις πληροφορίας μεταξύ ζευγών χρηστών (unicast μεταφορά δεδομένων). Αυτό επιτεύχθηκε με την αντικατάσταση των hubs από switches.

Ο κάθε χρήστης σε ένα switched δίκτυο λαμβάνει πληροφορία που απευθύνεται μόνο σε αυτόν και έτσι δεν απασχολείται η κάρτα δικτύου του με δεδομένα τα οποία προορίζονται σε άλλους αποδέκτες. Στην περίπτωση ενός hubbed δικτύου οι κάρτες δικτύου των χρηστών απορρίπτουν δεδομένα τα οποία λαμβάνουν έτσι κι αλλιώς, αλλά δεν απευθύνονται σε αυτούς.

Στην ειδική περίπτωση όπου έχουμε δεδομένα τα οποία αντί να απευθύνονται μόνο σε ένα χρήστη απευθύνονται σε όλους τους χρήστες του δικτύου, τα hubbed δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν αποδοτικά αυτές τις μεταδόσεις. Για να επιτευχθεί όμως η λήψη των δεδομένων από όλους θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μετάδοση των δεδομένων με broadcast τρόπο, όπως ορίζεται από το πρωτόκολλο Internet Protocol IP **[11]**.

Κάνοντας χρήση του broadcasting στο πρωτόκολλο IP, όλοι οι χρήστες που ανήκουν στο «ειδικό» broadcast group θα λάβουν την πληροφορία που έχει αποσταλεί στην broadcast IP address του group τους. Αν μάλιστα, αυτή η πληροφορία μπορεί να φτάσει στους χρήστες χωρίς πολλές μεταδόσεις (λόγω της φύσης του δικτύου), τότε η μετάδοση έχει ολοκληρωθεί, με τον πλέον αποδοτικό τρόπο.

3 Broadband Transmission over Wireless Link

Μία από τις πλέον απαιτητικές ευρυζωνικές εφαρμογές για τα δίκτυα επικοινωνίας υπολογιστών, είναι η μετάδοση video. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αναλογιστούμε τις δύο βασικότερες απαιτήσεις για τη μετάδοση του video που είναι το απαιτούμενο εύρος ζώνης (bandwidth) της γραμμής και οι πολύ μικρές καθυστερήσεις από άκρη σε άκρη (end-to-end delays).

Έχοντας αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο το σχετικά χαμηλό throughput το οποίο επιτυγχάνουν οι χρήστες σε ασύρματα WiFi δίκτυα, γίνεται αντιληπτό ότι η μετάδοση video πάνω από ασύρματα WiFi δίκτυα είναι πολύ περιορισμένη. Σε αυτή την εργασία θα περιγράψουμε τις συνθήκες και τον τρόπο λειτουργίας διαφόρων πρωτοκόλλων, ώστε να είναι όχι μόνο απλά δυνατή η μετάδοση περιεχομένου video υψηλής ποιότητας σε ασύρματα WiFi δίκτυα, αλλά επιπλέον μία τέτοια μετάδοση να μπορεί να λαμβάνεται από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Η μετάδοση video υψηλής ποιότητας σε πολλούς χρήστες όπως παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία ξεπερνάει σε απαιτήσεις και τις δυνατότητες των συμβατικών σημερινών ενσύρματων δικτύων τεχνολογίας Fast Ethernet και unicast τρόπου μετάδοσης.

3.1 Wireless Video Transmission in numbers

Στην περίπτωση της μετάδοσης ευρυζωνικού περιεχομένου (π.χ. video) πάνω από WiFi ασύρματα δίκτυα, έχουμε περιορισμό στον αριθμό των ταυτόχρονα υποστηριζόμενων χρηστών λόγω του

μειωμένου συνολικού throughput του ασυρμάτου δικτύου. Τα σχετικά αριθμητικά στοιχεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πρωτόκολλο	Max. No. Of stations supported	Maximum Transmission Rate
802.11a	20	54 Mbps
802.11b	5	11 Mbps
802.11g	20	54 Mbps
802.11n	70	140 Mbps

Τα παραπάνω στοιχεία εξάγονται κάνοντας υπόθεση ότι το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την μετάδοση video είναι ίσο με 1 Mbps (αντιστοιχεί για παράδειγμα σε Mpeg4 με ανάλυση εικόνας και ρυθμό ανανέωσης κατά του προτύπου PAL).

Παρατηρούμε ότι κάνοντας χρήση των δυνατοτήτων των διατιθεμένων σήμερα πρωτοκόλλων ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονων χρηστών είναι ίσος με 20, ενώ στο μέλλον με τη χρήση του πρωτοκόλλου 802.11n θα είναι δυνατή η μετάδοση σε 70 ταυτόχρονους χρήστες.

Η μετάδοση δεσμεύει 1 Mbps για κάθε χρήστη στο ασύρματο μέσο και στο Access Point. Με αυτό το τρόπο οι δυνατότητες του ασύρματου μέσου εξαντλούνται γρήγορα, καθιστώντας αδύνατη τη μετάδοση σήμερα σε περισσότερους από 20 χρήστες.

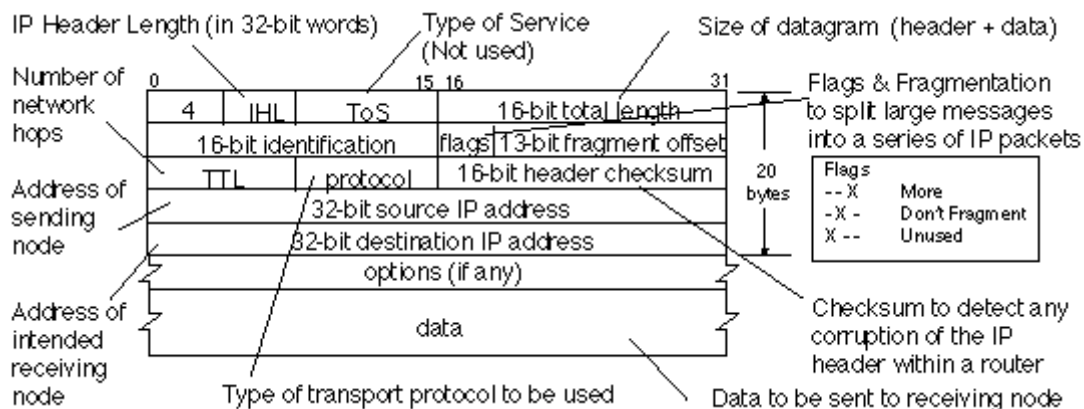
3.2 Ταυτόχρονη μετάδοση περιεχομένου

Στην περίπτωση που έχουμε να μεταδώσουμε το ίδιο περιεχόμενο σε πολλούς χρήστες, είναι δυνατή η χρήση δύο μεθόδων: unicast και multicast.

Κατά τη unicast μετάδοση της πληροφορίας, το κάθε μεταδιδόμενο πακέτο αποστέλλεται ξεχωριστά σε κάθε παραλήπτη. Σε αυτή τη περίπτωση, ο εξυπηρετητής της μετάδοσης (video server), παράγει όμοια πακέτα προς μετάδοση και το κάθε ένα από αυτά λαμβάνει απλά διαφορετική διεύθυνση παραλήπτη και αποστέλλεται στο δίκτυο.

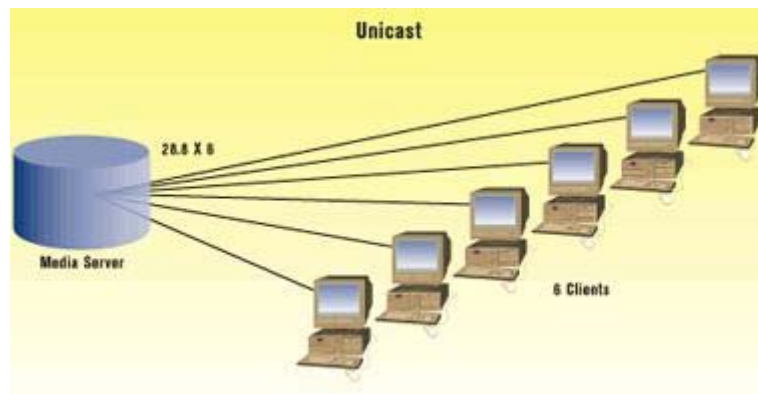
3.2.1 IP Header and unicast to multiple destinations

Η μετάδοση περιεχομένου σύμφωνα με το πρωτόκολλο IP, το οποίο είναι ο πρότυπος τρόπος μετάδοσης πληροφορίας στα δίκτυα υπολογιστών, χρησιμοποιεί την επικεφαλίδα IP [12] προκειμένου να υποδηλώσει τον παραλήπτη (και τον αποστολέα) της πληροφορίας.



Εικόνα 3.2.1.1

Σε κάθε IP πακέτο που αποστέλλεται, ορίζονται ο αποστολέας και ο παραλήπτης του. Στο σενάριο όπου ένας video server εξυπηρετεί μια ροή video η οποία απευθύνεται σε πολλούς παραλήπτες, το header των IP πακέτων αλλάζει έτσι ώστε κάθε φορά το πακέτο να απευθύνεται σε ένα νέο παραλήπτη [13].



Σχήμα 3.2.1.2

Στη παραπάνω εικόνα, εμφανίζεται η περίπτωση κατά την οποία ένας media server μεταδίδει video σε έξι παραλήπτες. Στην περίπτωση που ο media server μεταδίδει ένα live event, το περιεχόμενο που φτάνει σε κάθε παραλήπτη, είναι το ίδιο. Αυτό που αλλάζει σε κάθε περίπτωση είναι το 32 bit destination IP address από την επικεφαλίδα του κάθε πακέτου IP (IP datagram).

Το κόστος σε αυτή τη περίπτωση συνίσταται κυρίως στο ότι χρησιμοποιείται 6 φορές περισσότερο δικτυακό bandwidth προκειμένου να σταλεί το ίδιο περιεχόμενο σε 6 διαφορετικούς χρήστες και στο κόστος επεξεργασίας και δημιουργίας των πακέτων στον media server, ο οποίος καλείται να δημιουργήσει έξι αντίγραφα του κάθε πακέτου πληροφορίας.

3.2.3 Unicast in a hubbed environment

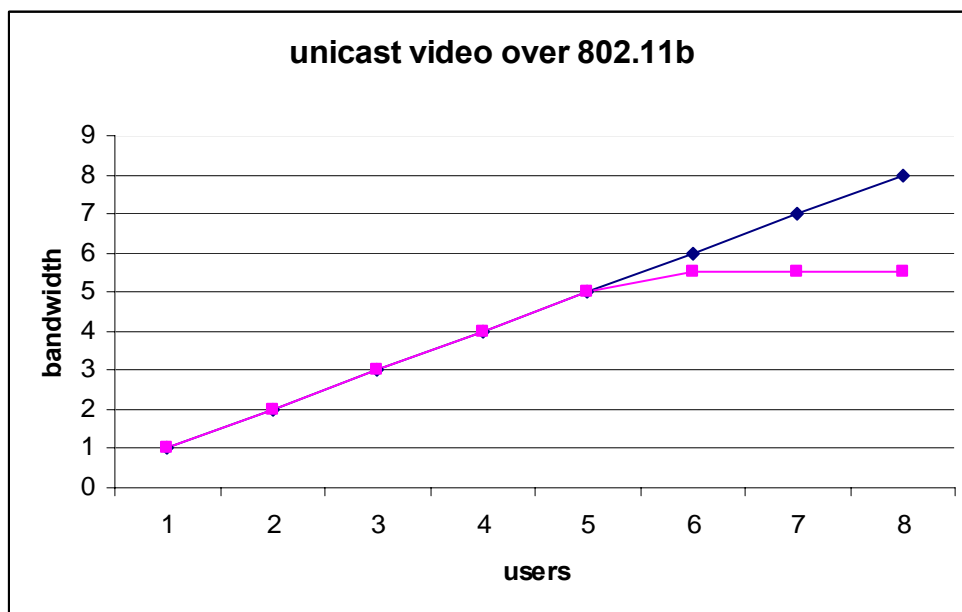
Στην περίπτωση που έχουμε μετάδοση της ίδιας πληροφορίας, όπως για παράδειγμα στην μετάδοση ενός live event, τότε το κάθε IP datagram αποστέλλεται ξεχωριστά στον κάθε παραλήπτη όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Δεδομένου ότι σε ένα hubbed δίκτυο ο κάθε χρήστης ακούει όλες τις μεταδόσεις που γίνονται στο δίκτυο, γίνεται αντιληπτό ότι στην περίπτωση που έχουμε unicast μετάδοση ίδιου περιεχομένου στους clients, ο κάθε client λαμβάνει την ίδια πληροφορία τόσες φορές όσοι και οι clients στο δίκτυο. Τα παραπάνω αντίγραφα της πληροφορίας διαφέρουν μόνο στην IP διεύθυνση προορισμού. Ο παραλήπτης απορρίπτει όλα τα αντίγραφα εκτός από το ένα που απευθύνεται ειδικά σε αυτόν.

3.3 Unicast WiFi

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα τα WiFi ασύρματα δίκτυα είναι hubbed δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω ισχύει στην περίπτωση ενός WiFi ασύρματου δικτύου.

Στην περίπτωση λοιπόν μετάδοσης ενός video στους clients του ασύρματου WiFi δικτύου οι οποίοι επικοινωνούν με το Access Point μέσω unicast μεταδόσεων, λαμβάνει χώρα μεγάλη σπατάλη του bandwidth του δικτύου. Έχοντας αναφερθεί αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2 στις περιορισμένες ταχύτητες μετάδοσης των ασυρμάτων δικτύων 802.11x, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ευρεία (broadcast) μετάδοση video σε τέτοια δίκτυα είναι ιδιαίτερα δύσκολη και ως εκ τούτου η μελέτη της παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση του πρωτοκόλλου 802.11b, όπου το μέγιστο επιτυγχανόμενο throughput είναι περίπου 5.5 Mbps, ο μέγιστος αριθμός των χρηστών του δικτύου στους οποίους μπορεί να γίνει ταυτόχρονα stream ένα MPEG4 video με bandwidth 1 Mbps είναι ίσος με 5.



