

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ & ΔΙΚΤΥΑ**

# **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ**

*Επιβλέπων καθηγητής: Γ. Εοθύμογλου*

**ΠΛΑΚΟΓΙΑΝΝΗΣ-ΦΩΤΙΟΥ ΠΕΤΡΟΣ**

Πειραιάς 2009

# ΓΑΛΕΤΣΙΛΙΟ ΠΕΡΔΑ

*Στους Γονείς μου...*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της ποιότητας παροχής διαφόρων πολυμεσικών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα ένα τηλεοπτικό σήμα, μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Λόγω των υψηλών απαιτήσεων ποιότητας υπηρεσίας των χρηστών πολυμεσικού περιεχομένου σε ένα ασύρματο δίκτυο, είναι ανάγκη να μελετηθεί η επίδραση του χαμηλού εύρους φάσματος που ενδέχεται να προσφέρουν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα και τα διάφορα πρότυπα και κωδικοποιήσεις του περιεχομένου στην ποιότητα των πολυμεσικών εφαρμογών.

Στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός των ασύρματων δικτύων και αναλύονται τα σημαντικότερα πρότυπα WLANs της οικογένειας 802.11x (802.11a, 802.11b και 802.11g).

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία αναφορά στα είδη πολυμέσων, εστιάζοντας κυρίως στα πρότυπα συμπίεσης ψηφιακού βίντεο τα οποία μεταδίδονται στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η τεχνική μετάδοσης δεδομένων streaming και οι τρεις βασικές κατηγορίες της, οι οποίες είναι η unicast, broadcast και multicast μετάδοση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια παρουσίαση των βασικών εργαλείων διαχείρισης και παρακολούθησης της λειτουργίας του δικτύου. Αρχικά παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου δίνοντας έμφαση στο βασικότερο πρωτόκολλο το SNMP (Simple Network Management Protocol). Στην συνέχεια παρουσιάζονται δύο από τα πιο ευρέως γνωστά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούν τα παραπάνω πρωτόκολλα, το PRTG και το Ethereal.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη αναφορά στο λογισμικό μετάδοσης VLC (Video Lan Client) το οποίο αποτελεί τον βασικό player που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση των πειραμάτων. Παρουσιάζονται οι βασικές του λειτουργίες και χρήσεις.

Στο έκτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το κύριο τμήμα της εργασίας, παρουσιάζονται μια σειρά από πειραματικές μετρήσεις που αποσκοπούν στην

μέτρηση της ποιότητας της εικόνας και του ήχου από την μετάδοση βίντεο σε ένα ασύρματο δίκτυο 802.11b με διαφορετική ροή μεταφοράς (transport stream). Εξετάστηκαν δύο περιβάλλοντα μετάδοσης, στο 1<sup>ο</sup> δεν υπάρχουν φυσικά εμπόδια μεταξύ Clients-Server, ενώ στο 2<sup>ο</sup> παρεμβάλλονται φυσικά εμπόδια μεταξύ τους. Οι μετρήσεις έγιναν σε ένα περιβάλλον ασύρματου δικτύου 802.11b που χρησιμοποιεί Unicast μετάδοση. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά: το πραγματικό bitrate του δικτύου (throughput) μετρήθηκε το λογισμικό παρακολούθησης κίνησης του δικτύου PRTG (Port Router Traffic Grapher), για τη μέτρηση της ισχύος του σήματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Wirelesmon, και για την αναπαραγωγή του σήματος ένας κοινός media player. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό ethereal για να αναλύσουμε την κίνηση στο δίκτυο μας και παρατηρήθηκε η επίδραση των χαμένων πακέτων και του frame rate στην ποιότητα του πολυμεσικού περιεχομένου.

Στο έβδομο κεφάλαιο έγινε διερεύνηση της ποιότητας σε ένα περιβάλλον ασύρματου δικτύου 802.11g που χρησιμοποιεί Multicast μετάδοση και ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο access point που επιτρέπει multicasting μέσω ασύρματης σύνδεσης. Το δίκτυο αποτελείται από δύο clients και έναν server. Για την multicast μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το freeware λογισμικό VLC media player. Τα πολυμεσικά αρχεία αποστάλθηκαν στους clients με την μορφή μιας συνεχής ροής (stream) και αυτοί τα κατέβασαν και τα παρακολούθησαν ζωντανά. Χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο monitoring PRTG (Port Router Traffic Grapher) για τη μέτρηση του throughput του δικτύου κατά την ταυτόχρονη αποστολή και παρακολούθηση του αρχείου. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από τη μελέτη των μετρήσεων της ποιότητας των πολυμεσικών υπηρεσιών.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	v
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	vi
1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	1
1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	1
1.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ 802.11x.....	5
1.4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11x ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ .....	9
1.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11x .....	11
2. ΠΟΛΥΜΕΣΑ.....	14
3 STREAMING .....	21
3.1 UNICAST .....	23
3.2 BROADCAST .....	25
3.3 MULTICAST .....	26
4. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..	28
4.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	28
4.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	30
5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ VIDEO.....	34
5.1 VLC (Video Lan Client).....	34

<b>6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ 802.11b .....</b>	<b>38</b>
<b>6.2 UNICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 .....</b>	<b>42</b>
<b>6.3 UNICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 ΜΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ</b>	
<b>ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΜΕΣΟΥ .....</b>	<b>50</b>
<b>6.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2</b>	
<b>ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ –ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ (ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ)....</b>	<b>55</b>
<b>6.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 ΒΑΣΗ</b>	
<b>ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΧΑΜΕΝΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΤΗΣ ΡΟΗΣ MPEG-2.....</b>	<b>60</b>
<b>7 MULTICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2.....</b>	<b>67</b>
<b>7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ MULTICAST .....</b>	<b>67</b>
<b>7.1.1 MBONE .....</b>	<b>68</b>
<b>7.1.2 MULTICAST GROUPS.....</b>	<b>69</b>
<b>7.1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ IGMP.....</b>	<b>70</b>
<b>7.1.4 ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗ .....</b>	<b>72</b>
<b>7.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ MULTICAST ΠΑΚΕΤΩΝ .....</b>	<b>74</b>
<b>7.1.6 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ MULTICAST .....</b>	<b>82</b>
<b>7.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ MULTICAST 802.11g</b>	
<b>.....</b>	<b>90</b>
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>96</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>99</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Πρότυπα Wi-Fi.....	5
Σχήμα 2. Μοντέλο αναφοράς (στοίβα πρωτοκόλλων) του 802.11x κατά OSI.....	5
Σχήμα 3. Διαμόρφωση OFDM. Διακρίνεται η ορθογωνιότητα μεταξύ των υπόφερους.....	7
Σχήμα 4. Ασύρματο δίκτυο Peer to Peer (Ad hoc).....	10
Σχήμα 5. Ασύρματο δίκτυο Infrastructure.....	11
Σχήμα 6. Διαδικασία παραγωγής του MPEG-1 σήματος.....	16
Σχήμα 7. Διαδικασία παραγωγής του MPEG-2 σήματος.....	17
Σχήμα 8. Πρότυπα MPEG.....	19
Σχήμα 9. Το βίντεο κωδικοποιημένο στα 4.23Mbps.....	20
Σχήμα 10. Το βίντεο κωδικοποιημένο στα 1.52Mbps.....	20
Σχήμα 11. Unicast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών.....	23
Σχήμα 12. Πολλαπλές εκπεμπόμενες unicast ροές σε ένα δίκτυο υπολογιστών.....	24
Σχήμα 13. Broadcast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών.....	25
Σχήμα 14. Multicast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών.....	26
Σχήμα 15. Κεντρική κονσόλα διαχείρισης του PRTG.....	30
Σχήμα 16. Παρακολούθηση του bandwidth σε ένα δίκτυο με το λογισμικό PRTG.....	31
Σχήμα 17. Παρακολούθηση μεταφοράς αρχείων σε ένα δίκτυο με το λογισμικό PRTG.....	31
Σχήμα 18. Περιβάλλον εργασίας του Ethereal.....	33
Σχήμα 19. Βασική κονσόλα VLC client.....	34
Σχήμα 20. Παράμετροι για steaming στο VLC.....	35
Σχήμα 21. Ρυθμίσεις του VLC media player στην νεότερη του έκδοση 0.9.8a.....	36
Σχήμα 22. Σχηματική απεικόνιση της δομής του δικτύου στο οποίο έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις.....	39
Σχήμα 23. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την μεταφορά του αρχείου.....	40
Σχήμα 24. Ρυθμίσεις δικτύου του επιπλέον client.....	41
Σχήμα 25. Σχηματική απεικόνιση της δομής του δικτύου στο οποίο έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις μετά την προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη.....	41
Σχήμα 26. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την μεταφορά του αρχείου σε δύο clients.....	41
Σχήμα 27. Ρυθμίσεις κωδικοποίησης των βίντεο μέσω του i-mpreg.....	44
Σχήμα 28. Πίνακας καταγραφής στοιχείων των MPEG-2 βίντεο που μεταδίδονται.....	44
Σχήμα 29. Ιστοσελίδα στον Server με τα αποθηκευμένα βίντεο.....	45
Σχήμα 30. Λειτουργία του media player.....	46
Σχήμα 31. Γραφική απεικόνιση του picture quality degradation στο δικτύο μας σε σχέση με την ροή μεταφοράς ενός βίντεο.....	49
Σχήμα 32. Μετάδοση βίντεο χωρίς εμπόδια (απόσταση AP με Laptop : 3 m).....	51
Σχήμα 33. Μέτρηση ισχύος σήματος του ασύρματου δικτύου με το εργαλείο wirelessmon.....	52
Σχήμα 34. Μετάδοση βίντεο με εμπόδιο, τοίχο 15 cm (απόσταση AP με Laptop : 4 m).....	53
Σχήμα 35. Μέτρηση ισχύος σήματος του ασύρματου δικτύου με το εργαλείο wirelessmon.....	54
Σχήμα 36. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 3m.....	56
Σχήμα 37. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνουν οι δέκτες στα 3m.....	57
Σχήμα 38. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 10m.....	58
Σχήμα 39. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 30m.....	59
Σχήμα 40. Snapshots για 10, 15 και 19 δευτερόλεπτα μετά την αρχή, με 20% απώλεια πακέτων και I-Frame interval των 10 sec.....	63
Σχήμα 41. Εκτίμηση της Ποιότητας της εικόνας με 20% απώλεια πακέτων και I-Frame interval των 10 sec.....	64
Σχήμα 42. Ένας τοπικός mRouter (Linksys WRP400 Wireless Router). Υποστηρίζει πρωτόκολλα IP Multicast IGMP v1, v2, v3/ IGMP Proxy.....	70
Σχήμα 43. Εξελεγκμένος mRouter από την Cisco (Cisco 877 w).....	71
Σχήμα 44. Άνοιγμα αρχείου multimedia ως προς μετάδοση.....	91
Σχήμα 45. Ορισμός UDP address.....	92
Σχήμα 46. Εκπομπή συνεχής ροής δεδομένων.....	92
Σχήμα 47. Εισαγωγή της UDP διεύθυνσης για την λήψη των δεδομένων.....	93
Σχήμα 48. Παρακολούθηση του προγράμματος από τους clients.....	94
Σχήμα 49. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την multicast μετάδοση στους δύο clients.....	95

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ACK	Acknowledgement
AP	Access Point
AWMN	Athens Wireless Metropolitan Network
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSS	Basic Service Set
CCK	Complementary Code Keying
CPU	Central Processing Unit
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DAB	Digital Audio Broadcasting
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting-Cable
DVB-H	Digital Video Broadcasting-Handheld
DVB-S	Digital Video Broadcasting-Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting-Terrestrial
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
HIPERLAN	High Performance Radio LAN
HomeRF	Home Radio Frequency Networks
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
ISA	Integrated Services Architecture
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union



LLC	Logical Link Control
MAC	Media Access Control
MBone	Multicast Backbone
MPEG	Motion Picture Experts Group
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OSPF	Open shortest Path First
PIM	Protocol Independent Multicast
PN	Pseudo-Noise
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RC4	Ron's Code or Rivest's Cipher
RF	Radio Frequency
SNMP	Simple Network Management Protocol
SSID	Secure Set Identifier
SWAP	Shared Wireless Access Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TS	Transport Stream
UDP	User Datagram Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WPA	WiFi Protected Access

# 1 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless LAN) είναι ένα σύστημα επικοινωνίας το οποίο μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων διασύνδεει κινητούς ή ακίνητους χρήστες ώστε να μπορούν να μεταδώσουν και να λάβουν δεδομένα. Η ακτίνα δράσης ενός ασύρματου τοπικού δικτύου κυμαίνεται από αρκετά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα, παρέχοντας την δυνατότητα για την διασύνδεση των γραφείων μιας εταιρείας, αλλά και γειτονικών κτιρίων.