Η μπλε γραμμή απεικονίζει την ονομαστική χρήση bandwidth που απαιτείται για τη μετάδοση των χρηστών, ενώ η ροζ γραμμή απεικονίζει την πραγματική χρήση bandwidth που παρουσιάζεται στο δίκτυο.

Ο αριθμός των 5 χρηστών είναι αρκετά μικρός, προκειμένου να θεωρηθεί επαρκής για την πραγματική παροχή της υπηρεσίας μετάδοσης video.

3.4 Multicast

Η ταυτόχρονη μετάδοση περιεχομένου σε πολλούς χρήστες οδήγησε την κοινότητα του διαδικτύου στην επινόηση και σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου για την επιτυχή μετάδοση multicast πληροφορίας. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται Internet Group Multicast Protocol IGMP **[15]**.

Το IGMP χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό IP Subnet* για τη δημιουργία των multicast groups και την μετάδοση σε αυτά περιεχομένου το οποίο καταλήγει σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Η χρήση του IGMP απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλου δρομολογητή καθώς και δικτυακού εξοπλισμού μέχρι τον τελικό χρήστη, οι οποίοι να υποστηρίζουν multicast μεταδόσεις.

Για τη δημιουργία multicast μετάδοσης κάνοντας χρήση του πρωτοκόλλου IGMP, απαιτείται η ύπαρξη δρομολογητή ο οποίος να υποστηρίζει το IGMP πρωτόκολλο. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η χρήση switches ή hubs τα οποία επίσης υποστηρίζουν το IGMP πρωτόκολλο. Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα η υλοποίηση της λύσης για μετάδοση με χρήση του IGMP να είναι ακριβή.

*: IP subnet είναι μία ομάδα IP διευθύνσεων οι οποίες ορίζουν ένα υποδίκτυο. Οι υπολογιστές που ανήκουν στο ίδιο IP Subnet έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν απ' ευθείας μεταξύ τους και ορίζουν ένα Τοπικό Δίκτυο (Local Area Network LAN). Η επικοινωνία των υπολογιστών πέρα από το IP Subnet στο οποίο ανήκουν γίνεται με τη χρήση δρομολογητών (routers)

4 Multicast over Broadcast

4.1 Εισαγωγή

Η τεχνική multicast over broadcast συνίσταται στην χρήση της μεθόδου του broadcasting για τη μετάδοση πληροφορίας σε πολλούς clients σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο διαχείρισης. Η τεχνική multicast over broadcast χρησιμοποιεί γνωστά δικτυακά πρωτόκολλα, με κατάλληλη χρήση των οποίων, επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες.

Στα επόμενα κεφάλαια, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η τεχνική multicast over broadcast, τι πρακτικά σημαίνει η χρήση της και πως αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασύρματα WiFi δίκτυα.

4.2 Μετάδοση Broadcast Πληροφορίας στο Επίπεδο Δικτύου.

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, η μετάδοση broadcast περιεχομένου με unicast τρόπο σε ένα Hubbed δίκτυο οδηγεί στην μετάδοση σημαντικού όγκου περίσσειας πληροφορίας. Μάλιστα, ο όγκος αυτής της περίσσειας πληροφορίας, αυξάνεται με τον αριθμό των χρηστών στο δίκτυο. Δηλαδή, εκεί όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για σωστή χρήση των περιορισμένων πόρων του δικτύου, ξοδεύονται περισσότεροι πόροι!

Από την εμφάνιση του πρωτοκόλλου IP, κρίθηκε αναγκαία η ύπαρξη διευθύνσεων οι οποίες απευθύνονται σε όλους τους hosts ενός δικτύου. Αυτές οι διευθύνσεις ονομάζονται broadcast

διευθύνσεις και κάθε subnet έχει μία broadcast διεύθυνση. Αν κάποιος χρήστης ενός subnet στείλει ένα πακέτο στην broadcast διεύθυνση του subnet, τότε όλοι οι χρήστες του subnet το λαμβάνουν, το αποδέχονται και το προωθούν στο παραπάνω επίπεδο του protocol stack (transport layer). Στην περίπτωση που το δίκτυο είναι hubbed η πληροφορία φτάνει σε όλους τους χρήστες με μία μετάδοση, ενώ στην περίπτωση που το δίκτυο είναι switched το switch αναλαμβάνει τη «διανομή» του πακέτου σε όλους τους χρήστες.

Με το RFC 1519 **[16]** έχει θεσπιστεί το σύστημα διευθυνσιοδότησης Classless Inter Domain Routing CIDR **[17]**, σύμφωνα με το οποίο κάθε subnet έχει μία local address και μία broadcast address. Η local address είναι η πρώτη διεύθυνση του IP subnet, ενώ η broadcast address είναι η τελευταία διεύθυνση του IP subnet. Η λήψη ενός IP πακέτου με IP διεύθυνση προορισμού την broadcast IP διεύθυνση του subnet, γίνεται από όλους τους χρήστες που ανήκουν σε στο IP subnet.

Κάνοντας χρήση λοιπόν της broadcast διεύθυνσης σε ένα hubbed δίκτυο, επιτυγχάνεται εύκολα η μετάδοση πληροφορίας σε όλους τους χρήστες.

4.2.1 Κόστος δικτύου

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται από μία broadcast μετάδοση είναι ίσο με το εύρος ζώνης μίας unicast μετάδοσης. Κατά συνέπεια, ένα πρωτόκολλο διαχείρισης το οποίο με έξυπνο τρόπο χρησιμοποιεί την broadcast μέθοδο επικοινωνίας, θα επιτύχανε ταυτόχρονη μετάδοση σε πολλούς σταθμούς χρησιμοποιώντας το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί μία μετάδοση που απευθύνεται σε ένα μόνο σταθμό.

4.3 Διαχείριση της μετάδοσης

Για να επιτευχθεί η αποδοτική μετάδοση της ίδιας πληροφορίας σε πολλούς χρήστες, αρκεί όπως είδαμε να μεταδώσουμε την πληροφορία στη broadcast IP διεύθυνση του IP subnet στο οποίο ανήκουν οι χρήστες. Στην περίπτωση που οι χρήστες δεν ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο IP subnet, αλλά οι IP διευθύνσεις τους είναι «διασκορπισμένες», τότε αυτές θα πρέπει να «τοποθετηθούν» σε ένα subnet γι' αυτό το σκοπό.

Κατά συνέπεια, αυτό που χρειάζεται είναι ένας μηχανισμός διαχείρισης των χρηστών, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η broadcast μετάδοση σε όλους τους **ενδιαφερόμενους** χρήστες. Γίνεται αντιληπτό, ότι οι χρήστες θα πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλα IP subnets για τη μετάδοση που θέλουν να παρακολουθήσουν.

Η διαδικασία με την οποία οι χρήστες θα μεταφέρονται στο κατάλληλο IP subnet πρέπει να γίνεται από κάποιον ελεγκτή/διαχειριστή του συστήματος, που μπορεί να είναι είτε μία συσκευή συνδεδεμένη με το δίκτυό μας μέσω ενός interface, είτε το ίδιο το AP. Στην περίπτωση που ο ελεγκτής/διαχειριστής λειτουργεί στο Access Point, θα πρέπει το τελευταίο με κατάλληλο firmware να είναι σε θέση να παρακολουθεί και να διαχειρίζεται τους χρήστες του δικτύου.

Κατά τη διαδικασία που ένας client εισέρχεται στο δίκτυο και εκκινεί την παρακολούθηση ενός media stream, το Access Point είναι σε θέση να ανιχνεύσει αυτή την ενέργεια και να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες. Η ανίχνευση του media stream από το Access Point είναι σχετικά εύκολη, δεδομένου ότι η διέλευση όλης της πληροφορίας προς τους clients γίνεται από αυτό, περιορίζεται δε στον έλεγχο του πρωτοκόλλου εφαρμογής κάθε client.

Τα συνηθισμένα πρωτόκολλα εφαρμογών για έναν client είναι το http:// **[18]**, το ftp:// **[19]** και άλλα. Για ένα media stream το

πρωτόκολλο εφαρμογής είναι συνήθως το mms:// [20]. Παρακολουθώντας λοιπόν το Access Point τα πρωτόκολλα εφαρμογών που ενεργοποιούν οι clients, είναι σε θέση να «ανιχνεύσει» την ζήτηση ενός media stream από έναν client. Το Access Point, αποθηκεύει την IP διεύθυνση του media server που εξυπηρετεί το stream, έτσι ώστε να γνωρίζει ότι αυτό το stream εξυπηρετείται στο δίκτυό του.

4.3.1 Λειτουργία και DHCP

Η διαχείριση των IP subnets και η ανάθεση των χρηστών σε αυτά μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο Dynamic Host Configuration Protocol DHCP [21], το οποίο περιγράφεται στο RFC 2132 [22]. Το πρωτόκολλο DHCP ενδείκνυται γι' αυτήν τη χρήση δεδομένου ότι είναι σε θέση να αναθέτει IP addresses στους clients, ώστε τελικά να επιτυγχάνεται η δημιουργία των groups. Επιπλέον, είναι ένα κεντροποιημένο πρωτόκολλο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει και κατανομημένα, ώστε αφενός να επιτρέπει τη λειτουργία του στο Access Point, αλλά αφετέρου να μπορεί να επεκταθεί στην περίπτωση μεγαλύτερων εφαρμογών.

Όταν ένας client εισέρχεται στο δίκτυο και επιλέγει την εκκίνηση της μετάδοσης από το δίκτυο προς αυτόν ενός media stream, το Access Point συγκρίνει το stream που ζήτησε ο χρήστης με τα streams τα οποία εξυπηρετεί ήδη. Κάτι τέτοιο γίνεται με τη σύγκριση των IP διευθύνσεων των media servers οι οποίοι ήδη εξυπηρετούν τους clients του δικτύου. Αν αυτό το stream είναι ένα νέο stream, δηλαδή δεν το εξυπηρετεί ήδη, τότε ο DHCP server που λειτουργεί στο Access Point αναθέτει μία IP διεύθυνση στον client η οποία ανήκει σε ένα νέο subnet (μέσα στο οποίο πρώτος client είναι ο client που ζήτησε το δεδομένο stream). Με αυτόν τον τρόπο,

έμμεσα, ο DHCP server δημιουργεί **το subnet του συγκεκριμένου stream**.

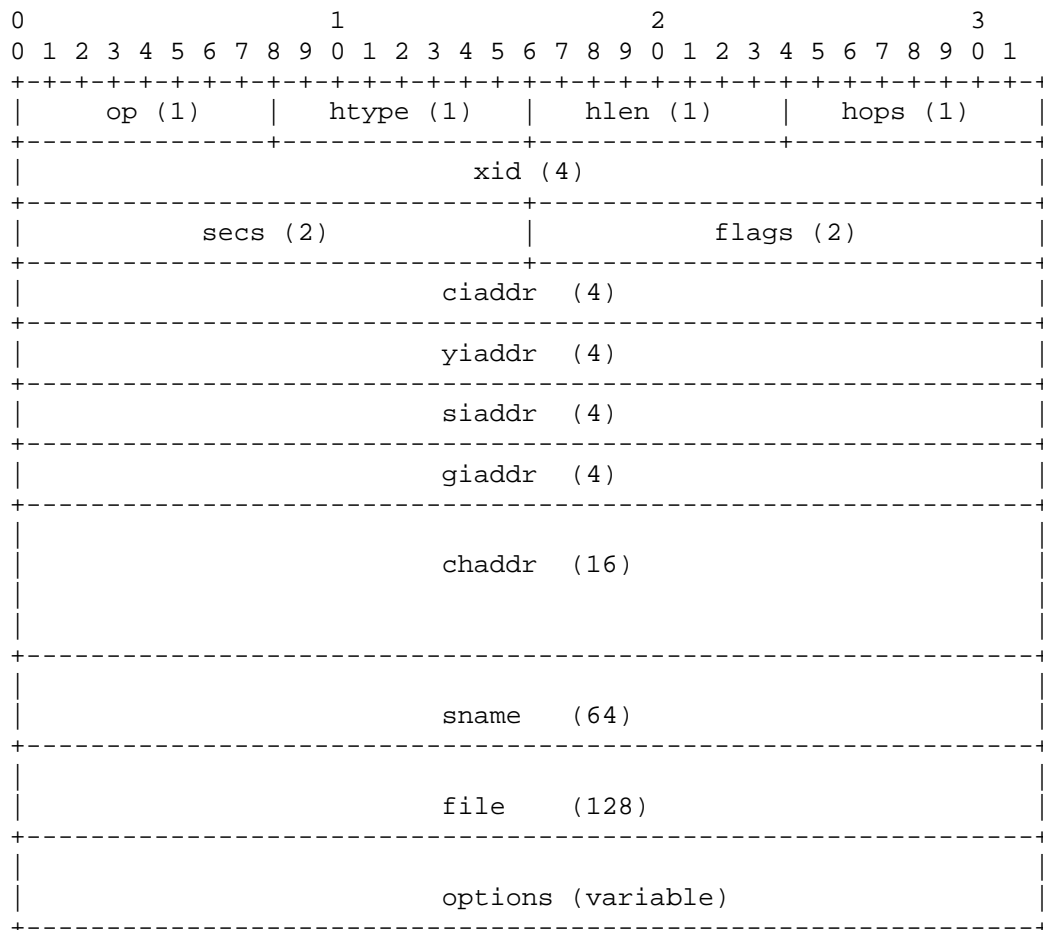
Ο επόμενος client που εισέρχεται στο δίκτυο και ζητεί να λάβει το ίδιο media stream, γίνεται αντιληπτός από το Access Point το οποίο απλά του αναθέτει ελεύθερη IP διεύθυνση στο αντίστοιχο subnet. Φυσικά σε αυτό το σημείο και πριν να ανατεθεί IP διεύθυνση στον client, το Access Point θα πρέπει να γνωρίζει αν υπάρχει διαθέσιμη IP διεύθυνση στο δεδομένο subnet **[23]**. Γι' αυτό το λόγο, τη στιγμή που το Access Point αναγνωρίζει ότι ένα stream εξυπηρετείται στο δίκτυό του σε συγκεκριμένο IP Subnet, πριν να αναθέσει IP διεύθυνση στον client ελέγχει τη διαθεσιμότητα των IP διευθύνσεων στο δεδομένο subnet. Αν υπάρχει διαθεσιμότητα, τότε ο χρήστης λαμβάνει IP από τον DHCP server.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί ότι στην περίπτωση κατά την οποία ο χρήστης ζητάει από το δίκτυο την παρακολούθηση του media stream και του ανατίθεται ελεύθερη IP διεύθυνση του αντίστοιχου subnet, ο χρήστης ξεκινάει να λαμβάνει το media stream όχι στην IP διεύθυνση που του έχει δοθεί, αλλά στην broadcast IP διεύθυνση του subnet. Αυτό φυσικά δεν έχει καμία διαφορά στον client, αλλά δημιουργεί την πραγματική διαφορά όσον αφορά την κατανάλωση πόρων του δικτύου. Το Access Point στέλνει την πληροφορία του media stream, όχι μόνο στον πρώτο client που ζήτησε την παρακολούθηση του stream, ούτε στον κάθε ένα client ξεχωριστά, αλλά στην broadcast IP διεύθυνση του group στο οποίο ανήκουν όλοι οι clients που έχουν ζητήσει να παρακολουθήσουν το ίδιο media stream.