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα. Πρώτα απ' όλα εγκαθίστανται και επεκτείνονται αρκετά εύκολα γλιτώνοντας το κόστος και τον κόπο του σχεδιασμού και της υλοποίησης μια δομημένης καλωδίωσης. Επίσης οι χρήστες μπορούν να έχουν ασύρματη πρόσβαση στο internet και σε διάφορες υπηρεσίες όπως Voice over IP με πλήρη ελευθερία κινήσεων δηλαδή ανεξαρτήτως της θέσης τους μέσα στον χώρο για παράδειγμα μιας επιχείρησης. Έχουν μειωμένο κόστος συντήρησης. Συνήθως λειτουργούν σε συχνότητες που είναι ελεύθερες και δεν χρειάζονται ειδική άδεια (πχ 2.4 GHz) κ.α

## 1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ο ρυθμός εξέλιξης των ασύρματων δικτύων τα δέκα τελευταία χρόνια είναι υψηλός καθώς από τα πλεονεκτήματά τους ευνοούνται τόσο οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι όσο και οι ιδιώτες ή οι απλοί χρήστες. Οι πιο σημαντικές τεχνολογίες του χώρου είναι το Bluetooth, το HiperLan I/II, το HomeRF SWAP και το IEEE 802.11. Κάθε μια τεχνολογία έχει διαφορετικό σκοπό. Το Bluetooth και το HomeRF είναι σχεδιασμένα για ζεύξεις μικρών αποστάσεων και σύνδεση μεταξύ συσκευών και περιφερειακών, ενώ το IEEE 802.11 και το HiperLan I/II για την υλοποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων.

Θα γίνει μια σύντομη αναφορά για τα Bluetooth, HiperLan I/II και HomeRF SWAP αλλά στην εργασία αυτή, θα επικεντρωθούμε κυρίως στο IEEE 802.11 που αποτελεί το πιο διαδεδομένο πρότυπο ασύρματης τοπικής δικτύωσης.

### 1) Bluetooth

Μια διαδεδομένη ασύρματη τεχνολογία είναι το Bluetooth. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύχθηκε το έτος 1998 από την συνεργασία αρκετών εταιριών, όπως πχ από την Ericsson, την Nokia και την Intel, οι οποίες της δώσανε την ονομασία Bluetooth προς τιμή του Δανού βασιλιά Harald Bluetooth (940-986 πχ).

Το Bluetooth βρίσκει εφαρμογή σε μικρής έκτασης ασύρματα δίκτυα επιτρέποντας την σύνδεση ανάμεσα σε φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα και φορητές συσκευές χειρός. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται PAN (Personal Area Networks, Δίκτυα Προσωπικού Χώρου). Το Bluetooth έχει εμβέλεια περίπου δέκα μέτρα, λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 2.4 GHz, χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης διασπορά με αλλαγή συχνότητας FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) και φτάνει σε ρυθμούς δεδομένων ως το 1 Mbps.

### 2) HiperLan I/II

Το HiperLan σημαίνει High Performance Radio LAN και καθιερώθηκε από την ETSI (European Telecommunications Standards Institute) το 1996. Υπάρχουν δύο εκδόσεις του προτύπου. Το HiperLan I προσφέρει ρυθμό δεδομένων περίπου 20 Mbps, λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 5 GHz και χρησιμοποιεί την GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Το HiperLan II προσφέρει ρυθμό δεδομένων μέχρι περίπου 54 Mbps, λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 5 GHz και χρησιμοποιεί την Ορθογωνική πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing). Να σημειωθεί ότι το HiperLan αναπτύχθηκε στις ευρωπαϊκές χώρες και είναι αντίστοιχο με το αμερικάνικο πρότυπο IEEE 802.11.

### 3) HomeRF SWAP

Το HomeRF σημαίνει Home Radio Frequency Networks και δημιουργήθηκε από διάφορες εταιρίες όπως πχ από την Hewlett Packard και την Proxim. Χρησιμοποιείται κυρίως σε οικιακά δίκτυα με λίγους κόμβους. Το HomeRF στηρίζεται στο διαμοιραζόμενο πρωτόκολλο ασύρματης πρόσβασης SWAP (Shared Wireless Access Protocol). Το SWAP συνδυάζει στοιχεία από το 802.11 και από το ευρωπαϊκό σύστημα ψηφιακής ασύρματης τηλεφωνίας DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone). Το HomeRF προσφέρει ρυθμό δεδομένων μέχρι περίπου 2 Mbps, λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 2.4 GHz και χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης διασπορά με αλλαγή συχνότητας FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum).

### 4) IEEE 802.11

Σήμερα η πιο σημαντική, εφαρμόσιμη και ευρέως διαδεδομένη τεχνολογία είναι το IEEE 802.11. Το πρώτο πρότυπο ασύρματων δικτύων της οικογένειας 802.11 αναπτύχθηκε το 1997 από το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών Μηχανικών IEEE (Institute Electrical and Electronics Engineers) και ήταν το IEEE 802.11. Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στην μπάντα συχνοτήτων των 2.4 GHz, υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι περίπου 2 Mbps και χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης διασποράς με αλλαγή συχνότητας FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) είτε την τεχνική διαμόρφωσης διασποράς ευρείας ακολουθίας DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

Η ανάγκη όμως υποστήριξης υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων οδήγησαν την IEEE στην δημιουργία των προτύπων IEEE 802.11x ή αλλιώς Wi-Fi (Wireless Fidelity).

Η ασύρματη τεχνολογία IEEE 802.11x ή αλλιώς Wi-Fi (Wireless Fidelity) αποτελεί ένα μεγάλο βήμα προόδου όσο αφορά την αξιόπιστη, εύκολη και υψηλής

ταχύτητας ασύρματη σύνδεση που μπορεί να καλύψει όλες τις προσωπικές αλλά και επιχειρηματικές επικοινωνιακές ανάγκες.

Η τεχνολογία Wi-Fi περιλαμβάνει κυρίως τρία πρότυπα ασύρματης δικτύωσης και συγκεκριμένα το 802.11b, το 802.11a και το 802.11g. Η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιείται σε μεγάλο βαθμό κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και δρομολογητών (routers) και επιτρέπει την κοινή χρήση της σύνδεσης στο Internet.

Το πρώτο πρότυπο ασύρματης δικτύωσης Wi-Fi, το οποίο ανέπτυξε η IEEE τον Σεπτέμβριο του 1999 και διατέθηκε εμπορικά ήταν το 802.11b.

Το 802.11b λειτουργεί στην μάντα των 2.4 GHz, υποστηρίζει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης μέχρι περίπου 11 Mbps και χρησιμοποιεί διαμόρφωση διασποράς ευρείας ακολουθίας DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), η οποία κάνει χρήση της συμπληρωματικής διαμόρφωσης κώδικα CCK (Complementary code Keying).

Το επόμενο αμέσως πρότυπο είναι το 802.11a το οποίο λειτουργεί στην μάντα των 5 GHz, υποστηρίζει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης μέχρι περίπου 54 Mbps και χρησιμοποιεί διαμόρφωση Ορθογωνική πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing). Να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα, όπως και στα περισσότερα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν υπάρχουν σχετικές νομοθεσίες για την αδειοδότηση της ζώνης συχνοτήτων των 5GHz με σκοπό την παραχώρηση υπηρεσιών ασύρματης πρόσβασης.

Το πιο πρόσφατο πρότυπο της σειράς Wi-Fi είναι το 802.11g, το οποίο ανέπτυξαν οι μηχανικοί της IEEE το 2003 και συνδυάζει τα οφέλη των 802.11b και 802.11a. Λειτουργεί στην μάντα των 2.4 GHz, υποστηρίζει μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης μέχρι περίπου 54 Mbps και χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης OFDM (Ορθογωνική πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας).

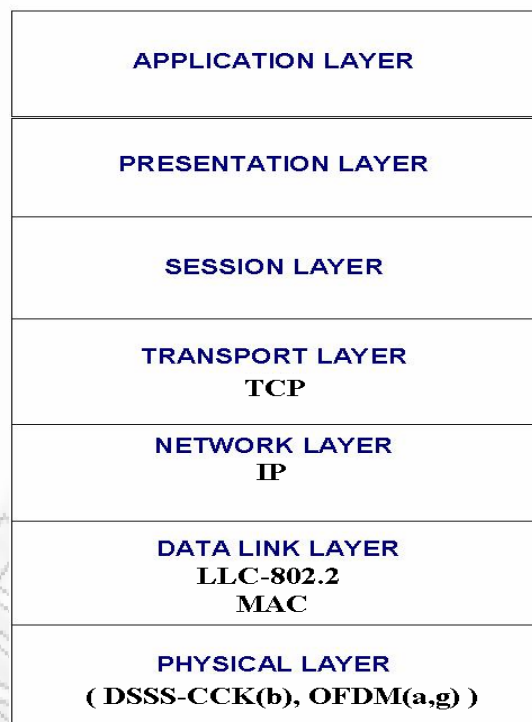
Στον πίνακα του σχήματος 1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προτύπων Wi-Fi

	<i>802.11b</i>	<i>802.11a</i>	<i>802.11g</i>
<b>ΜΠΑΝΤΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (GHz)</b>	2.4	5	2.4
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΒΙΤΡΑΤΕ (Mbps)</b>	11	54	54
<b>ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>	DSSS	OFDM	OFDM

Σχήμα 1. Πρότυπα Wi-Fi

### 1.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ 802.11x

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται το μοντέλο αναφοράς κατά OSI (στοίβα πρωτοκόλλων) της τεχνολογίας 802.11x



Σχήμα 2. Μοντέλο αναφοράς (στοίβα πρωτοκόλλων) του 802.11x κατά OSI

Όπως παρατηρούμαι και από το σχήμα 2, οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες που καθορίζονται από το 802.11 αφορούν τα επίπεδα MAC και PHY.

Όπως προαναφέρθηκε στο φυσικό στρώμα (physical layer) όπου μεταδίδει και λαμβάνει πραγματικά τα δεδομένα (bits) μεταξύ των υπολογιστών, στο 802.11b

χρησιμοποιείται τεχνική διαμόρφωσης διασποράς ευρείας ακολουθίας DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ή οποία κάνει χρήση της συμπληρωματικής διαμόρφωσης κώδικα CCK (Complementary code Keying), και στο 802.11a και 802.11g διαμόρφωση Ορθογωνική πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing).

Η τεχνική DSSS εξαπλώνει την ισχύ του μεταδιδόμενου σήματος σε μία ευρεία μπάνα συχνοτήτων με αποτέλεσμα να μειωθούν ο θόρυβος και οι παρεμβολές από άλλες μεταδόσεις οι οποίες χρησιμοποιούν συνήθως ένα μικρό εύρος συχνοτήτων.

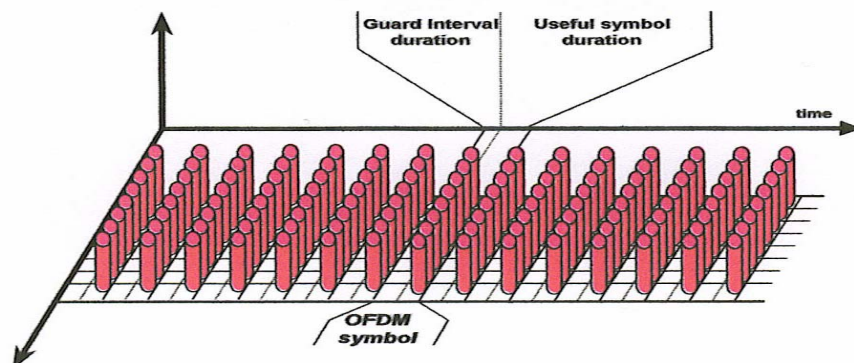
Αρχικά λοιπόν το σήμα της βασικής ζώνης (baseband) εξαπλώνεται ψηφιακά, και έπειτα τα εξαπλωμένα δεδομένα διαμορφώνονται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Η διαδικασία είναι η εξής: Για να επιτευχθεί η εξάπλωση από τον πομπό, πολλαπλασιάζεται το φέρον σήμα (radio frequency carrier) με ένα ψηφιακό σήμα ψευδό-θορύβου PN (pseudo-noise). Το σήμα PN αναφέρεται και ως chip code ή spreading sequence. Το σήμα ψευδό-θορύβου PN που χρησιμοποιεί ονομάζεται συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα CCK (Complementary code Keying) και είναι μια ακολουθία των 8 bit. Το προκύπτον σήμα έχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από αυτόν του αρχικού σήματος.

Το εξαπλωμένο σήμα χρησιμοποιεί διαμόρφωση QPSK για να οδηγηθεί στον διαμορφωτή. Με την QPSK έχουμε συνολική κωδικοποίηση 8 bits και μεταφέρονται 2 bits σαν είσοδο στον διαμορφωτή με τέσσερις πιθανούς συνδυασμούς (καταστάσεις 00,01,10,11). Καθένα από αυτά τα σύμβολα των 2 bit στέλνονται με ρυθμό 5.5 Mbps, καταλήγοντας σε ένα ρυθμό δεδομένων ίσο με 11 Mbps

Ο διαμορφωτής (Carrier modulator) παράγει το αναλογικό σήμα από το ψηφιακό περί την συχνότητα εκπομπής.

Η τεχνική OFDM είναι πολύ σημαντική για την μετάδοση δεδομένων με υψηλή ταχύτητα και ευρυζωνικών εφαρμογών. Η OFDM χρησιμοποιείται δεδομένου της καλής συμπεριφοράς της σε περίπτωση λήψης από πολλαπλές διαδρομές, υποστηρίζοντας μεγάλες ταχύτητες κίνησης του δέκτη αλλά μπορεί να καλύψει και να οργανωθεί σε περιοχές με κυψελωτή δομή (άρα και να συνδυαστεί με τα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας). Χρησιμοποιεί πολλαπλά σήματα μεταφοράς

σε διαφορετικές συχνότητες, στέλνοντας μερικά από τα bits σε κάθε κανάλι. Όπως είναι γνωστό στην διαμόρφωση OFDM το κανάλι RF (Radio frequency) οργανώνεται σε τμήματα χρόνου-συχνότητας. Κάθε τμήμα (κανάλι) χρόνου - συχνότητας αποτελείται από έναν συγκεκριμένο αριθμό από υποφέρουσες. Δηλαδή η αρχή λειτουργίας του OFDM βασίζεται στην διανομή ενός υψηλού ρυθμού ροής δεδομένων διαμέσου ενός μεγάλου αριθμού ορθογωνίων (εκατοντάδες μέχρι και χιλιάδες, ανάλογα την περίπτωση) φερόντων όπου κάθε ένα από αυτά φέρει ένα χαμηλό ρυθμό [1]. Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η διαμόρφωση OFDM.



Σχήμα 3. Διαμόρφωση OFDM. Διακρίνεται η ορθογωνιότητα μεταξύ των υπό-φερουσών (πηγή: Gerard Faria, “The marvels of the OFDM”, Scientific director ITIS, France, 2004)

Αυτό μειώνει την διαφωμία (crosstalk) στις μεταδόσεις σημάτων αλλά και τις παρεμβολές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο αριθμός των φερόντων σημάτων που χρησιμοποιεί το 802.11a και το 802.11g είναι 52 σήματα [2].

Οι φέρουσες μπορούν να κωδικοποιηθούν με μία από τις εξής διαμορφώσεις:

- QPSK (Αναφέρεται και σαν 4-QAM ή και σαν 4-PSK)
- 16-QAM
- 64-QAM

Άρα επιλέγεται είτε να μεταφέρονται 2 bits (4-QAM) είτε 4 bits (16-QAM) είτε 6 bits (64-QAM) σε κάθε φέρων σήμα. Δεν θα γίνει άλλη επέκταση στην ανάλυση της OFDM αφού οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα είναι αρκετά



πολύπλοκες και πρέπει να αναλυθούν διεξοδικά και οι περιγραφές τους δεν είναι το βασικό θέμα σ' αυτήν την εργασία.

Πρέπει να τονιστεί όμως ότι η τεχνική OFDM χρησιμοποιείται σήμερα κατά κόρον σε πολλές τεχνολογίες όπως στο ADSL και στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial).

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (Data Link layer) αποτελείται από δύο υποστρώματα. Το πρώτο υπόστρωμα είναι το υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης MAC (Medium Access Control) και το δεύτερο υπόστρωμα είναι ο έλεγχος λογικής σύνδεσης LLC (Logical Link Control).

Το υπόστρωμα MAC ρυθμίζει την κίνηση του δικτύου, συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για να ελέγξει και να καθορίσει ποιος έχει σειρά σε έναν διάυλο (κανάλι) πολλαπλής πρόσβασης. Το MAC συνήθως κάνει χρήση του πρωτοκόλλου πολλαπλής προσπέλασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή σύγκρουσης CSMA/CA. Το CSMA/CA το οποίο βοηθάει στην αποφυγή συγκρούσεων (collisions) αναγκάζοντας τον σταθμό εκπομπής να ανιχνεύσει τον αέρα εάν ο διάυλος είναι ελεύθερος πριν αρχίσει την εκπομπή των δεδομένων. Εάν ο διάυλος είναι απασχολημένος περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί. Εάν είναι ελεύθερος τότε επιτρέπεται στον σταθμό εκπομπής να μεταδώσει δεδομένα για ένα χρονικό διάστημα. Ο σταθμός λήψης πρέπει να απαντήσει με ένα πακέτο επιβεβαίωσης (ACK). Η λήψη του πακέτου επιβεβαίωσης από τον σταθμό εκπομπής δηλώνει ότι δεν συνέβη σύγκρουση. Εάν ο σταθμός εκπομπής δεν λάβει το πακέτο επιβεβαίωσης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (ACKTimeout), ξαναστέλνει το πακέτο δεδομένων αφού δεν θα έχει φθάσει στον προορισμό του. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για έναν συγκεκριμένο αριθμό επαναμεταδόσεων.

Το CSMA/CA αντιμετωπίζει αποτελεσματικά προβλήματα σχετικά με την φύση και την λειτουργία των ράδιο-κυμάτων και ασύρματης λήψης (πχ παρεμβολές) αλλά δημιουργεί εάν σημαντικό πλεόνασμα φορτίου γραμμής (overheads). Έτσι ένα LAN 802.11 θα έχει πάντα μικρότερη απόδοση από ένα ισοδύναμο Ethernet LAN [3]

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι στο υπόστρωμα MAC τεμαχίζονται τα πακέτα σε μικρότερα πακέτα δεδομένων (packet fragmentation). Ο τεμαχισμός γίνεται σύμφωνα με μια τιμή η οποία ονομάζεται threshold όπου ορίζει το μέγιστο μήκος που πρέπει να έχει ένα πακέτο για να μεταδοθεί. Για παράδειγμα εάν σε ένα πακέτο 500

byte γίνει τεμαχισμός με threshold 250 τότε το πακέτο θα χωριστεί σε δύο πακέτα των 250 byte. Αποτέλεσμα είναι να αποστέλλονται πακέτα μεγάλου μήκους σε μικρά κομμάτια. Αυτό έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον μειώνει την ανάγκης αναμετάδοσης των πακέτων επειδή η πιθανότητα να υπάρχει αλλοίωση και φθορά πακέτων είναι μικρότερη όταν τα πακέτα έχουν μικρότερο μέγεθος και δεύτερον σε περίπτωση που υπάρχει φθορά πακέτων λόγω μικρού μεγέθους η αναμετάδοση τους είναι γρηγορότερη. [3]

Το υπόστρωμα LLC είναι αυτό που χρησιμοποιείται στο πρότυπο IEEE 802.2. Το LLC σε κάθε πακέτο προσθέτει μια επικεφαλίδα LLC η οποία περιέχει την διεύθυνση πηγής, διεύθυνση προορισμού, αύξοντα αριθμό και αριθμό επαλήθευσης κ.α. Η προκύπτουσα δομή εισάγεται μέσα στο πεδίο του ωφέλιμου φορτίου ενός πλαισίου (frame) του 802.11 και μεταδίδεται. Ο δέκτης φυσικά λαμβάνει το πλαίσιο και το και το αποσυναρμολογεί για να λάβει τον συρμό των bit.

#### **1.4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11x ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ**

Η υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου είναι σχετικά απλή χωρίς να χρειάζονται τεχνικές παρεμβάσεις στο χώρο ανάπτυξης. Μια τυπική διάταξη περιλαμβάνει τους τερματικούς σταθμούς και ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης (access point) τα οποία μπορεί να διασυνδέονται για να παρέχουν μεγαλύτερη κάλυψη.