Το DHCP πρωτόκολλο παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία της μεθόδου που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία, αφού κάνει την ανάθεση των διευθύνσεων στους clients και ακυρώνει τις διευθύνσεις των clients στο δίκτυο κατά βούληση. Η ακύρωση των IP διευθύνσεων των clients κατά την βούληση του DHCP server είναι μία τεχνική η οποία δεν εφαρμόζεται ευρέως. Παρόλα αυτά, στη

συγκεκριμένη μέθοδο ομαδοποίησης των μεταδόσεων είναι απαραίτητη η ακύρωση των IP διευθύνσεων των clients και η αντικατάστασή τους με άλλες σε πολλές περιπτώσεις. Για την ακύρωση των διευθύνσεων χρησιμοποιείται η εντολή DHCPNAK, όπως ορίζει το RFC 2132, η οποία αποστέλλεται από τον server στον client για να του υποδηλώσει ότι η IP διεύθυνσή του είναι πλέον άκυρη.

Ένα τυπικό DHCP μήνυμα φαίνεται παρακάτω:



Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν οι επεξηγήσεις των πεδίων του DHCP μηνύματος:

FIELD	OCTETS	DESCRIPTION
----	-----	-----
op	1	Message op code / message type. 1 = BOOTREQUEST, 2 = BOOTREPLY
htype	1	Hardware address type, see ARP section in "Assigned Numbers" RFC; e.g., '1' = 10mb ethernet.
hlen	1	Hardware address length (e.g. '6' for 10mb ethernet).
hops	1	Client sets to zero, optionally used by relay agents when booting via a relay agent.
xid	4	Transaction ID, a random number chosen by the client, used by the client and server to associate messages and responses between a client and a server.
secs	2	Filled in by client, seconds elapsed since client began address acquisition or renewal process.
flags	2	Flags (see figure 2).
ciaddr	4	Client IP address; only filled in if client is in BOUND, RENEW or REBINDING state and can respond to ARP requests.
yiaddr	4	'your' (client) IP address.
siaddr	4	IP address of next server to use in bootstrap; returned in DHCPOFFER, DHCPACK by server.
giaddr	4	Relay agent IP address, used in booting via a relay agent.
chaddr	16	Client hardware address.
sname	64	Optional server host name, null terminated string.
file	128	Boot file name, null terminated string; "generic" name or null in DHCPDISCOVER, fully qualified directory-path name in DHCPOFFER.
options	var	Optional parameters field. See the options documents for a list of defined options.

Περιγραφή των πεδίων ενός μηνύματος DHCP

Αξίζει να αναφερθούμε αναλυτικότερα σε μερικά από τα παραπάνω πεδία η χρήση των οποίων είναι σημαντική.

op: Το πεδίο "op" είναι γενικότερα σημαντικό καθότι δείχνει το είδος του μηνύματος που ακολουθεί.

htype: Το πεδίο αυτό προσδιορίζει τον τύπο του δικτυακού μέσου το οποίο χρησιμοποιείται κατά το negotiation [24]. (π.χ 10 Mbps Ethernet, 3Mbps experimental Ethernet, κ.λ.π.)

chaddr: Το πεδίο "chaddr" είναι σημαντικό πεδίο στη λειτουργία του πρωτοκόλλου DHCP, αλλά κυρίως για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου διαχείρισης που περιγράφεται σε αυτήν την εργασία. Το chaddr συνήθως είναι η hardware address του DHCP client. Αυτή η διεύθυνση είναι διαθέσιμη στον DHCP server και στη προκειμένη περίπτωση στο Access Point στο δεύτερο επίπεδο του OSI (link layer). Κάνοντας χρήση αυτού του συγκεκριμένου αναγνωριστικού, ο DHCP server μπορεί να ξεχωρίζει τους χρήστες και να κάνει σωστές αναθέσεις στα αντίστοιχα groups ανάλογα με το multimedia stream που ζήτησαν να λάβουν.

options: Το συγκεκριμένο πεδίο είναι σημαντικό στο πρωτόκολλο διαχείρισης διότι είναι το πεδίο από το οποίο μπορούμε να περάσουμε πρόσθετα μηνύματα στους χρήστες έτσι ώστε να τους ενημερώσουμε για παράδειγμα για την κατάσταση του δικτύου.

Παρακάτω φαίνονται τα πιθανά op codes και η σημασία τους:

1: **DHCPDISCOVER** - Client broadcast to locate available servers.

2: **DHCPOFFER** - Server to client in response to DHCPDISCOVER with offer of configuration parameters.

3: **DHCPREQUEST** - Client message to servers either (a) requesting offered parameters from one server and implicitly declining offers from all others, (b) confirming correctness of previously allocated address after, e.g., system reboot, or (c) extending the lease on a particular network address.

4: **DHCPACK** - Server to client with configuration parameters, including committed network address.

5: **DHCPNAK** - Server to client indicating client's notion of network address is incorrect (e.g., client has moved to new subnet) or client's lease has expired

6: **DHCPDECLINE** - Client to server indicating network address is already in use.

7: **DHCPRELEASE** - Client to server relinquishing network address and cancelling remaining lease.

8: **DHCPINFORM** - Established client to server, asking only for local configuration parameters.

4.3.2 Κορεσμός του IP Subnet

Στην περίπτωση που ένας client ζητεί λήψη ενός media stream το οποίο εξυπηρετείται ήδη στο δίκτυο, αλλά δεν υπάρχει διαθεσιμότητα σε IP addresses στο IP Subnet στο οποίο λαμβάνεται το stream, τότε το IP Subnet αυτό καταργείται και δημιουργείται ένα μεγαλύτερο. Όλες οι IP διευθύνσεις των clients, πρέπει να αποδοθούν ξανά. Η αρχική σκέψη πάνω σε αυτό το ζήτημα ήταν η επέκταση του IP Subnet είτε «προς τα πάνω» είτε «προς τα κάτω», ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ελευθέρων IP διευθύνσεων των γειτονικών groups. Κατά την περίπτωση της επέκτασης του IP Subnet συνήθως τα στοιχεία του, όπως είναι η μάσκα (subnet mask*) και η broadcast IP διεύθυνση, αλλάζουν. Γι' αυτές τις αλλαγές θα πρέπει να ενημερωθούν οι clients που συμμετέχουν στο IP subnet που επεκτείνεται, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του πρωτοκόλλου IP.

*: Subnet MASK: ομάδα από bits (σαν την IP διεύθυνση) η οποία μας βοηθάει να ξεχωρίσουμε το κομμάτι του IP Subnet, από την IP διεύθυνση ενός host στο δίκτυο.

Κατά την επέκταση του IP Subnet «προς τα κάτω», δεν αλλάζει η broadcast IP διεύθυνση, αλλά αλλάζει μόνο η μάσκα του subnet (subnet mask). Σε μία τέτοια περίπτωση, γίνεται αντιληπτό, ότι η συνέχεια της μετάδοσης του media stream στην (ίδια) broadcast IP διεύθυνση είναι εφικτή.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά η διαφορά της επέκτασης του IP Subnet «προς τα πάνω» και «προς τα κάτω».

IP Subnet

10.10.10.128/27

Netmask:	255.255.255.224 = 27	11111111.11111111.11111111.111 00000
Wildcard:	0.0.0.31	00000000.00000000.00000000.000 11111
Network:	10.10.10.128/27	00001010.00001010.00001010.100 00000
Broadcast:	10.10.10.159	00001010.00001010.00001010.100 11111
HostMin:	10.10.10.129	00001010.00001010.00001010.100 00001
HostMax:	10.10.10.158	00001010.00001010.00001010.100 11110

Τα στοιχεία του παραπάνω subnet αν αυτό επεκταθεί «προς τα πάνω», αλλάζουν στα εξής:

IP Subnet

10.10.10.128/26

Netmask:	255.255.255.192 = 26	11111111.11111111.11111111.11 000000
Wildcard:	0.0.0.63	00000000.00000000.00000000.00 111111
Network:	10.10.10.128/26	00001010.00001010.00001010.10 000000
Broadcast:	10.10.10.191	00001010.00001010.00001010.10 111111
HostMin:	10.10.10.129	00001010.00001010.00001010.10 000001
HostMax:	10.10.10.190	00001010.00001010.00001010.10 111110

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται φανερή η αλλαγή της broadcast IP διεύθυνσης σε μία τέτοια επέκταση του IP Subnet «προς τα πάνω» και ως εκ τούτου, η μετάδοση του media stream δεν μπορεί να συνεχιστεί στην παλαιά IP διεύθυνση.

Η επέκταση του IP Subnet «προς τα κάτω» και η αλλαγή των στοιχείων του δικτύου εξαιτίας της, φαίνεται παρακάτω:

IP Subnet

10.10.10.32/27

Netmask:	255.255.255.224 = 27	11111111.11111111.11111111.111 00000
Wildcard:	0.0.0.31	00000000.00000000.00000000.000 11111
Network:	10.10.10.32/27	00001010.00001010.00001010.001 00000
Broadcast:	10.10.10.63	00001010.00001010.00001010.001 11111
HostMin:	10.10.10.33	00001010.00001010.00001010.001 00001
HostMax:	10.10.10.62	00001010.00001010.00001010.001 11110

Τα στοιχεία του παραπάνω subnet αν αυτό επεκταθεί «προς τα κάτω», αλλάζουν στα εξής:

IP Subnet

10.10.10.32/26

Netmask:	255.255.255.192 = 26	11111111.11111111.11111111.11 000000
Wildcard:	0.0.0.63	00000000.00000000.00000000.00 111111
Network:	10.10.10.0/26	00001010.00001010.00001010.00 000000
Broadcast:	10.10.10.63	00001010.00001010.00001010.00 111111
HostMin:	10.10.10.1	00001010.00001010.00001010.00 000001
HostMax:	10.10.10.62	00001010.00001010.00001010.00 111110

Από το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται ότι η broadcast IP διεύθυνση του IP subnet δεν αλλάζει. Οι clients του δικτύου, μπορούν να συνεχίσουν να λαμβάνουν το media stream από την ίδια IP διεύθυνση, και το AP μπορεί να συνεχίσει να στέλνει το media stream στην ίδια IP διεύθυνση. Κατά συνέπεια, η μετάδοση του media stream δεν διακόπτεται και οι clients συνεχίζουν να το λαμβάνουν.

Αναλυτικότερα, κατά τη διευθυνσιοδότηση ενός client σε ένα συγκεκριμένο subnet, αποδίδονται:

- IP address
- Subnet MASK
- Gateway
- DNS server(s)

Η broadcast διεύθυνση του group εξάγεται μονοσήμαντα από την πληροφορία της IP διεύθυνσης και του subnet MASK. Βέβαια, υπάρχει η δυνατότητα 2 IP Subnets να έχουν την ίδια Broadcast IP address, αλλά σε αυτή τη περίπτωση θα έχουν διαφορετικό Subnet MASK. Επανερχόμενοι λοιπόν, στην περίπτωση κατά την οποία θα απαιτείτο επέκταση ενός IP Subnet, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι αν η επέκταση γίνει «προς τα κάτω», τότε μπορούν οι νέοι clients του group να έχουν νέες IP addresses και νέα MASK, αλλά κοινή broadcast IP διεύθυνση με τους χρήστες του group οι οποίοι ανήκουν στο παλαιό IP Subnet (πριν την επέκταση).

Με απλά λόγια, στο ίδιο group θα ανήκουν δύο Subnets και το νεότερο από τα δύο θα αποτελεί ένα υπερσύνολο του παλαιότερου. Κοινά τους σημεία θα είναι η broadcast IP διεύθυνση και το γεγονός ότι οι παλαιότεροι χρήστες δεν θα γνωρίζουν για την επέκταση του IP subnet τους.

Η παραπάνω μέθοδος αποτελεί μία καινοτομία στη χρήση των broadcast groups και είναι φυσικό να εγείρεται το σημαντικό ερώτημα κατά πόσο κάτι τέτοιο είναι εύλογο να γίνει, ή αποτελεί κακή χρήση του πρωτοκόλλου.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει διαθεσιμότητα για επέκταση του IP Subnet με «χαμηλότερες» ελεύθερες IP διευθύνσεις και απαιτείται η επέκταση του subnet «προς τα πάνω», θα πρέπει να καταργηθεί το IP Subnet και να δημιουργηθεί ένα νέο. Ο λόγος είναι ότι σε αυτή τη περίπτωση αλλάζει η broadcast IP διεύθυνση του IP Subnet και θα πρέπει όλοι οι χρήστες να ενημερωθούν γι' αυτή την αλλαγή. Κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό παρά μόνο κατά την περίπτωση που ο DHCP server αποδώσει από την αρχή τις IP διευθύνσεις σε όλους τους clients. Με απλά λόγια, αυτή η περίπτωση ταυτίζεται με την διαδικασία που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

Αναμφισβήτητα, η επέκταση του IP Subnet μπορεί να γίνει και με τρόπο ώστε το group και το subnet να ταυτίζονται. Σε αυτή τη περίπτωση, ο DHCP server, θα κάνει «επανεκκίνηση» του IP Subnet, δίνοντας από την αρχή σε όλους τους clients, νέες IP διευθύνσεις, MASKs, gateways και DNS servers. Το DHCP πρωτόκολλο επιτρέπει την αναγνώριση των χαρακτηριστικών των DHCP clients με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η απόδοση των ιδίων IP διευθύνσεων στους χρήστες που ήταν ήδη στο δίκτυο.