Οι τερματικοί σταθμοί μπορεί να είναι σταθεροί ή φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, PDA's όπου διαθέτουν ασύρματες κάρτες wi-fi. Τα σημεία πρόσβασης έχουν τον ρόλο ασύρματων hub και χρησιμοποιούνται για την ασύρματη σύνδεση μεταξύ των τερματικών (clients) αλλά και για την σύνδεση του ασύρματου δικτύου με ενσύρματα δίκτυα υπολογιστών, επιτρέποντας τους χρήστες να προσπελάσουν διάφορες υπηρεσίες του δικτύου πχ το internet.

Κάθε σημείο πρόσβασης προσφέρει ένα διαθέσιμο εύρος ζώνης όπου διαμοιράζονται οι χρήστες. Δηλαδή όσο περισσότερους χρήστες εξυπηρετεί ένα σημείο πρόσβασης τόσο λιγότερο ρυθμό μετάδοσης (bit rate) θα έχουν οι χρήστες. Σύμφωνα με το Αθηναϊκό Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο AWMN (Athens Wireless Metropolitan Network) ένας βέλτιστος αριθμός χρηστών είναι πέντε ανά

σημείο πρόσβασης. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι μια τυπική εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης είναι εκατό μέτρα.

Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο κατηγορίες τοπολογίας ασύρματων τοπικών δικτύων. Η πρώτη κατηγορία είναι η ανεξάρτητη διάταξη και ονομάζεται IBSS (Independent Basic Service Set) ή Ad-Hoc ή Peer to Peer. Στην κατηγορία αυτή οι σταθμοί όταν βρίσκονται ο ένας στην εμβέλεια του άλλου (μικρή κάλυψη περιοχής), συνδέονται μεταξύ τους χωρίς την διαμεσολάβηση σημείων πρόσβασης (access point) με αποτέλεσμα οι χρήστες επικοινωνούν ένας προς έναν (Peer to Peer) [3]. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία Peer to Peer:

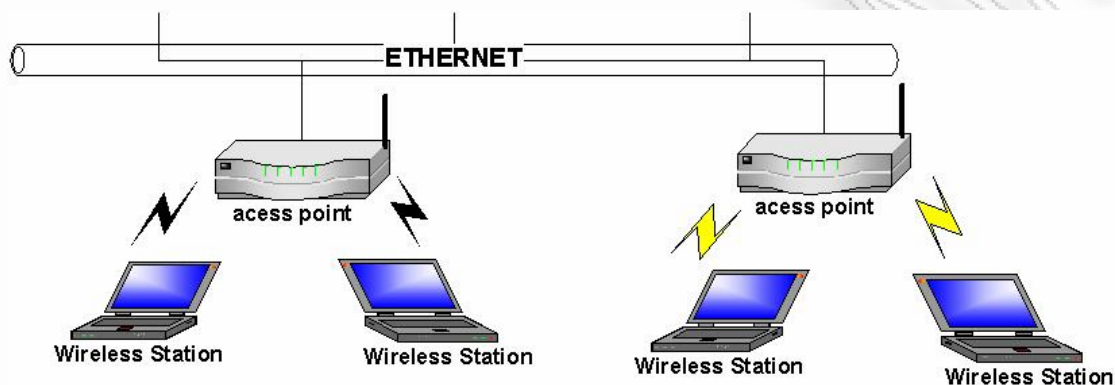


Σχήμα 4. Ασύρματο δίκτυο Peer to Peer (Ad hoc)

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ασύρματα δίκτυα με υποδομή και ονομάζεται Infrastructure mode. Στην κατηγορία αυτή γίνεται χρήση σημείων πρόσβασης (access point). Υπάρχουν δύο μορφές χρήσης των σημείων πρόσβασης. Στην πρώτη μορφή που ονομάζεται BSS (Basic Service Set) όλοι οι σταθμοί επικοινωνούν με ένα σημείο πρόσβασης και έχουν μέσω αυτού επικοινωνία ώστε το σημείο πρόσβασης να έχει τον κεντρικό έλεγχο και τον ρόλο του διακομιστή [4]. Η δεύτερη χρήση όπου ονομάζεται ESS (Extended Service Set) αναφέρεται στο ότι το σημείο πρόσβασης λειτουργεί ως επαναλήπτης (repeater) επεκτείνοντας την εμβέλεια του δικτύου. Συγκεκριμένα όσα BSS (Basic Service Set) είναι που θέλουμε να συνδέσουμε σε ένα τοπικό δίκτυο τόσα σημεία πρόσβασης (access point) πρέπει να χρησιμοποιήσουμε. Προσθέτοντας λοιπόν ένα ή περισσότερα access point αυξάνεται αναλόγως η ακτίνα λειτουργίας του δικτύου. Τα σημεία πρόσβασης πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους πχ

να συνδέονται σε ένα switch. Βέβαια σήμερα υπάρχουν αρκετά access points που λειτουργούν σαν bridge για ασύρματη μεταξύ τους σύνδεση.

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία με access point.



Σχήμα 5. Ασύρματο δίκτυο Infrastructure

## 1.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 802.11x

Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα επειδή τα σήματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μεταδίδονται στον αέρα (ραδιοσυχνότητες) υπάρχουν αρκετά προβλήματα ασφάλειας. Οι μορφές επίθεσης ποικίλουν από την περίπτωση RF Jamming (μορφή άρνησης παροχής υπηρεσίας Denial of Service) μέχρι την υποκλοπή δεδομένων.

Ένας επιτιθέμενος μπορεί εύκολα να ρυθμίσει το SSID ενός δικτύου στην ασύρματα κάρτα του υπολογιστή του και να συνδεθεί. Το SSID (Secure Set Identifier) είναι μία ακολουθία 32 χαρακτήρων και αποτελεί το χαρακτηριστικό όνομα του δικτύου για να διαφοροποιούνται τα δίκτυα που λειτουργούν στον ίδιο χώρο. Κάθε ασύρματη συσκευή εκπέμπει ανά τακτικά χρονικά διαστήματα το SSID της. Οι περισσότεροι διαχειριστές χρησιμοποιούν το SSID το οποίο ήταν προεγκατεστημένο στην ασύρματη συσκευή. Ένα πρώτο μέτρο ασφάλειας είναι η απενεργοποίηση του SSID. Σ' αυτήν την περίπτωση το δίκτυο δεν θα είναι

ανιχνεύσιμο από άλλες συσκευές. Φυσικά το μέτρο δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις διάφορες μορφές επίθεσης.

Για την αντιμετώπιση λοιπόν των διαφόρων κινδύνων, χρησιμοποιούνται δύο μηχανισμοί κρυπτογράφησης. Ο πρώτος μηχανισμός, ονομάζεται WEP (Wired Equivalent Privacy), και βασίζεται στον αλγόριθμο κρυπτογράφησης RC4 (Ron's code ή Rivest Cipher 4). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται κλειδιά κρυπτογράφησης (WEP Key). Τα κλειδιά είναι μεγέθους 64 ή 128 bit (κλειδί μεγέθους 40 ή 104 bit συν ο τυχαίος αριθμός initialization vector μήκους 24 bit).

Οι συσκευές μόνο με το ίδιο κλειδί κρυπτογράφησης (WEP Key) μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Σε ένα ασύρματο εταιρικό δίκτυο ο διαχειριστής του συστήματος εγκαθιστά σε κάθε σταθμό βάσης του δικτύου το κλειδί. Πρέπει να σημειωθεί ότι το WEP δεν προσφέρει αυθεντικοποίηση χρηστών (user authentication), οπότε χρειάζεται μόνο η κατοχή του κλειδιού για άμεση πρόσβαση στο δίκτυο. Το μειονέκτημα του WEP είναι ότι μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα από διάφορους «εισβολείς». Ο επιτιθέμενος χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα πακέτα λογισμικού συλλέγει και αναλύει αρκετή ώρα τα δεδομένα που διακινούνται μέσω του ασύρματου δικτύου και καταφέρνει να ανακαλύψει το κλειδί WEP [5].

Η διεθνής κοινότητα πληροφορικής παρατηρώντας τα προβλήματα ασφάλειας του WEP σχεδίασε ένα άλλο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης το WPA (WiFi Protected Access) όπου προσφέρει υψηλότερη προστασία στο σύστημα. Στο WPA χρησιμοποιείται ξανά ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης RC4 αλλά προσφέροντας ισχυρότερη κρυπτογράφηση με κλειδιά μήκους 176 bit (κλειδί μεγέθους 128 bit σύν ο τυχαίος αριθμός initialization vector μήκους 48 bit). Έτσι αυξάνει εκθετικά τον χρόνο που απαιτείται για την παραβίαση του. Επίσης το WPA χρησιμοποιεί και το πρωτόκολλο TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) όπου επιτρέπει την αλλαγή του κλειδιού κρυπτογράφησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου 5 λεπτά) αλλά και για κάθε νέα σύνδεση στο ασύρματο δίκτυο (ατομικό password και username). Μέσα στο χρόνο που χρειάζεται ο επιτιθέμενος για να ανακαλύψει το κλειδί, αυτό θα είχε ήδη λήξει. Παράλληλα το WPA προσφέρει αυθεντικοποίηση χρηστών (user authentication) με ένα σύστημα δημόσιου κλειδιού (κοινόχρηστο password), αναλόγου με αυτό που χρησιμοποιείται στην κινητή τηλεφωνία. Το WPA αν και δεν

είναι εύκολο στην ρύθμιση του προσφέρει μια σημαντική ασφάλεια στο ασύρματο δίκτυο [6].

Κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας πραγματοποιήθηκε μια μικρή έρευνα για το είδος της ασφάλειας που χρησιμοποιούν οι χρήστες στα ασύρματα δίκτυα τους. Σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή ενός προαστίου της Αθήνας έγινε αναζήτηση ασύρματων τοπικών δικτύων σε μία ακτίνα 500 m. Χρησιμοποιήθηκε ένας υπολογιστής-παλάμης ο οποίος έχει ενσωματωμένη ασύρματη κάρτα δικτύου και εγκαταστημένο το freeware λογισμικό net stumbler για πληροφορίες του είδους προστασίας που χρησιμοποιείται από κάθε ασύρματο δίκτυο (WEP,WPA). Ανακαλύφθηκαν 20 ασύρματα δίκτυα από τα οποία μόνο δύο έχουν προστασία WPA. Δηλαδή στο 90% των εγκαταστημένων ασύρματων δικτύων η προσφερόμενη ασφάλεια είναι προβληματική. Αυτό σημαίνει ότι μάλλον οι χρήστες δεν διαθέτουν καινούριο εξοπλισμό (access point) που να υποστηρίζει WPA αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια, το μόνο σίγουρο είναι ότι είναι αναγκασμένοι να προφυλάξουν καλύτερα τα δίκτυα τους.

## 2. ΠΟΛΥΜΕΣΑ

Τα πολυμέσα είναι ο συνδυασμός μέσων που πρέπει να παιχτούν κατά την διάρκεια κάποιου καλά ορισμένου χρονικού διαστήματος, συνήθως με κάποια αλληλεπίδραση με τον χρήστη. Στην πράξη, τα μέσα αυτά είναι ο ήχος και το βίντεο, δηλαδή ήχος συν κινούμενες εικόνες [7]. Γι'αυτόν τον λόγο θα εστιάσουμε κυρίως στην τεχνολογία του βίντεο.