4.3.3 Συμπεράσματα – Σημειώσεις

Εφόσον υπάρχει η πιθανότητα να γίνει επέκταση των IP Subnets «προς τα κάτω» χωρίς αυτό να επηρεάσει τους ήδη υπάρχοντες clients του group, συμπεραίνουμε ότι τα IP Subnets θα πρέπει να δημιουργούνται αρχικά, επιτρέποντας στην συνέχεια, την επέκτασή τους «προς τα κάτω» με μεγάλη πιθανότητα.

Για να είναι αυτό εφικτό, θα πρέπει από το εύρος διαθέσιμων διευθύνσεων που έχει το Access Point, να ξεκινήσει την ανάθεση

των διευθύνσεων δημιουργώντας ένα IP Subnet το οποίο να αποτελεί το πάνω μέρος του συνολικού IP Subnet. Η δημιουργία του επόμενου group θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αφήνει τη δυνατότητα της επέκτασης «προς τα κάτω» στο προηγούμενο group.

Τέλος, στην περίπτωση που απαιτείται «επανεκκίνηση» του IP Subnet, αυτό πρακτικά μεταφράζεται σε διακοπή της επικοινωνίας σε επίπεδο IP του κάθε χρήστη, δηλαδή, μη παροχή υπηρεσιών δικτύου για κάποιο χρονικό διάστημα. Είναι γνωστό ότι κατά τη διαδικασία απόδοσης των IP διευθύνσεων στους clients, οι τελευταίοι περιμένουν 2 δευτερόλεπτα (default) **[22]** προκειμένου να λάβουν όλες τις απαντήσεις από τους πιθανούς DHCP servers του δικτύου. Κάτι τέτοιο μεταφράζεται σε τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα διακοπή επικοινωνίας και των υπηρεσιών προς τον client.

4.4 Πολλαπλά streams

Κάνοντας χρήση του τρόπου διαχείρισης που παρουσιάστηκε παραπάνω έτσι ώστε οι χρήστες να ομαδοποιούνται σε IP Subnets με βάση το stream που θέλουν να παρακολουθήσουν, υπάρχει η δυνατότητα να υπάρχουν πολλαπλά IP subnets στο δίκτυο στο οποίο ανήκει το Access Point ώστε να υποστηρίζεται η μετάδοση πολλαπλών streams.

Για την υποστήριξη των πολλαπλών streams, το Access Point ανήκει σε ένα IP Subnet το οποίο είναι υπερσύνολο των IP Subnets στα οποία ανήκουν οι χρήστες. Τα IP Subnets που δημιουργούνται λόγω της ζήτησης για μετάδοση των media streams, είναι sub-subnets του συνολικού subnet. Το Access Point μεταδίδει σε κάθε IP broadcast διεύθυνση το αντίστοιχο media stream.

Λειτουργώντας με αυτό το τρόπο το Access Point μοιάζει να κάνει streaming σε απλούς clients, στον κάθε ένα διαφορετικό περιεχόμενο, ενώ στην πραγματικότητα κάνει streaming σε ομάδες χρηστών.

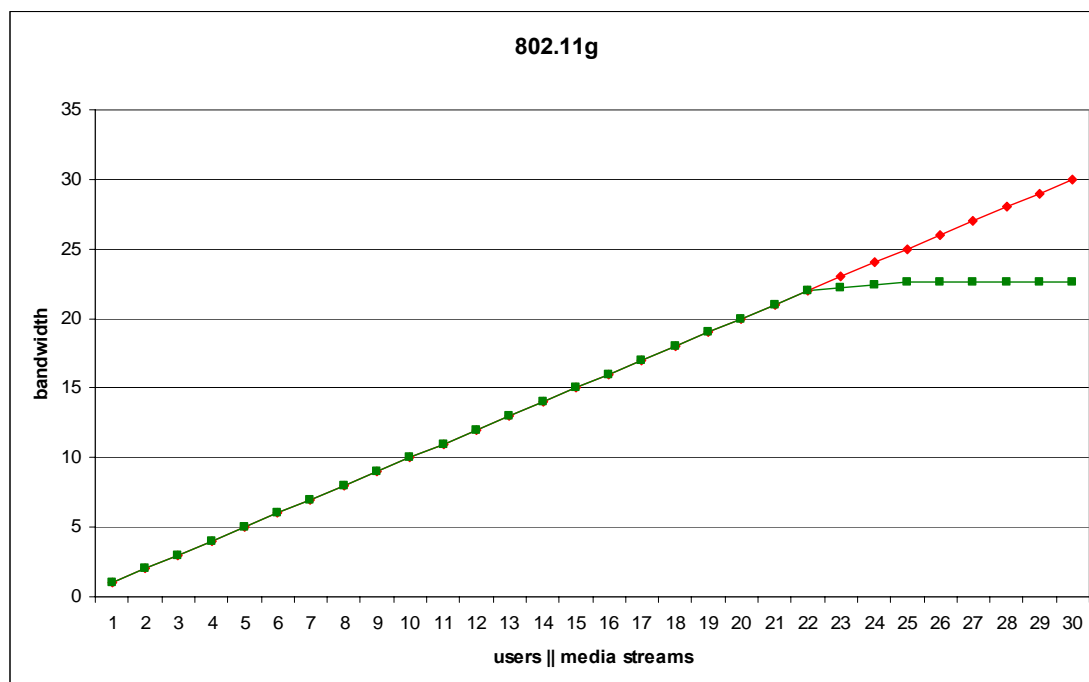
4.5 Bandwidth in Multicast over Broadcast

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από αυτά που εξηγήθηκαν στην παράγραφο 4.3, το κόστος σε εύρος ζώνης για ένα τέτοιο δίκτυο είτε η μετάδοση γίνεται προς ένα χρήστη, είτε προς μία ομάδα χρηστών, είναι το ίδιο.

Έχοντας απαλλαγεί από την εξάρτηση από τον αριθμό των χρηστών για μία ομάδα χρηστών που παρακολουθούν ένα media stream, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα όρια κορεσμού του δικτύου δεν βρίσκονται πλέον **στο πόσοι χρήστες, αλλά στο πόσα διαφορετικά media streams**. Εφόσον για κάθε διαφορετικό stream δημιουργείται ένα IP Subnet, το δίκτυο φτάνει σε κορεσμό σε αριθμό διαφορετικών media streams ίσο με τον μέγιστο αριθμό χρηστών κατά τη unicast μετάδοση.

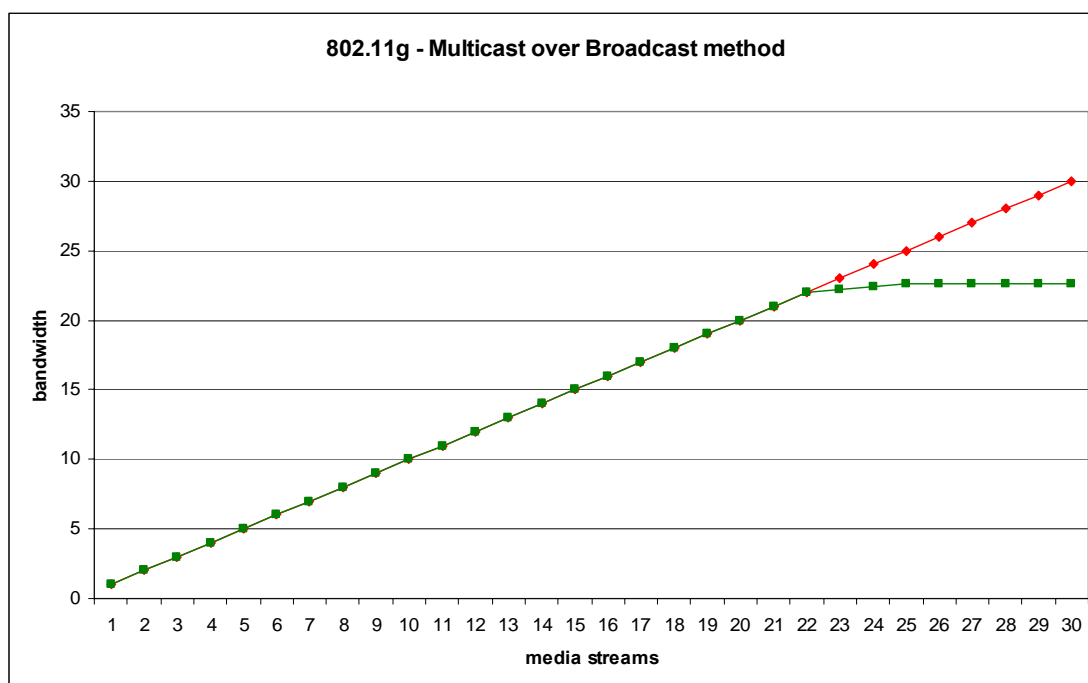
Παρακάτω αναλύονται διάφορα σενάρια χρήσης και φαίνεται παραστατικά το εύρος ζώνης που απαιτείται για διάφορους χρήστες, media streams και μεθόδους μετάδοσης.

Διάγραμμα χρήσης εύρου ζώνης για ταυτόχρονη μετάδοση σε πολλούς χρήστες με χρήση πρωτοκόλλου 802.11g. Η μετάδοση γίνεται με unicast τρόπο (broadcast through unicast) και ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει αριθμό χρηστών, ή αριθμό streams για **ένα** χρήστη σε κάθε stream



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την απαίτηση σε bandwidth για τη μετάδοση ενός media stream μέχρι και σε 30 χρήστες (κόκκινη γραμμή) και την πραγματική χρήση του bandwidth που γίνεται από τους χρήστες (πράσινη γραμμή). Παρατηρούμε ότι για παραπάνω από 22 χρήστες, το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού εξαντλείται και οι επιπλέον χρήστες του δικτύου δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν.

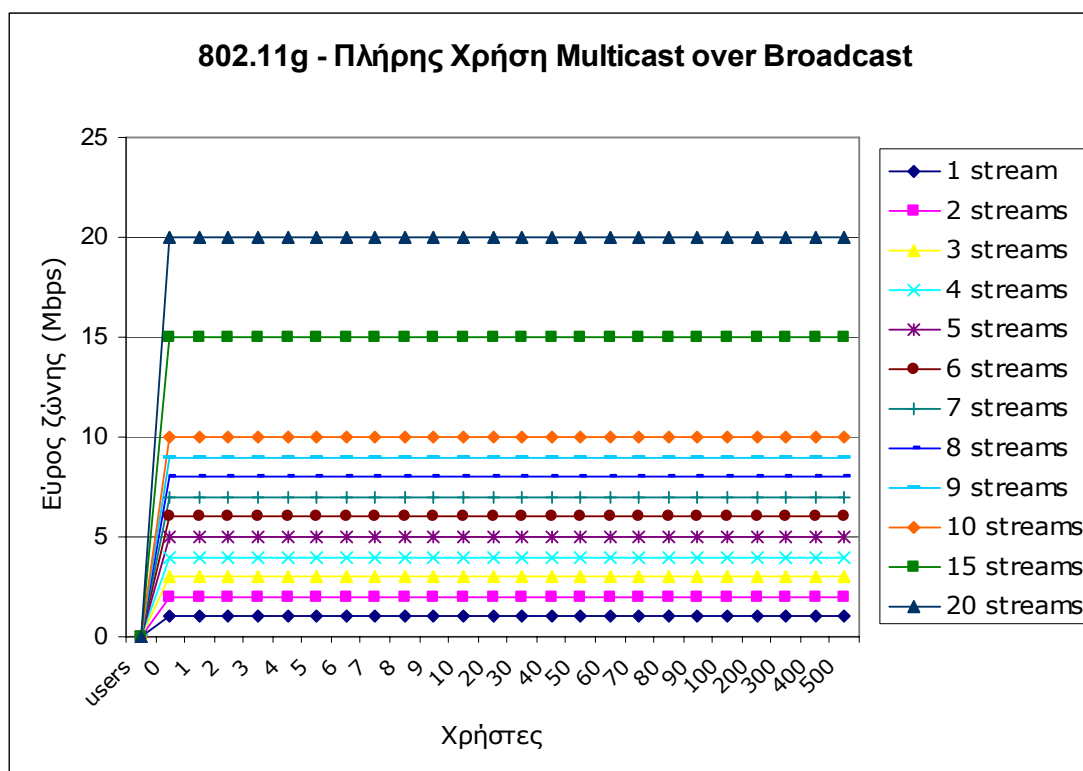
Διάγραμμα χρήσης εύρους ζώνης για μετάδοση πολλών streams με τη μέθοδο Multicast over Broadcast.



Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την απαίτηση σε bandwidth για τη μετάδοση μέχρι και 30 διαφορετικών media streams (κόκκινη γραμμή) και την πραγματική χρήση του εύρους ζώνης που γίνεται από αυτή τη μετάδοση των media streams (πράσινη γραμμή). Παρατηρούμε ότι για παραπάνω από 22 media streams, το εύρος ζώνης του καναλιού εξαντλείται και τα επιπλέον streams δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν.

Σε αυτό το διάγραμμα δεν εμφανίζεται καθόλου ο αριθμός των χρηστών δεδομένου ότι αυτός δεν συναρτάται με τη χρήση του εύρους ζώνης στο κανάλι. Μπορούμε να θεωρήσουμε όσο μεγάλο αριθμό χρηστών επιθυμούμε.

Τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι δυνατότητες μετάδοσης του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, για πολλούς χρήστες και πολλαπλές μεταδόσεις περιεχομένου.



Συγκεκριμένα, απεικονίζεται το εύρος ζώνης που καταναλώνεται στο δίκτυο όταν σε αυτό υπάρχουν από 0 → 500 χρήστες και από 1 → 20 διαφορετικά streams προς μετάδοση.

Παρατηρούμε ότι το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης στο ασύρματο κανάλι εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των ταυτοχρόνων διαφορετικών ευρυζωνικών μεταδόσεων στο δίκτυο και όχι από τον αριθμό των χρηστών που λαμβάνουν αυτές τις μεταδόσεις.

Το απαιτούμενο σε κάθε περίπτωση εύρος ζώνης είναι πολύ χαμηλότερο από το εύρος ζώνης που θα απαιτείτο για τη unicast μετάδοση σε 500 χρήστες 20 διαφορετικών multimedia streams. Το απαιτούμενο εύρος ζώνης στην τελευταία περίπτωση είναι 10 Gbps. Στην παραπάνω σύγκριση απαιτούμενου εύρους ζώνης θα πρέπει να

ληφθεί υπόψη ότι η μέθοδος που σχεδιάζεται και μελετάται σε αυτή την εργασία απαλείφει την εξάρτηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης από τον αριθμό των χρηστών του δικτύου.

4.6 Quality assurance

Στη μέθοδο Multicast over Broadcast η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται όχι στην IP address του client αλλά στην broadcast IP address του IP Subnet στο οποίο ανήκει ο client μαζί με άλλους. Όμως, ενώ στην μετάδοση με τη μέθοδο unicast από το Access Point προς έναν client με χρήση του Transport Control Protocol / Internet Protocol – TCP/IP **[25]** πρωτοκόλλου η ορθότητα της επικοινωνίας είναι διασφαλισμένη, αυτό δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί στην περίπτωση της μετάδοσης στην broadcast IP address του Subnet.

Το παραπάνω σημαίνει ότι το σύστημα δεν είναι δυνατό να αντιληφθεί τις εσφαλμένες μεταδόσεις από το Access Point προς τους clients και κατ' επέκταση να κάνει ενέργειες για διόρθωση των σφαλμάτων επικοινωνίας. Στην πράξη κάτι τέτοιο οδηγεί στην χρήση του πρωτοκόλλου User Datagram Protocol – UDP **[25]**, το οποίο ενδείκνυται για τη μετάδοση περιεχομένου, ευαίσθητου στις χρονικές καθυστερήσεις, όπως είναι το «ζωντανό» video. Είναι γνωστό ότι κατά τη μετάδοση ενός video stream, ένα video frame θεωρείται «παλιό» και είναι προτιμότερο να απορριφθεί αν ο χρόνος από τη στιγμή της δημιουργίας του μέχρι τη στιγμή της λήψης του από τον χρήστη είναι μεγαλύτερος από κάποιο χρονικό άνω όριο*.

*: π.χ. 40 msec στην μετάδοση από το Access Point στον client του ασυρμάτου δικτύου, ή 150 msec από-άκρη-σε-άκρη σε μία μετάδοση video από ένα video server στο Internet σε ένα client **[26]**

Ακριβώς γι' αυτό το λόγο είναι προτιμότερη η χρήση του UDP πρωτοκόλλου επικοινωνίας το οποίο δεν παρέχει καμία εγγύηση ποιότητας υπηρεσίας και δεν κάνει χρήση μηχανισμού διόρθωσης των σφαλμάτων μιας μετάδοσης. Στην πράξη, η μή ύπαρξη μηχανισμού αξιόπιστης μετάδοσης δεν είναι σημαντική για τρεις κύριους λόγους:

- Live media stream

Όπως έχουμε αναφέρει, ο προτεινόμενος μηχανισμός μετάδοσης είναι κατάλληλος για την μετάδοση του ίδιου ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες. Αυτό το κάνει ιδιαίτερα ελκυστικό για τη περίπτωση ταυτόχρονης μετάδοσης ζωντανών video streams, σε πολλούς χρήστες. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πιο σημαντικό ένα εσφαλμένο video frame να αγνοηθεί πλήρως, παρά το δίκτυο να προσπαθεί να το ανακτήσει, δεδομένου ότι συνεχώς δημιουργούνται νέα video frames για μετάδοση προς τους clients.

- Τοπικός χαρακτήρας του δικτύου

Στο σενάριο που εξετάζουμε υποθέτουμε ότι χρησιμοποιούμε ένα Access Point τεχνολογίας 802.11g. Ένας τέτοιος πομποδέκτης έχει εμβέλεια όχι περισσότερο από 300 μέτρα και απαραίτητη προϋπόθεση για τη μετάδοση είναι η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Κατά συνέπεια, η προτεινόμενη μέθοδος έχει εφαρμογή μόνο σε τοπικά ασύρματα δίκτυα.

Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ Access Point και clients, οι μεταδόσεις είναι σε μεγάλο βαθμό αξιόπιστες, ενώ στην περίπτωση που η λήψη ενός client δεν είναι καλή, ο τελευταίος μπορεί να μετακινήσει τη θέση του.

- Μοναδικός τρόπος μετάδοσης

Μεταδίδοντας video streams (και γενικότερα ευρυζωνικό περιεχόμενο) με τη μέθοδο Multicast over Broadcast, είμαστε σε θέση να μεταδώσουμε τα streams σε αριθμό χρηστών που με καμία άλλη μέθοδο δεν θα μπορούσαμε να επιτύχουμε. Με δεδομένο το παραπάνω θα μπορούσαμε να ανεχτούμε μερικά λάθη στην επικοινωνία.

Επιπλέον, ένας μηχανισμός ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων, θα προσέθετε επιπλέον φόρτο στο δίκτυό μας. Στην περίπτωση που οι χρήστες στο δίκτυο είναι λίγοι, ο επιπλέον φόρτος μπορεί να εξυπηρετηθεί. Επειδή όμως ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποσκοπεί κυρίως στην εξυπηρέτηση ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού χρηστών, ένα πρωτόκολλο ενημέρωσης του Access Point σχετικά με τη σωστή ή όχι λήψη των πακέτων από τους clients, θα προκαλούσε ιδιαίτερο φόρτο μηνυμάτων στο Access Point και αδυναμία του να επεξεργαστεί τα μηνύματα αυτά.

4.7 Εξυπηρέτηση της Unicast κίνησης

Κάνοντας χρήση της μεθόδου Multicast over Broadcast επιτυγχάνουμε την ταυτόχρονη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχόμενου στους χρήστες ενός δικτύου με σημαντική εξοικονόμηση των απαιτούμενων πόρων του δικτύου. Ένα ζήτημα σε αυτή τη περίπτωση, είναι πως επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η χρήση του δικτύου για την μετάδοση unicast κίνησης. Η τελευταία υπάρχει πάντα σε ένα δίκτυο υπολογιστών.

Η μετάδοση της unicast κίνησης στο δίκτυο μπορεί να εξυπηρετηθεί από το Access Point κάνοντας χρήση των IP addresses τα οποία έχουν αποδοθεί στους clients. Η μετάδοση της unicast

κίνησης δεν επηρεάζεται από τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου για την multicast μετάδοση του ευρυζωνικού περιεχομένου.

Κάτι το οποίο χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου για τις unicast μεταδόσεις. Στην περίπτωση που το Access Point μεταδίδει στην broadcast IP address ενός group, χρειάζεται να διασφαλιστεί το εύρος ζώνης γι' αυτή τη μετάδοση και να μην είναι δυνατό η unicast κίνηση ενός χρήστη να το επηρεάσει.

Γίνεται κατανοητό ότι αφενός θα πρέπει να διασφαλιστεί το απαιτούμενο εύρος ζώνης για την μετάδοση του video έναντι της μετάδοσης unicast κίνησης, αφετέρου θα πρέπει να είναι σε θέση ο χρήστης να γνωρίζει την κατάσταση του δικτύου ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η σύνδεσή του με αυτό για την εξυπηρέτηση unicast κίνησης. Στην δεύτερη περίπτωση αναλύεται και περιγράφεται παρακάτω σύντομη λύση στο πρόβλημα της ενημέρωσης του χρήστη.

Η προτεραιότητα των πακέτων μετάδοσης του πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου έναντι της οποιαδήποτε unicast κίνησης είναι δεδομένη λόγω της φύσης της μετάδοσης, η οποία συνήθως αντιστοιχεί στην μετάδοση video υψηλής ποιότητας. Ακριβώς όμως επειδή ένα video stream χρειάζεται απόλυτη προτεραιότητα έναντι οποιασδήποτε άλλης κίνησης, η παροχή προτεραιότητας σε αυτό, δεν είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Ένας αλγόριθμος ο οποίος θέτει πρώτα στην ουρά αναμονής τα πακέτα των πολυμεσικών μεταδόσεων (priority queuing) κάνοντας ουσιαστικά rolling μεταξύ των ουρών που περιέχουν την πληροφορία του ευρυζωνικού περιεχομένου, θα έλυσε το πρόβλημα. Αναλυτικότερα, ένας τέτοιος αλγόριθμος, θα έθετε σε προτεραιότητα τις ουρές των ευρυζωνικών μεταδόσεων, οι οποίες θα μετέδιδαν με μία συγκεκριμένη σειρά, και το μη χρησιμοποιούμενο bandwidth του καναλιού θα αποδίδονταν στις ανάγκες των unicast μεταδόσεων. Σε μία τέτοια περίπτωση, το μη χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης θα χρησιμοποιούνταν για την μετάδοση της unicast κίνησης των χρηστών, αλλά αν αυτό δεν είναι

αρκετό, ή οι χρήστες με unicast κίνηση είναι πολλοί, θα έχουμε φαινόμενα starvation.

4.8 Άνω Όρια Απόδοσης της προτεινόμενης μεθόδου

Έχοντας ξεπεράσει τον περιορισμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης για την ταυτόχρονη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες και εξαλείφει την εξάρτηση μεταξύ του απαιτούμενου εύρους ζώνης και του αριθμού των ταυτοχρόνων δεκτών, είναι σημαντικό να διαπιστώσουμε τα όρια απόδοσης της μεθόδου.

Με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου, διαπιστώσαμε ότι υπάρχει πλέον εξάρτηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης και του αριθμού των ταυτοχρόνων μεταδόσεων.

Για να εξυπηρετηθεί μία συγκεκριμένη ομάδα ταυτόχρονων πολυμεσικών μεταδόσεων αρκεί να γνωρίζουμε το απαιτούμενο εύρος ζώνης της κάθε μετάδοσης που θα εξυπηρετηθεί (BW_a, BW_b, \dots) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού επικοινωνίας προς τους clients (BW_{ch}). Αν το άθροισμα του απαιτούμενου εύρους ζώνης των επιμέρους διαφορετικών μεταδόσεων είναι μικρότερο από το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού, τότε η μετάδοση μπορεί να επιτευχθεί.

$$BW_{ch} \geq (BW_a + BW_b + BW_\gamma + BW_\delta + BW_{\sigma\tau} + \dots + BW_v)$$

Στην παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι δεν υπεισέρχεται ο αριθμός των χρηστών που παρακολουθούν τις ταυτόχρονες μεταδόσεις. Επίσης, στην παραπάνω σχέση δεν έχουν ληφθεί υπόψη παράγοντες όπως η κίνηση που παρουσιάζεται στο δίκτυο από την μετάδοση των πακέτων επικοινωνίας μεταξύ του DHCP server και των DHCP

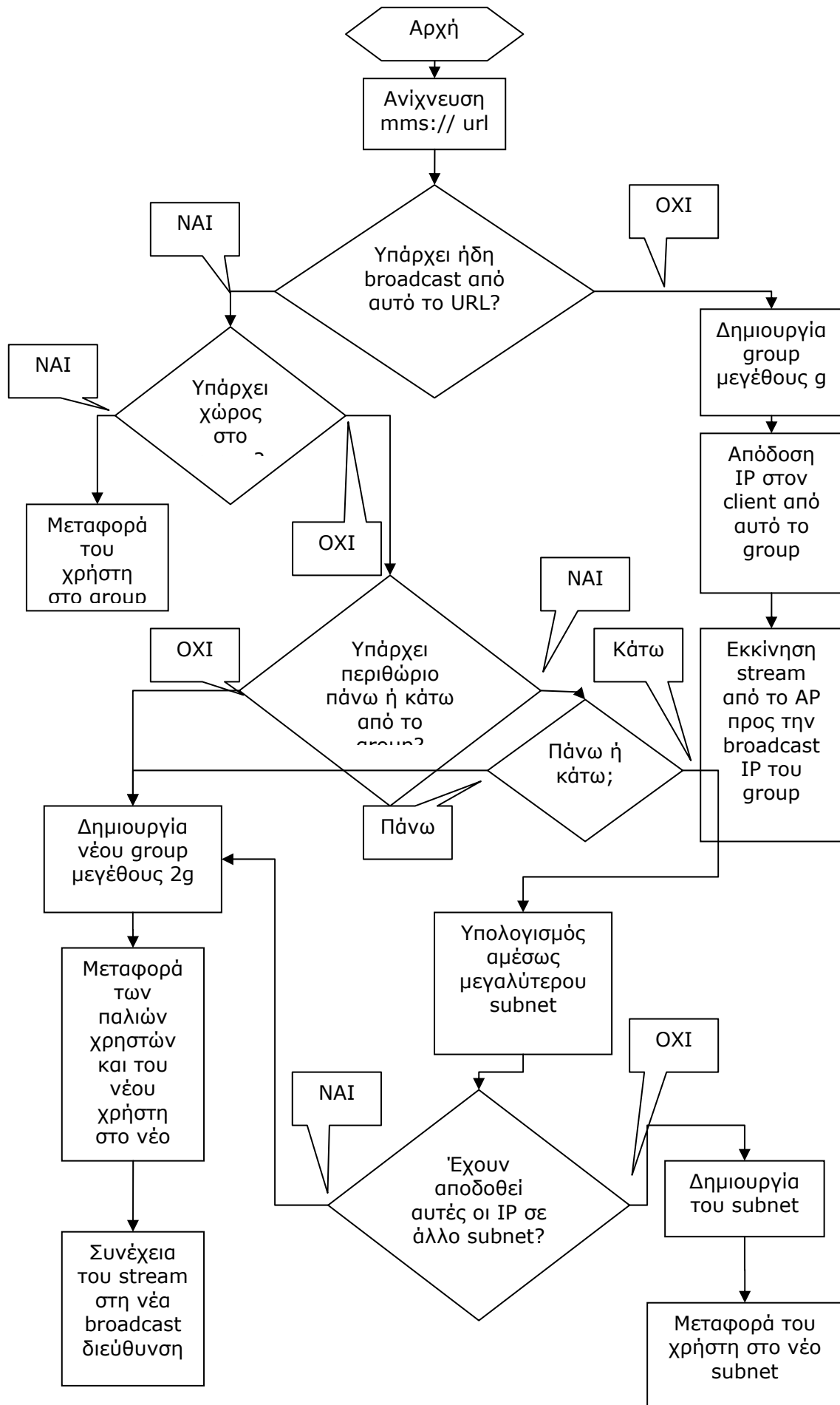
clients. Αυτές οι μεταδόσεις αποτελούν ένα πολύ μικρό μέρος της συνολικά μεταδιδόμενης πληροφορίας στο δίκτυο, κατά συνέπεια το απαιτούμενο για αυτές εύρος ζώνης μπορεί να αγνοηθεί.