Το βίντεο το οποίο αποτελεί μια σύνθεση εικόνας και ήχου πάντα ήτανε ένα από τα πιο σημαντικά μέσα οικιακής ψυχαγωγίας και επικοινωνίας. Το αναλογικό βίντεο είχε πολλά μειονεκτήματα. Κακή ποιότητα εικόνας και ήχου με προβλήματα στην φωτεινότητα, στο χρώμα, στην ευκρίνεια κτλ. Επίσης χρονοβόρα, δύσκολη και με αρκετούς περιορισμούς διαδικασία επεξεργασίας του υλικού. Με την πρόοδο της επιστήμης της πληροφορικής και την εισαγωγή στον ψηφιακό κόσμο η εξέλιξη του χώρου αυτού είναι το ψηφιακό βίντεο.

Τα πλεονεκτήματα του ψηφιακού βίντεο είναι πολυάριθμα και ευρέως γνωστά. Προσφέρει σημαντικά καλύτερη ποιότητα εικόνας και ήχου αυξάνοντας την ευκρίνεια της εικόνας και αφαιρώντας τον θόρυβο, δυνατότητα εύκολης και αποδοτικής επεξεργασίας όπως είναι η αποθήκευση και η τροποποίηση (εφέ, μοντάζ κτλ) μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων και άλλων πλατφόρμων πολυμέσων.

Σήμερα τα CD, τα DVD, το Internet, η δορυφορική και η καλωδιακή τηλεόραση, οι φωτογραφικές μηχανές και τα κινητά τηλέφωνα, μας αποδεικνύουν ότι η καταγραφή, η αναπαραγωγή και η μετάδοση του ψηφιακού βίντεο είναι κομμάτι της καθημερινότητας.

Πραγματοποιώντας ψηφιοποίηση του βίντεο, ο όγκος της πληροφορίας που προκύπτει είναι τεράστιος. Για την μετάδοση του χρειάζονται τουλάχιστον 240 Mbps δηλαδή 30 MB/sec. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης είναι απαγορευτικός αφού για παράδειγμα η ταχύτητα του CD φθάνει μέχρι 20 Mbps δηλαδή δώδεκα φορές μικρότερη. Επίσης ένα DVD το οποίο έχει χωρητικότητα 4.7 GB δεν επαρκεί για την

αποθήκευση μιας κινηματογραφικής ταινίας ενενήντα λεπτών ( $90 \times 60=5400$  sec) ασυμπίεστου ψηφιακού βίντεο, αφού η αποθήκευση του θα απαιτούσε  $30 \times 5400 =162$  GB, δηλαδή τουλάχιστον 35 DVD.

Γι' αυτό όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό δεν γίνεται μόνο μετάδοση αλλά και αποθήκευση ψηφιακού βίντεο και γενικότερα υλικού πολυμέσων σε ασυμπίεστη μορφή. Επομένως το σήμα πρέπει να συμπιεστεί. Υπάρχουν πολλές τεχνικές συμπίεσης εικόνας και βίντεο και αλγόριθμοι που καθιστούν εφικτή την μετάδοση πολυμέσων. Όλα τα συστήματα συμπίεσης απαιτούν έναν αλγόριθμο για την συμπίεση δεδομένων στην πηγή και έναν άλλον για την αποσυμπίεση στον προορισμό τους

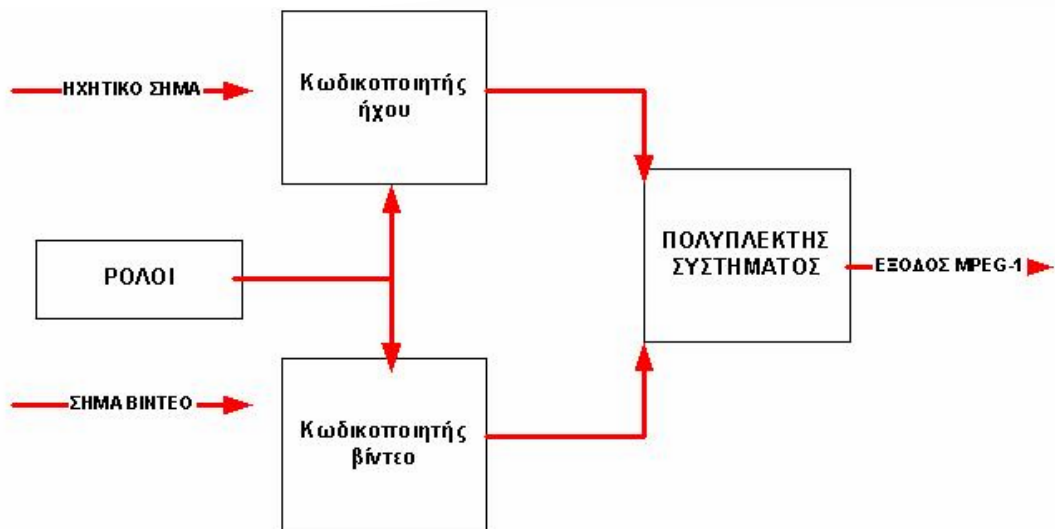
Οι βασικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την συμπίεση βίντεο είναι τα πρότυπα της ομάδας MPEG (Motion Picture Experts Group). Τα πρότυπα αυτά είναι θεσπισμένα από τον διεθνή οργανισμό πιστοποίησης, με την πρώτη επικύρωση τους το 1993 [7].

Το πρώτο πρότυπο που παρουσιάστηκε είναι το MPEG-1. Στο MPEG-1 η αποθήκευση και η ανάκτηση εικόνας και ήχου σε ψηφιακά μέσα φτάνει τον ρυθμό μετάδοσης 1.5Mbps παρουσιάζοντας ανάλυση εικόνας  $352 \times 240$  (NTSC) ή  $352 \times 288$  pixels (PAL) και η ποιότητά της είναι σε επίπεδα VHS video. Ο ήχος έχει δύο κανάλια για στερεοφωνική μουσική ή διπλό μονοφωνικό με εύρος στα 44.1KHz (CD). Χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση βίντεο σε CD-ROM του προτύπου VCD (Video CD).

Η πολυπλεξία του σήματος στο MPEG-1 παρουσιάζεται στο σχήμα 6.

Οι κωδικοποιητές ήχου και βίντεο λειτουργούν ανεξάρτητα. Γι' αυτό τον λόγο υπάρχει ένα ρολόι των 90 KHz που δίνει την τρέχουσα τιμή του χρόνου στους κωδικοποιητές, έτσι ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα συγχρονισμού των δύο συρμών στον πολυπλέκτη του συστήματος.

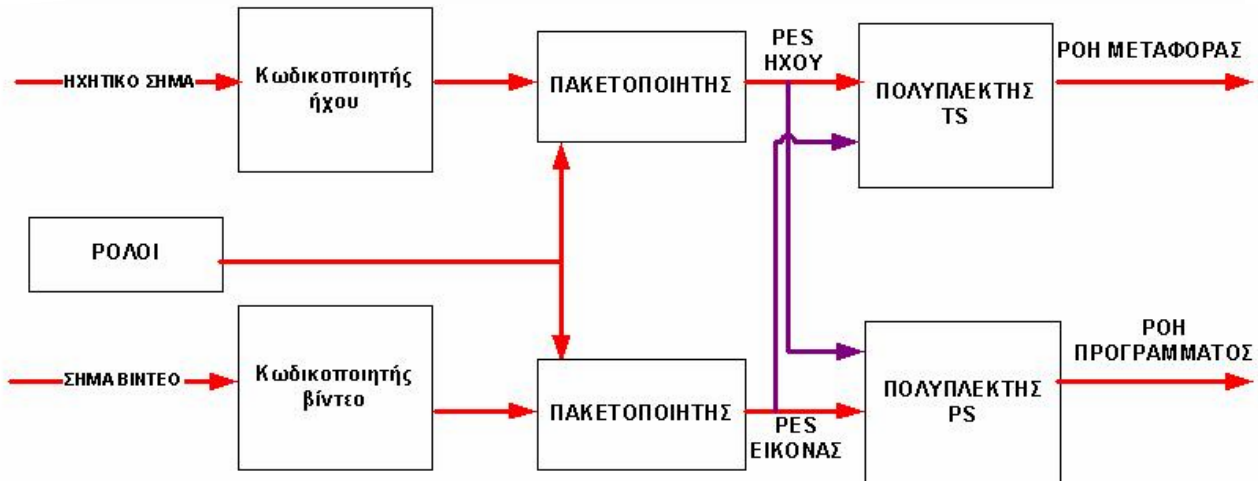




Σχήμα 6. Διαδικασία παραγωγής του MPEG-1 σήματος.

Το επόμενο πρότυπο της οικογένειας MPEG είναι το MPEG-2. Στο MPEG-2 ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας κυμαίνεται από 1.5 Mbps μέχρι 15 Mbps [8]. Παρουσιάζει ανάλυση εικόνας 704×480 pixels (NTSC) ή 704×576 pixels (PAL). Ο ήχος είναι πολυκαναλικός έξι καναλιών (το πολυκαναλικό σύστημα είναι και γνωστό ως 3/2) με εύρος 48 KHz. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση κινηματογραφικών ταινιών στα DVD, αλλά και σε όλα τα είδη της ψηφιακής τηλεόρασης. Δηλαδή στην καλωδιακή τηλεόραση DVB-C (Digital Video Broadcasting Cable), στην δορυφορική τηλεόραση DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite), στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (Digital Video Broadcasting Terrestrial) και στην φορητή ψηφιακή τηλεόραση (Digital Video Broadcasting Handheld). Θα ήταν ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η Ελληνική κρατική τηλεόραση ανακοίνωσε επίσημα την πειραματική εκπομπή ψηφιακού σήματος αξιοποιώντας την τεχνολογία της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

Η πολυπλεξία του σήματος στο MPEG-2 παρουσιάζεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7. Διαδικασία παραγωγής του MPEG-2 σήματος

Στο σύστημα είναι δυνατόν να εισαχθεί ένας απεριόριστος αριθμός εισόδων εικόνας, ήχου αλλά και δεδομένων (για παράδειγμα υπότιτλοι σε διάφορες γλώσσες). Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται η απλή περίπτωση για μια μόνο είσοδο εικόνας και ήχου. Τα σήματα της εικόνας και ήχου κωδικοποιούνται και συμπιέζονται. Τα δεδομένα εισάγονται σε πακετοποιητές. Η έξοδος κάθε πακετοποιητή είναι μια πακετοποιημένη στοιχειώδη ροή αντίστοιχα για εικόνα και ήχο. Τα πακέτα της ροής που παράγονται εκτός από τα συμπιεσμένα δεδομένα εικόνας και ήχου περιέχουν και διάφορες σημασιολογικές πληροφορίες χρονισμού, κ.λ.π.

Έχουν οριστεί δύο τύποι ροών, η ροή μεταφοράς (transport stream) και η ροή προγράμματος (programme stream). Τα πακέτα στην ροή προγράμματος έχουν μεταβλητό και μεγάλο μήκος ενώ τα πακέτα στην ροή μεταφοράς έχουν σταθερό μήκος των 188 byte. Η κάθε μορφή κωδικοποίησης είναι κατάλληλη για διαφορετικές εφαρμογές. Η ροή προγράμματος σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί για τις περιπτώσεις stored-based συστημάτων (για παράδειγμα DVD) όπου δεν έχουμε σφάλματα και για εφαρμογές στις οποίες μπορεί να γίνει λογισμική επεξεργασία των πληροφοριών του συστήματος.

Η ροή μεταφοράς σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε broadcasting εφαρμογές. Για παράδειγμα όπως έχει προαναφερθεί, η ροή (ρεύμα) μεταφοράς MPEG-2 χρησιμοποιείται στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T) και περιέχει τις πολυπλεγμένες υπηρεσίες εικόνας, ήχου και δεδομένων. Το καινούριο πρότυπο της οικογένειας MPEG είναι το MPEG-4. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε με το σκεπτικό τις μετάδοσης βίντεο σε δίκτυα με μικρό διαθέσιμο bandwidth ανά συνδρομητή, για παράδειγμα τα σημερινά ασύρματα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Μια σημαντική καινοτομία του MPEG-4 είναι η κωδικοποίηση των δεδομένων της εικόνας και του ήχου σε αντικείμενα (objects) ή πακέτα αντικειμένων. Με αυτόν τον τρόπο οι θεατές και ακροατές δεν παραμένουν πλέον παθητικοί. Στα μέχρι πρότινος οπτικοακουστικά συστήματα ο χρήστης μπορούσε απλώς να διακόπτει και να επανεκκινεί ένα βίντεο ενώ ήταν σε εξέλιξη. Στον αλγόριθμο συμπίεσης MPEG-4 υποστηρίζεται η πλήρης διαδραστικότητα. Έτσι το MPEG-4 είναι τελείως διαφορετικό, επιτρέπει στον χρήστη να επιδρά σε αντικείμενα μέσα στη σκηνή, είτε αυτά προέρχονται από πραγματικές πηγές, όπως κινούμενο βίντεο, ή από συνθετικές, όπως γραφικά υπολογιστών. Οι συγγραφείς τέτοιων σκηνών μπορούν να δίνουν στο χρήστη την δυνατότητα να σβήνουν ή να προσθέτουν αντικείμενα, να αλλάζουν την συμπεριφορά τους, κτλ. Θα ήταν ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η γλώσσα που χρησιμοποιεί το MPEG-4 για περιγραφή και δυναμική αλλαγή της σκηνής ονομάζεται BIFS (Binary Format for Scene) [9]. Οι εντολές της είναι κατάλληλες, όχι μόνο για να προσθέτουν ή να αφαιρούν αντικείμενα στη σκηνή, αλλά και για να αλλάζουν τις οπτικές ή ακουστικές ιδιότητες ενός αντικειμένου, χωρίς να αλλάζουν το ίδιο το αντικείμενο. Στο MPEG-4 ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας κυμαίνεται από 4.8 μέχρι 64 Kbps. Η ανάλυση της εικόνας είναι 176×144 pixels, ενώ ο ήχος έχει μόνο ένα κανάλι με εύρος 8KHz (τηλεφωνικής ποιότητας ήχος). Το MPEG-4 χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές επικοινωνίας πολυμέσων όπως είναι η τηλεδιάσκεψη (video-conference), το video-phone, το video-email κ.ο.κ. Αξίζει να σημειωθεί ότι το έτος 2003 η ITU (International Telecommunication Union) και η ομάδα MPEG (Motion Picture Experts Group) ανακοινώσανε την ανάπτυξη από κοινού ένα νέο πρότυπο συμπίεσης ψηφιακού βίντεο. Το πρότυπο αυτό αναφέρεται από την ITU ως H.264 AVC (Advanced Video Coding) ενώ από την MPEG ως MPEG-4 Part 10 [10]. Το στάνταρτ H.264 (MPEG-4 Part 10) αναμένεται να επιτυγχάνει περαιτέρω μείωση του ρυθμού μετάδοσης περίπου κατά 20% σε σχέση με το MPEG-4 και συγχρόνως καλύτερη ποιότητα εικόνας και ήχου. Η ανάλυση του βίντεο στο H.264 είναι 320×240

pixels ενώ στο MPEG-4 είναι 176×144 pixels. Το H.264 θα χρησιμοποιηθεί στα κινητά τρίτης γενιάς αλλά και στο DMB (Digital Multimedia Broadcasting), το οποίο είναι ένα σύστημα αναπαραγωγής αρχείων πολυμέσων (βίντεο και μουσικής) και είναι η εξέλιξη του προτύπου ψηφιακού ραδιοφώνου DAB (Digital Audio Broadcasting) Eureka-147.

Οι δοκιμές για την ανάπτυξη και την εφαρμογή των τεχνολογιών H.264 και MPEG-4 είναι υπό εξέλιξη. Αντίθετα οι τεχνολογίες MPEG-1 και MPEG-2 είναι ευρέως διαδεδομένες και έχουν τεθεί σε εκτεταμένη εφαρμογή.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βασικά πρότυπα MPEG

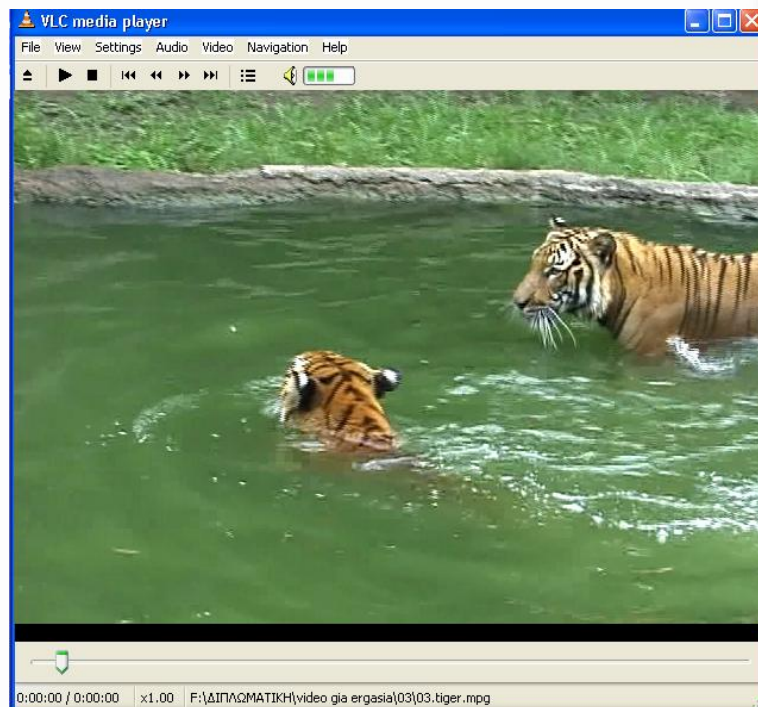
	<i>MPEG1</i>	<i>MPEG2</i>	<i>MPEG-4</i>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>	VCD	DVD & DVB	ΚΙΝΗΤΑ 3ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ</b>	352×228	720×480	1766×144
<b>ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ</b>	1.5 Mbps	1.5-15 Mbps	4.8-64 Kbps
<b>ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΗΧΟΥ</b>	CD (2 ΚΑΝΑΛΙΑ)	ΠΟΛΥΚΑΝΑΛΟΣ- CINEMA	ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ (1 ΚΑΝΑΛΙ)

Σχήμα 8. Πρότυπα MPEG

Σύμφωνα με υπόδειξη [11] της διεθνούς ένωσης ITU (International Telecommunication Union) δεν υπάρχει αντικειμενικός τρόπος να μετρήσουμε και να αξιολογήσουμε την ποιότητα ενός βίντεο, αφού κατά την παρακολούθηση από μια ομάδα ατόμων ενός προγράμματος, το θέμα ποιότητας του βίντεο είναι καθαρά υποκειμενικό.

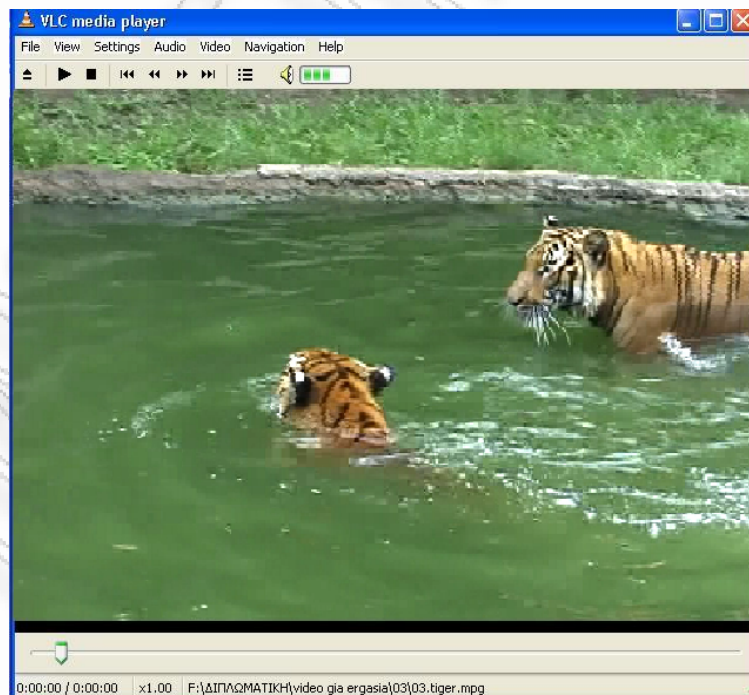
Σίγουρα όμως η ποιότητα του ψηφιακού βίντεο μπορεί να χαρακτηριστεί από την ανάλυσή του (resolution), δηλαδή πόσα pixels υπάρχουν οριζόντια και κάθετα αλλά και πόσα frames το δευτερόλεπτο απεικονίζονται στην οθόνη. Επίσης, είναι εύκολα αντιληπτό ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης (bit rate) ενός βίντεο αυξάνεται και η ποιότητα της εικόνας και του ήχου. Για παράδειγμα στα σχήματα 9 και 10 παρουσιάζεται το ίδιο βίντεο MPEG-2 κωδικοποιημένο με διαφορετικό bit rate (ρυθμό μετάδοσης). Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το freeware πρόγραμμα Tsunami MPEG Encoder για να κωδικοποιήσει τα αρχεία βίντεο. Το αρχείο του βίντεο ονομάζεται «03.tiger», είναι MPEG-2 και για την αναπαραγωγή του

χρησιμοποιήθηκε το freeware λογισμικό VLC media player. Στο σχήμα 9 το βίντεο έχει κωδικοποιηθεί κοντά στα 4.23 Mbps.



Σχήμα 9. Το βίντεο κωδικοποιημένο στα 4.23Mbps

Στο σχήμα 10 το βίντεο έχει κωδικοποιηθεί κοντά στα 1.52 Mbps



Σχήμα 10. Το βίντεο κωδικοποιημένο στα 1.52Mbps

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, το βίντεο με bit rate 4.23Mbps έχει καλύτερη εικόνα από το βίντεο με bit rate 1.52Mbps

### 3 STREAMING

Υπάρχουν δύο τεχνικές για την παρακολούθηση αρχείων πολυμέσων μέσω δικτύων υπολογιστών. Η πρώτη τεχνική είναι το downloading και η δεύτερη το streaming.