Οι παραπάνω μεταδόσεις μεταξύ του DHCP server και των DHCP clients αρχίζουν να γίνονται σημαντικές από άποψης φόρτου στο δίκτυο όταν αυτό χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα χρηστών οι οποίοι ζητούν τη λήψη video streams. Είναι φανερό, ότι δεν αντιστοιχεί σε κίνηση αισθητού όγκου το negotiation μεταξύ του DHCP server και του DHCP client, αλλά μπορεί να αποτελέσει σημαντική κίνηση στο δίκτυο η επικοινωνία μεταξύ του DHCP server και μερικών χιλιάδων DHCP clients*.

4.9 Αλγόριθμος της μεθόδου Multicast over Broadcast

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνολική λειτουργία του αλγορίθμου της μεθόδου Multicast over Broadcast για την μετάδοση πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου.

*: Συνήθως οι clients δεν φτάνουν αυτόν τον αριθμό, αλλά εδώ θεωρούμε την ακραία περίπτωση όπου η εμβέλεια του Access Point έχει αυξηθεί με τη χρήση κεραιοσυστημάτων εξυπηρετώντας έναν πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών.



Αξιζει να τονιστεί ένα σημαντικό σημείο στο παραπάνω διάγραμμα. Αυτό είναι το σημείο κατά το οποίο γίνεται η δρομολόγηση της ροής ανάλογα με την ύπαρξη περιθωρίου επέκτασης του IP Subnet προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Σε αυτό το σημείο, στην περίπτωση που η επέκταση μπορεί να γίνει μόνο προς τα πάνω, τότε η διαδικασία δρομολογείται στον ίδιο δρόμο με την περίπτωση που δεν υπάρχει χώρος στο group.

Παρόλο που υπάρχει χώρος για την επέκταση του group προς τα πάνω, επειδή κάτι τέτοιο σημαίνει αλλαγή της Broadcast IP address του IP Subnet, πρέπει να αλλάξει συνολικά το group. Σε αυτή τη περίπτωση, όλοι οι χρήστες θα πρέπει να ανανεώσουν τις δικτυακές τους ρυθμίσεις με τις αντίστοιχες νέες.

4.10 Προσομοιωτής

Για την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας του αλγορίθμου και την υλοποίηση του σε προγραμματιστικό περιβάλλον κατασκευάστηκε προσομοιωτής ο οποίος υλοποιεί την λειτουργία του προτεινόμενου αλγορίθμου. Ο προσομοιωτής υλοποιεί σε ένα τμήμα του το πρωτόκολλο DHCP έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η επικοινωνία μεταξύ των clients και του server σε επίπεδο DHCP.

Η επικοινωνία μεταξύ του DHCP server και των clients καταγράφεται σε μία βάση δεδομένων, έτσι ώστε να είναι εύκολη η ανάκτηση και η επεξεργασία της πληροφορίας. Κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας των δικτύων και για την εύκολη διαχείριση και παρακολούθησή του, ώστε τα Κέντρα Ελέγχου και Διαχείρισης Δικτύου (Network Operation Centers - NOCs) να έχουν άμεση αποτύπωση της κατάστασης.

Σαν βάση δεδομένων επιλέχθηκε η MySQL και σαν περιβάλλον προγραμματισμού, το εργαλείο MATLAB **[27]**. Ο λόγος που

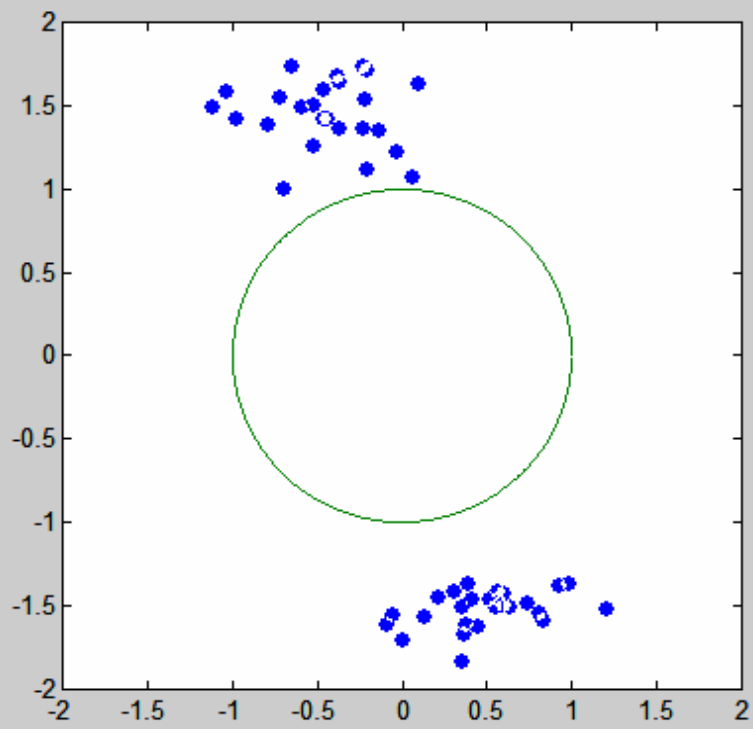
επιλέχθηκε η MySQL ήταν ο open source κώδικάς της και τα ποικίλα εργαλεία διαχείρισής της που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως για παράδειγμα το MySQL Control Center. Το MySQL Control Center δίνει τη δυνατότητα εύκολης διαχείρισης της βάσης, εύκολης πρόσβασης της πληροφορίας και εύκολης αλλαγής τρόπου παρουσίασης και διαχείρισης των αποτελεσμάτων.

Το εργαλείο MATLAB κρίθηκε κατάλληλο για τη χρήση του στον προσομοιωτή λόγω της ευκολίας λειτουργίας του με πίνακες. Ο προσομοιωτής κρατάει στοιχεία για τη θέση του κάθε χρήστη στο χώρο καθώς αυτός κινείται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αρκετά μεγάλου όγκου πληροφορίας των συντεταγμένων θέσης του συνόλου των χρηστών. Η δυνατότητα του MATLAB να διαχειρίζεται εύκολα πίνακες μεγάλου αριθμού στοιχείων, έκανε το MATLAB κατάλληλο εργαλείο.

Ο προσομοιωτής δημιουργεί ένα εικονικό περιβάλλον στο οποίο οι χρήστες ξεκινούν αρχικά εκτός της εμβέλειας του Access Point και κινούμενοι σταδιακά εισέρχονται σε αυτό. Κατά την είσοδο ενός χρήστη στην εμβέλεια του Access Point, αυτό γίνεται αντιληπτό από το πρόγραμμα και ξεκινάει η διαδικασία απόδοσης IP διεύθυνσης στον χρήστη. Στη συνέχεια θεωρούμε ότι ο χρήστης επιλέγει τυχαία να λάβει κάποιο video stream. Η IP διεύθυνση που λαμβάνει από τον DHCP server είναι ανάλογη του stream που έχει επιλέξει να παρακολουθήσει.

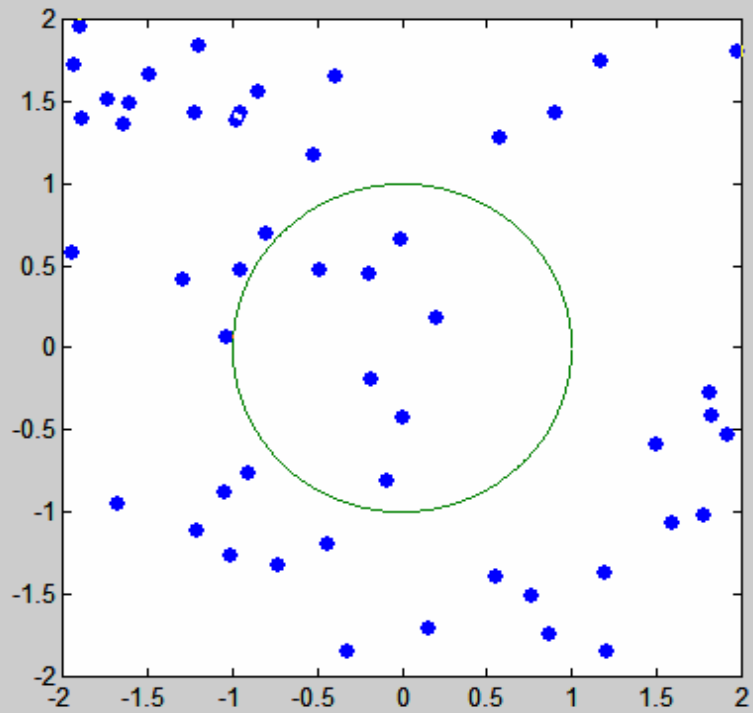
Το μοντέλο κινητικότητας που αναπτύχθηκε για την κίνηση των χρηστών κάνει χρήση της συνάρτησης `randn` του MATLAB η οποία γεννά τυχαίους αριθμούς ομοιόμορφα κατανομημένους με μέσο όρο πιθανότητας 0, διασπορά $\sigma^2 = 1$ και απόκλιση $\sigma = 1$.

Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε την αναπαράσταση από τον προσομοιωτή όταν οι clients βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του Access Point (εικόνα 4.10.1) και όταν μερικοί από αυτούς έχουν εισέλθει στην εμβέλεια του Access Point (εικόνα 4.10.2).



Εικόνα 4.10.1

Οι clients βρίσκονται αρχικά εκτός της εμβέλειας του AP



Εικόνα 4.10.2

Οι clients μετακινούνται σταδιακά εντός της εμβέλειας του AP

5 Κρίσιμα Θέματα Λειτουργίας

Με τη χρήση της μεθόδου Multicast over Broadcast για την ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ενός ή παραπάνω media streams προκύπτουν διάφορα ζητήματα μερικά από τα οποία αντιστοιχούν σε θέματα μελλοντικής επέκτασης της εργασίας.

Μερικά από τα ζητήματα αυτά περιγράφονται και αναλύονται παρακάτω. Μελλοντικά, σε κάποια από αυτά θα υπάρξει περαιτέρω μελέτη και πειραματική αξιολόγηση.

5.1 Μελέτη των επιπτώσεων κατά την επέκταση του IP Subnet «προς τα κάτω».

Όπως αναφέρθηκε στο 4^ο κεφάλαιο και στο σημείο του κορεσμού των IP διευθύνσεων, μία έξυπνη μέθοδος για την επέκταση του IP Subnet ώστε να είναι εφικτή η λήψη του media stream από περισσότερους χρήστες, είναι αυτή η επέκταση να γίνει προς τα κάτω.

Σε μία τέτοια περίπτωση, η broadcast διεύθυνση δεν αλλάζει με αποτέλεσμα οι παλιότεροι χρήστες να μην χρειάζεται να ανανεώσουν τις ρυθμίσεις στις κάρτες δικτύου τους. Όμως σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται το φαινόμενο οι χρήστες ενός group να χωρίζονται σε νέους και παλαιούς.

Νέους χρήστες μπορούμε να θεωρήσουμε όλους τους χρήστες που εντάχθηκαν στο δίκτυο μετά από τον πρώτο χρήστη ο οποίος με την είσοδό του προκάλεσε την επέκταση του δικτύου. Αυτός ο πρώτος χρήστης είναι ο «*κρίσιμος χρήστης*» και εντάσσεται και αυτός στην ομάδα των νέων χρηστών. Οι νέοι χρήστες γνωρίζουν με ακρίβεια την έκταση του IP Subnet στο οποίο ανήκουν εφόσον ο

DHCP server (ή το Access Point) τους ανέθεσε τις νέες IP διευθύνσεις.

Οι παλαιότεροι χρήστες, έχουν μία λαθεμένη θεώρηση για τα χαρακτηριστικά του IP Subnet τους και γι' αυτό η συγκεκριμένη περίπτωση χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Στους παλαιότερους χρήστες είχαν ανατεθεί από τον DHCP server χαρακτηριστικά του IP δικτύου (IP address, Subnet MASK) τα οποία χαρακτήριζαν ένα δίκτυο συγκεκριμένης χωρητικότητας σε Clients. Καθώς η ανάγκη για είσοδο στο group περισσότερων clients εμφανίστηκε, στους νέους clients ανατέθηκε το νέο subnet με μία επέκταση του παλιού subnet «προς τα κάτω». Οι παλαιοί χρήστες δεν έχουν ενημερωθεί γι' αυτή την επέκταση του IP Subnet τους, διότι κάτι τέτοιο θα σήμαινε μία επικοινωνία για ανάθεση IP διεύθυνσης από τον DHCP server από την αρχή. Κατ' επέκταση, η επικοινωνία των παλαιών clients με το δίκτυο θα έπαυε και οι υπηρεσίες ζωντανής μετάδοσης δεν θα λειτουργούσαν.