Στην πρώτη τεχνική ο χρήστης είναι αναγκασμένος να κατεβάσει ολόκληρο το αρχείο στον υπολογιστή του για να μπορέσει να το παρακολουθήσει. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του αρχείου, τόσο αυξάνει η καθυστέρηση και η αναμονή. Για παράδειγμα εάν η ταχύτητα σύνδεσης του χρήστη είναι χαμηλή, τότε για ένα αρχείο εξήντα δευτερολέπτων ο χρήστης χρειάζεται περίπου μισή ώρα ώστε να κατέβει ολόκληρο το αρχείο.

Η δεύτερη τεχνική είναι το streaming. Streaming είναι η τεχνική κατά την οποία ένας χρήστης (client) αναπαράγει ένα ακουστικό ή τηλεοπτικό αρχείο το οποίο κατεβάζει από έναν εξυπηρετητή (server) προτού παραλάβει ολόκληρο το αρχείο [12]. Κατά την τεχνική αυτή λοιπόν, το αρχείο αποστέλλεται στον χρήστη (client) με την μορφή μιας συνεχής ροής και ο χρήστης το παρακολουθεί από την άφιξη των πρώτων πακέτων στον υπολογιστή του, χωρίς να χρειάζεται να παραλάβει όλα τα δεδομένα. Η τεχνολογία streaming μας προσφέρει και την δυνατότητα παρακολούθησης ζωντανού πολυμεσικού προγράμματος (για παράδειγμα live video) από τους χρήστες, με περιορισμούς βέβαια όσο αφορά το μέγεθος και την ποιότητα του σήματος.

Το streaming χρησιμοποιεί την τεχνική buffering. Τα δεδομένα που αποστέλλονται στον χρήστη αποθηκεύονται σε κάποιους προσωρινούς καταχωρητές (buffers). Στην συνέχεια τα δεδομένα αυτά προβάλλονται, ενώ ταυτόχρονα γίνεται η μετάδοση νέων δεδομένων από τον server στον client. Τα νέα δεδομένα αποθηκεύονται με την σειρά τους στους προσωρινούς καταχωρητές και προβάλλονται κ.ο.κ. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει περίοδο αναμονής από τον χρήστη, ο οποίος παρακολουθεί το πολυμεσικό αρχείο (βίντεο, ήχος) με την μορφή συνεχής ροής.

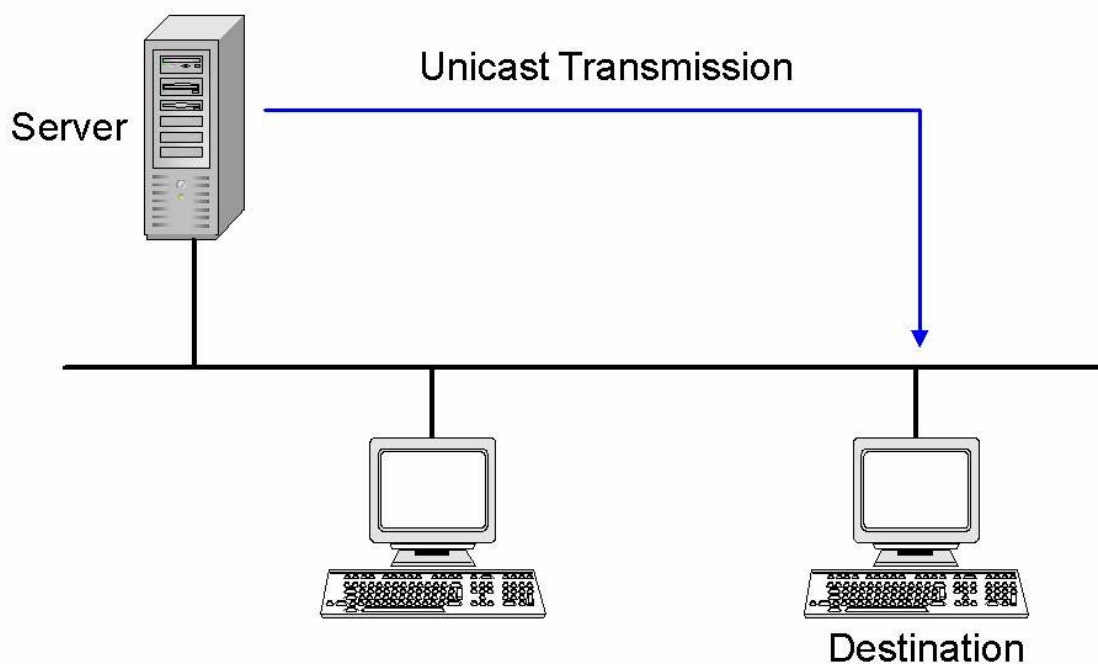
Να σημειωθεί ότι για την προβολή ενός πολυμεσικού αρχείου για παράδειγμα βίντεο, ο client θα πρέπει να διαθέτει και το κατάλληλο πρόγραμμα το οποίο θα υποστηρίζει την μορφή (format) βίντεο που αποστέλλει ο server.

Η τεχνική streaming χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όπως στο video on demand (βίντεο κατά παραγγελία), βίντεο-τηλέφωνο (videophone), τηλεδιάσκεψη (video conferencing) κ.ο.κ.. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες streaming μετάδοσης. Η συνεχής ροή πληροφορίας μπορεί να δρομολογηθεί από τον server στον client είτε

- κατά unicast,
- κατά broadcast,
- κατά multicast.

### 3.1 UNICAST

Η συνηθισμένη μέθοδος επικοινωνίας σε δίκτυα υπολογιστών στηρίζεται στη δρομολόγηση unicast. Στην unicast μετάδοση υπάρχει η δυνατότητα αποστολής δεδομένων από έναν συγκεκριμένο υπολογιστή μόνο προς έναν άλλον υπολογιστή κάθε χρονική στιγμή (one-to-one). Με άλλα λόγια, υπάρχει μια πηγή ροής δεδομένων (ένας server ή απλός υπολογιστής), η οποία αποστέλλει τα δεδομένα προς έναν και μοναδικό προορισμό. Στο σχήμα 11 απεικονίζεται ένα παράδειγμα unicast μετάδοσης.

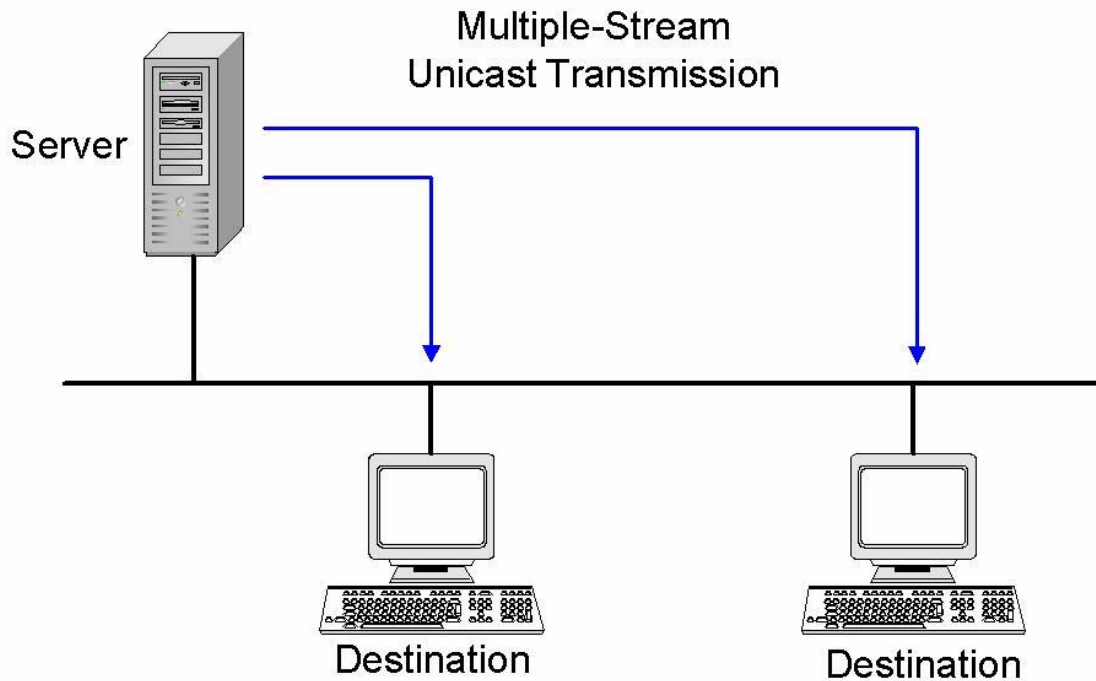


Σχήμα 11. Unicast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών.

Εάν ένας υπολογιστής θέλει να αποστείλει την ίδια πληροφορία σε πολλούς αποδέκτες τότε θα πρέπει να επαναλάβει την αποστολή της πληροφορίας σε κάθε αποδέκτη. Δηλαδή εάν πολλοί clients επιθυμούν την παραλαβή του ίδιου περιεχομένου, τότε ο server θα πρέπει να αποστέλλει ολόκληρη την ροή δεδομένων για κάθε παραλήπτη. Το γεγονός αυτό, προκαλεί κατανάλωση και σπατάλη χωρίς λόγο του εύρους ζώνης (bandwidth) του δικτύου.



Στο σχήμα 12 απεικονίζεται ένα παράδειγμα πολλαπλών unicast μεταδόσεων



Σχήμα 12. Πολλαπλές εκπεμπόμενες unicast ροές σε ένα δίκτυο υπολογιστών.

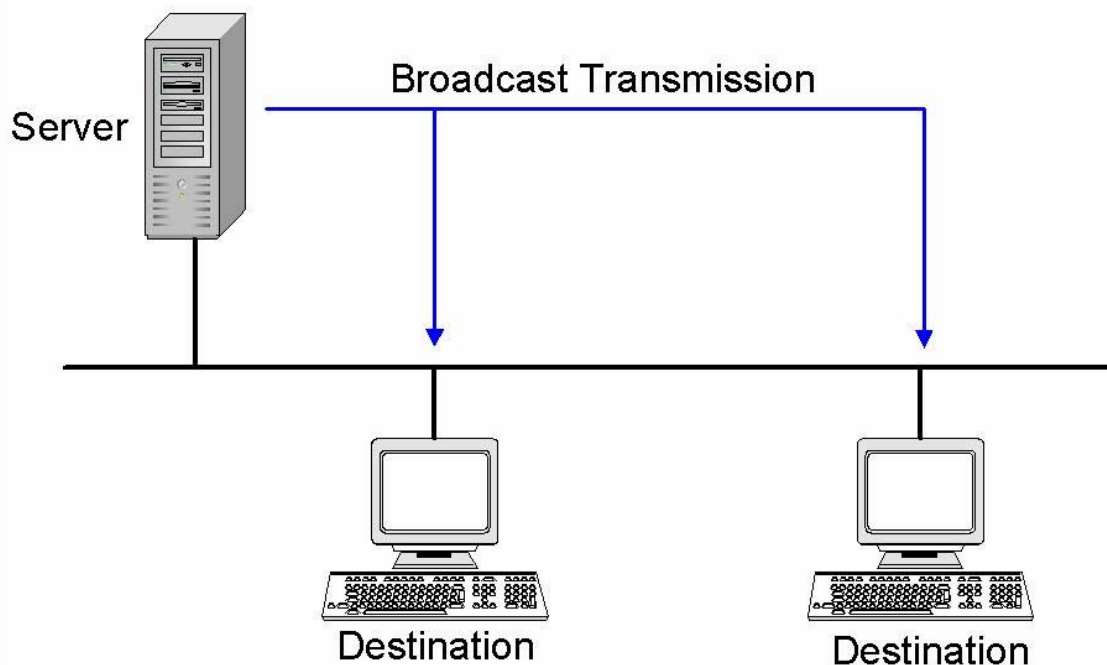
Η unicast μετάδοση χρησιμοποιείται για τις κλασικές εφαρμογές client-server όπως για παράδειγμα είναι η πρόσβαση ενός client σε μια βάση δεδομένων που υπάρχει σε έναν server. Στο σημερινό Internet χρησιμοποιείται πολύ συχνά όταν ένας χρήστης πραγματοποιεί stream ενός αρχείου βίντεο από μία ιστοσελίδα. Τα αρχεία βίντεο είναι ανεβασμένα στον server και ο χρήστης μόλις πραγματοποιεί κλικ σε κάποιο hyperlink, ο player που διαθέτει ανοίγει και αρχίζει την αναπαραγωγή του αρχείου.