Είναι σημαντικό να μελετηθούν προσεκτικά οι επιπτώσεις που παρουσιάζονται σε ένα δίκτυο όταν υπάρχουν «παλαιοί» και «νέοι» χρήστες και κατά πόσο κάτι τέτοιο σημαίνει ότι η μέθοδος «επέκτασης προς τα κάτω» μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε ένα πραγματικό δίκτυο.

5.2 Έξυπνος αλγόριθμος προσαρμογής του δικτύου στη ζήτηση των streams

Ένα σημαντικό σημείο στην μέθοδο επικοινωνίας που προτείνεται σε αυτήν την εργασία είναι ο τρόπος δημιουργίας των IP Subnets. Μία πρακτική προσέγγιση του ζητήματος θα μπορούσε να συνίσταται στη δημιουργία IP Subnets τέτοιου μεγέθους, ώστε στην πλήρη έκτασή τους να είναι σε θέση να καλύψουν συνολικά όλο το διαθέσιμο IP range για τις διαφορετικές μεταδόσεις.

Για παράδειγμα, αν έχουμε ευρυζωνικές μεταδόσεις multimedia streams ρυθμού μετάδοσης 1 Mbps και το πρωτόκολλο ασύρματης μετάδοσης είναι το 802.11g, θα μπορούμε να δημιουργήσουμε το πολύ 20 groups ταυτοχρόνων διαφορετικών μεταδόσεων. Άρα σε ένα διαθέσιμο C class από IP addresses για τις πολυμεσικές μεταδόσεις, θα μπορούσαμε να χωρίσουμε τις 254 διαθέσιμες IP addresses σε 20 ομάδες. Αν υπολογίσουμε ότι σε κάθε Subnet έχουμε 2 δεσμευμένες IP addresses (local & broadcast), τότε οι διαθέσιμες IP διευθύνσεις που θα αποδοθούν σε groups είναι $254 - 40 = 214$. Εφόσον θα δημιουργήσουμε 20 groups, τότε το κάθε group θα μπορεί να έχει στη διάθεσή του 10 IP addresses ($214/20 = 10.7$). Κατά συνέπεια, το κάθε IP Subnet μπορεί να εξυπηρετήσει το πολύ 10 χρήστες. Στην πράξη όμως τίθεται το ερώτημα κατά πόσο θα πρέπει να μοιραστούν οι χρήστες ισάριθμα σε αυτά τα groups;

Στην περίπτωση ενός μεγάλου ζωντανού event το οποίο μεταδίδεται από το δίκτυο, το πιο πιθανό είναι να υπάρξει στο τέλος ένα πολυπληθές group και τα υπόλοιπα να είναι πολύ μικρότερα. Σε μία τέτοια περίπτωση, θα ήταν καλό να γνωρίζουμε από πριν τέτοιου είδους events και να ρυθμίσουμε κατάλληλα τη συμπεριφορά του δικτύου. Η συμπεριφορά του DHCP server σε τέτοια περίπτωση θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να δημιουργεί αρχικά ένα μεγάλο IP Subnet για την υποστήριξη των clients που επιθυμούν λήψη του συγκεκριμένου stream, αλλά και η επέκτασή του θα πρέπει να μπορεί να γίνει με τη μικρότερη δυνατή απώλεια προς την πλευρά των clients.

Τέλος, πρέπει να συμπληρωθεί ότι τα τοπικά δίκτυα στα οποία απευθύνεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος, όσον αφορά την παροχή IP διευθύνσεων, στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν τη δυνατότητα της χρήσης private IP διευθύνσεων. Ένα από τα private IP Subnets που υπάρχουν είναι και το A class 10.0.0.0/8. Το συγκεκριμένο A class IP subnet συμπεριλαμβάνει τις IP διευθύνσεις από 10.0.0.1 έως και 10.255.255.254. Αυτό δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας αρκετά

μεγάλων IP Subnets (χωρητικότητας 16 εκ. χρηστών), ώστε η ανάγκη της επέκτασής του να εξαλειφθεί στην πράξη. Σύμφωνα με αντίστοιχους υπολογισμούς από το προηγούμενο παράδειγμα η χρήση του A class Subnet μπορεί να εξυπηρετήσει 20 groups των περίπου 780 χιλιάδων χρηστών το καθένα. Κατά συνέπεια, ο έξυπνος αλγόριθμος δημιουργίας Subnets κατά βούληση να ίσως μην έχει νόημα στην πράξη αν η χρήση του A class Subnet μπορεί να γίνει εύκολα.

5.3 Μελέτη πιθανών προβλημάτων της επικοινωνίας μεταξύ του Access Point και των clients εξαιτίας της χρήσης διαφορετικών broadcast διευθύνσεων.

Όπως αναφέρθηκε στο 4^ο κεφάλαιο, το Access Point ανήκει σε ένα IP Subnet γενικότερης μορφής από τα IP Subnets στα οποία ανήκουν οι χρήστες που παρακολουθούν τα διαφορετικά video streams. Το IP Subnet στο οποίο ανήκει το Access Point, αποτελεί ένα υπερσύνολο IP διευθύνσεων των υποσυνόλων των IP διευθύνσεων που αποδίδονται στα broadcast groups. Αυτό σημαίνει, ότι η broadcast IP του κάθε IP Subnet είναι διαφορετική από την Broadcast IP των άλλων Subnets και διαφορετική από την broadcast IP του Access Point.

Η διαφορά των broadcast IP διευθύνσεων, ενδέχεται να έχει ή να παρουσιάσει διάφορα προβλήματα λειτουργίας, τα οποία προέρχονται από την χρήση του πρωτοκόλλου IP με διαφορετικό τρόπο απ' ό,τι συνήθως. Είναι δεδομένο ότι η χρήση του IP πρωτοκόλλου στην προτεινόμενη μέθοδο μετάδοσης δεν είναι η συμβατική. Με τη χρήση όμως αυτή επιτυγχάνεται η συμβατότητα με τα υπάρχοντα δίκτυα και αν η μέθοδος δεν παρουσιάζει προβλήματα στην πράξη ή τα όποια προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν,

τότε η προτεινόμενη μέθοδος θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σε κάθε περίπτωση το ζήτημα αυτό πρέπει να μελετηθεί.

5.4 Χρήση κατάλληλης client εφαρμογής για το reallocation του IP Subnet

Στην παράγραφο 5.1 έγινε λόγος για την «επέκταση προς τα κάτω» του IP Subnet με τη χρήση της οποίας μπορεί να υπάρξει η δυνατότητα της επέκτασης του Subnet χωρίς να διακοπεί η επικοινωνία των χρηστών. Στην περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, τότε παρουσιάζεται το πρόβλημα της διακοπής της επικοινωνίας μεταξύ του δικτύου και των χρηστών που συμμετέχουν στην λήψη της αντίστοιχης μετάδοσης. Η διακοπή αυτή έχει διάρκεια ίση με το χρόνο που θα απαιτηθεί, μέχρι ο DHCP client να λάβει και να εφαρμόσει στο λειτουργικό σύστημα τις νέες ρυθμίσεις διευθυνσιοδότησης.

Το πρωτόκολλο DHCP σύμφωνα με το RFC 2132 ορίζει την απάντηση του DHCP server (DHCPOFFER) αμέσως μόλις αυτός αντιληφθεί ένα DHCPDISCOVER μήνυμα στο δίκτυό του. Κατά συνέπεια, ο client που αναζητά ρυθμίσεις για την IP διεύθυνσή του από το δίκτυο, λαμβάνει σχετική απάντηση αρκετά σύντομα. Επίσης, το πρωτόκολλο δίνει τη δυνατότητα στον client να περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα, ώστε να λάβει απαντήσεις και από άλλους DHCP servers και να επιλέξει την «καλύτερη». Ο λόγος της λειτουργίας του client με τέτοιο τρόπο είναι να δίνεται η δυνατότητα κατασκευής δικτύων με περισσότερους από έναν DHCP servers.

Η αναμονή ενός DHCP client προκειμένου να ακούσει τις απαντήσεις των πιθανών DHCP servers είναι συνήθως ίση με 2 δευτερόλεπτα. Κατά συνέπεια, σε πιθανή επαναδιευθυνσιοδότηση η σύνδεση με το δίκτυο των παλιών χρηστών θα διακοπεί για τουλάχιστον 2 δευτερόλεπτα. Δεδομένου ότι στην περίπτωσή μας

θεωρήσαμε ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο ενός DHCP server, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αναμονή για περισσότερες της μίας απαντήσεις μπορεί να εξαλειφθεί.

Τα παραπάνω, μπορούν να επιτευχθούν μόνο με την εγκατάσταση κατάλληλου DHCP client στους χρήστες, ο οποίος μπορεί να επιτυγχάνει μικρότερους τελικούς χρόνους επαναδιευθυνσιοδότησης. Ο DHCP client μπορεί να είναι μία εφαρμογή την οποία θα εγκαθιστά ο χρήστης προκειμένου να εξαλειφθεί το πρόβλημα της καθυστέρησης στην επαναδιευθυνσιοδότηση. Η εγκατάσταση μίας τέτοιας εφαρμογής μπορεί να γίνει εύκολα και να πραγματοποιηθεί από το ίδιο το Access Point το οποίο θα αποστείλει την εφαρμογή στον client.

5.5 Χρήση κατάλληλης client εφαρμογής για την αναγνώριση της υπερχρησιμοποίησης των πόρων του δικτύου

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.8 κατά τη χρήση του δικτύου για unicast μεταδόσεις ενδέχεται να παρουσιαστούν προβλήματα έλλειψης διαθέσιμου εύρους ζώνης. Η προτεινόμενη μέθοδος επιτρέπει την μετάδοση πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες με αποτέλεσμα, να είναι πιθανή η είσοδος μεγάλου αριθμού χρηστών στο δίκτυο ώστε να μην είναι δυνατό να υποστηριχθούν καθόλου οι unicast μεταδόσεις των χρηστών. Πρακτικά, με την προτεινόμενη μέθοδο μπορεί να εξυπηρετηθεί ένας μεγάλος αριθμός χρηστών, οι οποίοι όμως θα έχουν πρακτικά διαθέσιμο μηδενικό εύρος ζώνης για τις όποιες unicast μεταδόσεις τους.

Αυτό διότι όλο το διαθέσιμο συνολικό εύρος ζώνης του δικτύου καταναλώνεται για την εξυπηρέτηση των multimedia groups. Κάτι τέτοιο, μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι ανεκτό δεδομένου ότι

η προτεινόμενη μέθοδος σχεδιάστηκε με στόχο την χρήση της για συγκεκριμένες εφαρμογές, θα ήταν επιθυμητή όμως η ενημέρωση των χρηστών σε περιπτώσεις που παρατηρείται starvation.

Η ενημέρωση του χρήστη, μπορεί να γίνει κατά την είσοδό του ή κατά τη διάρκεια της παραμονής του στο δίκτυο και να περιλαμβάνει ένδειξη του φόρτου του δικτύου, ώστε ο χρήστης να είναι σε θέση να αντιληφθεί τις πραγματικές συνθήκες επικοινωνίας. Για την υλοποίηση αυτής της ενημέρωσης μπορεί να γίνει χρήση του πεδίου "options" του DHCP πρωτοκόλλου (RFC2132) [22]. Το πεδίο options, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον DHCP server για να ενημερώσει τους χρήστες για το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου. Για να γίνει δυνατή η κατάλληλη «αποκωδικοποίηση» του μηνύματος, είναι αναγκαία η χρήση ειδικού προγράμματος το οποίο θα μπορεί να μεταφέρει αυτά τα μηνύματα από το δίκτυο στο χρήστη.

5.6 Επεξεργασία / Διαχείριση χρηστών

Η προτεινόμενη μέθοδος απαιτεί τη λειτουργία του αλγορίθμου σε κάποιο server στο δίκτυο ή στο Access Point. Είναι δυνατή η εγκατάσταση της εφαρμογής στο Access Point και η ανάθεση σε αυτό όλων των εργασιών που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη χρήση και λειτουργία του δικτύου.

Κατά συνέπεια, το Access Point, μπορεί να είναι επιφορτισμένο με την ανάθεση των δικτυακών ρυθμίσεων στους clients (DHCP server), με τη διαχείριση των IP Subnets και των χρηστών μέσα σε αυτά (IP renumbering) και φυσικά να λειτουργεί και σαν πομποδέκτης παρέχοντας όλες τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου 802.11g. Είναι προφανής σε αυτή την περίπτωση ο φόρτος τον οποίο καλείται να ανταπεξέλθει το Access Point. Βέβαια, τα Access Points που έχουν εμφανιστεί τελευταία στην αγορά, είναι εξοπλισμένα με ισχυρούς επεξεργαστές και ικανή μνήμη και είναι πολύ πιθανό ότι μπορούν να ανταπεξέλθουν στις παραπάνω απαιτήσεις.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί ότι από τη φύση της η προτεινόμενη μέθοδος δεν απαιτεί την επεξεργασία πληροφοριών στην περίπτωση που το δίκτυο είναι σε «σταθερή κατάσταση». Σαν τέτοια, ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία δεν εισέρχονται νέοι χρήστες στο δίκτυο, ή δεν επιζητούν νέοι χρήστες την παρακολούθηση κάποιας πολυμεσικής μετάδοσης.

Αντίθετα, απαιτείται επεξεργασία των πληροφοριών και δημιουργία αποτελεσμάτων από το Access Point στην περίπτωση που έχουμε νέοι εισερχόμενους χρήστες στο δίκτυο ή χρήστες οι οποίοι επιλέγουν τη παρακολούθηση κάποιας πολυμεσικής μετάδοσης. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η προτεινόμενη μέθοδος, δεν έχει όρια επεξεργαστικής ισχύος ανάλογα με το πλήθος των χρηστών που καλείται να υποστηρίξει, αλλά ανάλογα με τον ρυθμό με τον οποίο χρήστες εισέρχονται στο δίκτυο.

6 Επίλογος

Σε αυτήν την εργασία έγινε η επινόηση, η περιγραφή και ο σχεδιασμός ενός αλγορίθμου ο οποίος υποστηρίζει την ταυτόχρονη μετάδοση πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες. Το κυριότερο ενδιαφέρον στοιχείο του αλγορίθμου έγκειται στη δυνατότητά του να επιτυγχάνει μετάδοση πληροφορίας σε μεγάλο αριθμό χρηστών, χωρίς να επιφορτίζει το δίκτυο με αντίστοιχο κόστος σε απαιτούμενο εύρος ζώνης.

Για την πιστοποίηση της λειτουργίας του αλγορίθμου δημιουργήθηκε προσομοιωτής που κάνει χρήση του εργαλείου MATLAB, ενώ τα αποτελέσματα αποθηκεύτηκαν σε βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε γι' αυτό το σκοπό και λειτουργεί στην πλατφόρμα MySQL.

Στα πλαίσια της εργασίας εξετάστηκαν διαφορετικά σενάρια και παρουσιάστηκαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα χρήσης του εύρους ζώνης του δικτύου. Επιπλέον, εντοπίστηκαν και συζητήθηκαν σημαντικά σημεία για την επιτυχημένη λειτουργία του αλγορίθμου στα οποία πρέπει να γίνει περαιτέρω μελέτη.

Το επόμενο βήμα μετά από αυτή την εργασία είναι η ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου το οποίο θα λειτουργεί με βάση τον αλγόριθμο και θα είναι σε θέση να επιτύχει σε πραγματικές συνθήκες την ταυτόχρονη μεταφορά πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου σε ασύρματα τοπικά δίκτυα. Ένα τέτοιο πρωτότυπο, μπορεί να είναι το firmware ενός Access Point, το οποίο θα είναι σε θέση να εκτελέσει τα βήματα του αλγορίθμου της προτεινόμενης μεθόδου. Από την ανάπτυξη αυτού του πρωτοτύπου αναμένονται σημαντικά αποτελέσματα και μετρήσεις οι οποίες θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην παραπέρα εξέλιξη της μεθόδου.

6.1 Κύρια Συμπεράσματα και Συνεισφορά της Εργασίας

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι κατάλληλος για την ταυτόχρονη μετάδοση πολυμεσικού ευρυζωνικού περιεχομένου σε δίκτυο με hub, στο οποίο όλοι οι χρήστες ανήκουν σε κοινό broadcast domain. Τέτοια δίκτυα με μεγάλη ανάπτυξη τελευταία είναι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα WiFi. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είναι κατά κανόνα δίκτυα χαμηλού συνολικού ρυθμού μετάδοσης και η ταυτόχρονη μετάδοση πολυμεσικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες πάνω από αυτά είναι πολύ δύσκολη με τις συμβατικές μεθόδους.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση του περιεχομένου σε οσοδήποτε μεγάλο αριθμό χρηστών. Όμως ο αλγόριθμος δεν μπορεί να μεταδώσει οσοδήποτε μεγάλο αριθμό multimedia streams, αλλά περιορίζεται από τα φυσικά όρια του ασύρματου πρωτοκόλλου.

Το δίκτυο ενδέχεται να παρουσιάσει λόγω ορίων της επεξεργαστικής του ισχύος του Access Point (το οποίο είναι και ο διαχειριστής του αλγορίθμου) όρια στο ρυθμό με τον οποίο μπορούν να εισέρχονται οι χρήστες στο δίκτυο. Στην περίπτωση που ο αριθμός των χρηστών στο δίκτυο δεν μεταβάλλεται πολύ γρήγορα, το Access Point εξυπηρετεί τους χρήστες χωρίς σημαντικό επεξεργαστικό φόρτο.

Ο προτεινόμενος σε αυτή την εργασία αλγόριθμος επιτυγχάνει την ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση ευρυζωνικού περιεχομένου σε πολλούς χρήστες. Κάνοντας χρήση ήδη υπαρχόντων πρωτοκόλλων μετάδοσης και μεταφοράς, αλλά με τρόπο ο οποίος εκμεταλλεύεται τις φυσικές ιδιαιτερότητες των ασύρματων δικτύων, γίνεται δυνατή η λήψη του μεταδιδόμενου περιεχομένου από μεγάλο αριθμό χρηστών χωρίς αντίστοιχα μεγάλη απαίτηση bandwidth του δικτύου.

6.1 Επεκτάσεις

Η κατασκευή πρωτοτύπου για τον έλεγχο της λειτουργίας του αλγορίθμου σε πραγματικές συνθήκες είναι επιτακτική. Στα πλαίσια αυτά μπορεί να γίνει χρήση δικτυακού εξοπλισμού ο οποίος λειτουργεί με firmware «ανοιχτού κώδικα» με βάση την άδεια General Public Licence GPL [28]. Τέτοιου είδους εξοπλισμός επιδέχεται αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του.

Η κατασκευή πρωτοτύπου και ο έλεγχος σε πραγματικές συνθήκες του αλγορίθμου ενδέχεται να φέρουν στο προσκήνιο ζητήματα που δεν έχουν ως τώρα αναδειχθεί, αλλά κυρίως να δώσουν απάντηση στα ερωτήματα τα οποία εμφανίστηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας και τα οποία έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 5.

Τέλος, ένα αρκετά ενδιαφέρον θέμα που αξίζει να μελετηθεί, είναι η χρήση περισσότερων των ενός Access Point, ώστε να είναι δυνατή η εξυπηρέτηση περισσότερων των 20 ταυτόχρονων μεταδόσεων. Το εύρος συχνοτήτων που έχει αποδοθεί στην μπάντα των 2.4 GHz επιτρέπει την τοποθέτηση έως και τριών Access Points στο ίδιο σημείο, χωρίς την παρεμβολή του ενός από το άλλο, εφόσον αυτά λειτουργούν σε μη-επικαλυπτόμενα κανάλια.

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

10BaseT	10 Mbps Twisted Pair Ethernet
AP	Access Point
BSS	Basic Service Set
CCK	Complementary Code Keying
CIDR	Classless Inter-Domain Routing
Client	Wi-Fi Client
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
FTP	File Transfer Protocol
Gbps	Gigabits per second
GHz	Giga Hertz (Giga-cycles per second)
GPL	General Public License
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IBSS	Infrastructure Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGMP	Internet Group Multicast Protocol
IP	Internet Protocol
Mbps	Megabits per second
MMS	MultiMedia Service
MPEG4	Moving Pictures Expert Group (video encoding protocol)
ms	millisecond
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PAL	Phase Alternation Line
PBCC	Packet Binary Convolutional Code
RFC	Request For Comments
SQL	Structured Query Language

TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
WiFi	Wireless Fidelity (IEEE 802.11, 11b,g,a,n)

Βιβλιογραφία

[1] IEEE, "IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specifications", IEEE Std 802.11-1999

[2] IEEE, "Supplement to IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange between Systems – Local and Metropolitan Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN MAC and PHY Specifications, High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band", IEEE Std 802.11a-1999

[3] IEEE, "IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications—Amendment 2: Higher-speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band—Corrigendum1", IEEE Std 802.11b-1999/Cor 1-2001

[4] IEEE, "IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications—Amendment 4: Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band", IEEE Std 802.11g™-2003

[5] Texas Instruments, "802.11b: ACX100 802.11b Chipset" – Data Rates: 1, 2, 5.5, 11, and 22 Mbit/s

TI's ACX100 delivers the most aggressive data rates available in the 2.4 GHz WLAN market. By employing advanced forward error correction (FEC) and modulation techniques, the ACX100 achieves much higher performance than its competitors. ACX100's proprietary application of Packet Binary Convolutional Code (PBCC™) technology provides data rates up to 22 Mbit/s in 8.5 dB of signal-to-noise response (SNR) with a packet error rate (PER) of 10⁻².

<http://focus.ti.com/general/docs/bcg/bcgprodcontent.tsp?templateId=6116&navigationId=11868&path=templatedata/cm/product/data/acx100>

[6] Basavaraj Patil, Yousuf Saifullah, Stefano Faccin, Srinivas Sreemanthula, Lachu Aravamudhan, Sarvesh Sharma, Risto Mononen - "IP In Wireless Networks" - Prentice Hall - 01/31/2003

[7] David Wall (Tech Editor), Jeremy Faircloth, Joel Barrett, Jan Kanclirz Jr., Lev Shklover, Donald Lloyd, Youhao Jing - "Managing and Securing a Cisco® Structured Wireless-Aware Network" - Configure your network to Distinguish Between Rogue and Legitimate Access Points - Manage authentication seamlessly, even when a user roams from the coverage area of one access point to that of another - Syngress

[8] Frank Ohrtman and Konrad Roeder - "Wi-Fi Handbook: Building 802.11b Wireless Networks" - Introduction - How Does 802.11 Work? - Range is Not an Issue - Security and 802.11 - Interference and Quality of Service (QoS) on 802.11 Networks - Voice over 802.11 - Considerations in Building 802.11 Networks - Economic Aspects of Wi-Fi - Regulatory Aspects of 802.11 - Mcgraw Hill - 2003

[9] Rob Flickenger - "Building Wireless Community Networks, Second Edition" - Wireless Community Networks - Defining Project Scope - Network Layout - Using Access Points - Host-Based Networking - Long-Range Networking - Other Applications - Radio Free Planet - Radio Free Sebastopol - O'Reilly - June 2003

[10] University of ILINOIS - Department of Electrical and Computer Engineering - Peter L. B. Johnson- Computer Engineering II - Summer 2004.
<http://courses.ece.uiuc.edu/ece390/books/labmanual/pmodelib-ref-netbios.html>

[11] Yale Univesity - PCTL - Howard Gilbert - Introduction to TCP/IP - 02/02/1995
<http://www.yale.edu/pctl/COMM/TCPIP.HTM>

[12] University of ABERDEEN UK - Department of Engineering - Godred Fairhurst - IP Packet Header - 17/12/2003
<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/inet-pages/ip-packet.html>

[13] Cisco – The Internet Protocol Journal – Mobile IP – William Stallings – June 2001

http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_4-2/ipj_4-2_ip.html

Perkins, C., "**Mobile IP**," *IEEE Communications Magazine*, May 1997.

Perkins, C., "**Mobile Networking through Mobile IP**," *IEEE Internet Computing*, January-February 1998.

Perkins, C., *Mobile IP: Design Principles and Practices*, ISBN 0-201-63469-4, Prentice Hall PTR, 1998.

Solomon, J., *Mobile IP: The Internet Unplugged*, ISBN 0138562466, Prentice Hall PTR, 1998

[14] Cisco – Open Systems Interconnection (OSI) Protocols - Physical and Data Link layers - Network Layer - Layer Standards - Connectionless Network Service - Connection-Oriented Network Service - Network Layer Addressing - Protocols Transport Layer - Protocols Session Layer - Protocols Presentation Layer - Protocols Application Layer

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/osi_prot.htm

[15] Microsoft – Microsoft Interactive Developer - Internet Developer - Real-Time Multimedia Broadcasts With the Internet Multicast Backbone - *Many people believe that the Web is turning into a broadcast medium. The Multicast Backbone, or Mbone, is a scalable portion of the Internet that delivers real-time multimedia while saving net bandwidth.* February 1997

<http://www.microsoft.com/mind/0297/mbone/mbone.asp>

[16] Network Working Group - Classless Inter-Domain Routing (CIDR)- an Address Assignment and Aggregation Strategy - Request for Comments: 1519 - V. Fuller (BARRNet) - T. Li (Cisco) - J. Yu (MERIT) - K. Varadhan (OARnet) – September 1993

<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1519.txt>

[17] PACIFIC BELL – Classless Inter-Domain Routing (CIDR) Overview 1999 PACBELL Internet Services

<http://public.pacbell.net/dedicated/cidr.html>

[18] World Wide Web Consortium (W3C) – Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1

<http://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616.html>

[19] University of Wolverhampton – File Transfer Protocol - Computing Department - Communication Systems - Advanced Systems Programming

<http://www.scit.wlv.ac.uk/~jphb/comms/ftp.html>

[20] Microsoft – Microsoft Media Server (MMS) protocol - Stream data between the Windows Media Player and Windows Media Server over TCP and UDP

http://216.239.59.104/search?q=cache:ng7b-6cnrm8J:members.microsoft.com/consent/info/protocol_pages%255Cportal_microsoft_media_services_protocol.htm+%22Microsoft+Media+Server+protocol%22&hl=en

[21] Sun Product Documentation – About Solaris Dynamic Host Configuration Protocol – IP address Management - Centralized network client configuration - Support of BOOTP clients - Support of local and remote clients - Large network support

<http://docs.sun.com/db/doc/806-4075/6jd69oaa5?a=view>

[22] Network Working Group - DHCP Options and BOOTP Vendor Extensions - Request for Comments: 2132 - S. Alexander (Silicon Graphics, Inc.) R. Droms (Bucknell University), March 1997

<http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2132.txt>

[23] The Internet Society - Purdue University - Douglas Comer – “One Byte at a Time Bootstrapping with BOOTP and DHCP” – “The Internet Protocol Journal” - Volume 5, No. 2, June, 2002 - Cisco Systems

<http://www.isoc.org/pubs/int/cisco-1-3.html>

[24] Ohio State University – ASSIGNED NUMBERS – RFC 1340 - J. Reynolds, J. Postel – ISI - July 1992

<http://www.cse.ohio-state.edu/cgi-bin/rfc/rfc1340.html>

[25] James F. Kurose, Keith W. Ross – Computer Networking – PEARSON Addison Wesley - 05/13/2004

<http://www.aw-bc.com/catalog/academic/product/0,1144,0321227352,00.html>

[26] The Hebrew University of Jerusalem Computer Science Institute - The Computer Communication and Applications Course -

<http://www.cs.huji.ac.il/course/2003/com1/>

<http://www.cs.huji.ac.il/course/2003/com1/book/chapter6.pdf>

[27] MatLab – Technical Computing – Modeling and Simulation – Data Analysis and Exploration.

http://www.mathworks.com/applications/tech_computing/description/dataan.html

[28] General Public Licence – GPL – Terms and conditions for copying, distribution and modification.
<http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>