### 3.2 BROADCAST

Στην broadcast μετάδοση η πηγή ροής δεδομένων (ένας server ή απλός υπολογιστής), αποστέλλει τα δεδομένα προς όλους τους υπολογιστές (clients) που βρίσκονται στο δίκτυο κάθε χρονική στιγμή (one-to-all). Με άλλα λόγια η πηγή αποστέλλει μία και μοναδική ροή δεδομένων την οποία την παραλαμβάνουν όλοι οι χρήστες.

Πρέπει να τονιστεί ότι οι πληροφορίες αποστέλλονται στους clients είτε το θέλουν είτε όχι. Δηλαδή οι χρήστες λαμβάνουν αναγκαστικά τα πακέτα δεδομένων. Στην μέθοδο αυτή δεν σπαταλάται εύρος ζώνης (αφού αποστέλλεται μία ροή δεδομένων) αλλά φυσικά αφού οι υπολογιστές λαμβάνουν αναγκαστικά τα δεδομένα έχουν κατανάλωση σε CPU και μνήμη με αποτέλεσμα μικρές αποδόσεις.

Η broadcast μετάδοση χρησιμοποιείται κυρίως όταν επιθυμείται να ειδοποιηθούν οι χρήστες ενός δικτύου για κάποιο γεγονός, π.χ. ειδοποίηση ότι στο δίκτυο θα λάβει χώρα κάποια συντήρηση. Στο σχήμα 13 απεικονίζεται ένα παράδειγμα broadcast μετάδοσης.

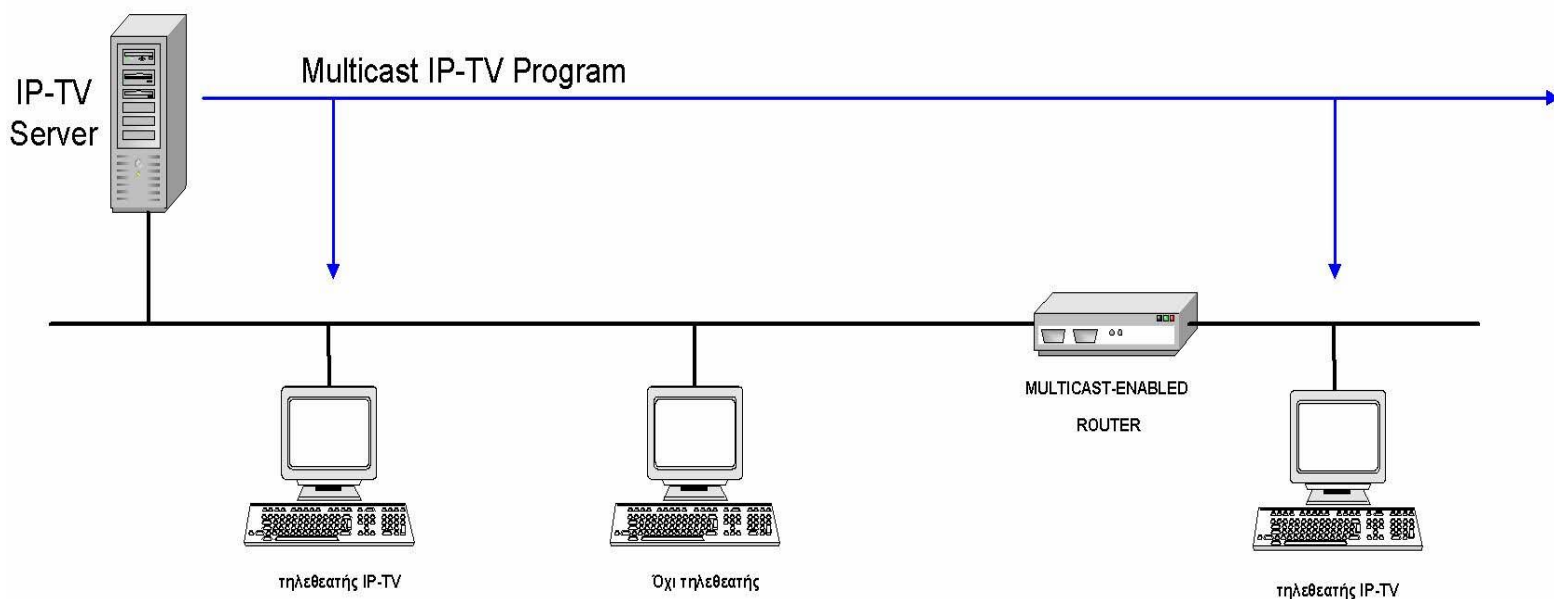


Σχήμα 13. Broadcast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών .

### 3.3 MULTICAST

Στην multicast μετάδοση (one-to-many) η πηγή (ένας server ή απλός υπολογιστής), αποστέλλει μία και μοναδική ροή δεδομένων ανεξάρτητα από τον αριθμό των αποδεκτών. Η πηγή αποστέλλει την ροή των δεδομένων σε μία ειδική διεύθυνση IP. Για τη δρομολόγηση της πληροφορίας χρησιμοποιούνται οι διευθύνσεις IP 224.0.0.0 - 239.255.255.255. Κάθε υπολογιστής που ανήκει στο δίκτυο και θέλει να λάβει τη ροή των δεδομένων γράφεται και γίνεται μέλος του γκρουπ που ακούει στη συγκεκριμένη διεύθυνση. Ενώ στην περίπτωση που δεν θέλει να λάβει την ροή των δεδομένων απλά δεν γράφεται στην multicast διεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες επιλέγουν εάν θα λάβουν τα δεδομένα ή όχι. Να σημειωθεί ότι οι δρομολογητές (routers) του δικτύου πρέπει να έχουν ενεργοποιημένες τις αντίστοιχες multicast ρυθμίσεις. Οι δρομολογητές αυτοί ονομάζονται δρομολογητές πολλαπλής διανομής m-routers (multicast routers). Οι δρομολογητές αναδιανέμουν στους γειτονικούς τους μόνο ένα αντίγραφο της ροής της πληροφορίας στην αντίστοιχη διεύθυνση. Οι χρήστες κάνουν αίτηση εγγραφής στον πιο κοντινό δρομολογητή.

Στην μέθοδο αυτή, το δίκτυο επιβαρύνεται με μόνο μία ροή πληροφορίας, με αποτέλεσμα να μην σπαταλάται και καταναλώνεται το εύρος ζώνης του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται έξυπνη και σωστή διαχείριση του δικτύου. Στο σχήμα 14 απεικονίζεται ένα παράδειγμα multicast μετάδοσης.



Σχήμα 14. Multicast μετάδοση σε ένα δίκτυο υπολογιστών.

Θα ήταν ενδιαφέρον να σημειωθούν τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται κατά τη multicast μετάδοση. Είναι το Πρωτόκολλο Δρομολόγησης Πολλαπλής Διανομής με Διανύσματα Αποστάσεων DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) το οποίο είναι βασισμένο στον αλγόριθμο διανυσμάτων αποστάσεων Bellman-Ford [7], ο αλγόριθμος Ανεξάρτητης Πολλαπλής Διανομής από Πρωτόκολλο PIM (Protocol Independent Multicast) το οποίο υπάρχει σε δύο παραλλαγές (version 1 και version 2), το πρωτόκολλο MOSPF το οποίο είναι τροποποίηση του πρωτοκόλλου Δρομολόγησης Πρώτης Συντομότερης Διαδρομής OSPF (Open shortest Path First) για πολλαπλή διανομή, και τέλος το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδων Internet IGMP (Internet Group Management Protocol) το οποίο έχει μόνο δύο είδη πακέτων ερώτηση και απάντηση και χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία όπου ένας (multicast router) δρομολογητής στέλνει ένα πακέτο και ρωτά για το ποιος ενδιαφέρεται για το κανάλι και οι host που επιθυμούν να λάβουν το κανάλι στέλνουν πίσω ένα πακέτο απάντησης.

Η multicast μετάδοση χρησιμοποιείται κυρίως όταν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός clients που θέλουν να παρακολουθήσουν πολυμεσικό περιεχόμενο (multimedia). Χρησιμοποιείται για τηλεδιάσκεψη (video conferencing), για μετάδοση ζωντανού πολυμεσικού προγράμματος (live video), βίντεο κατά παραγγελία (video on demand) και γενικότερα για μετάδοση ραδιοφωνικού και τηλεοπτικού προγράμματος μέσω internet (IP-TV). Αξίζει να σημειωθεί ότι μία σημαντική multicast εφαρμογή είναι το Δίκτυο Σκελετού Διανομής MBone (Multicast Backbone) [7]. Το MBone αποτελεί μια ακαδημαϊκή υλοποίηση και λειτουργεί από το 1992 μέσω του οποίου έχουν μεταδοθεί πολλά επιστημονικά συνέδρια και αξιοσημείωτα επιστημονικά γεγονότα όπως για παράδειγμα εκτοξεύσεις διαστημικών πυραύλων.

## **4. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

Σε αυτή την ενότητα παραθέτουμε τα δωρεάν εργαλεία για την παρακολούθηση (monitoring) ενός δικτύου. Τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται ώστε να μπορεί ο διαχειριστής του κάθε δικτύου να λαμβάνει σημαντικές πληροφορίες για το δίκτυό του. Τέτοιες, πληροφορίες είναι το bandwidth, top connections, πρωτόκολλα, collisions, και άλλα χρήσιμα μεγέθη του δικτύου. Είναι αξιοσημείωτο, ότι τα εργαλεία αυτά δεν λειτουργούν αυτόνομα αλλά χρησιμοποιούν τα είδη υπάρχοντα πρωτόκολλα διαχείρισης ενός δικτύου, τα οποία θα αξιολογήσουμε στην επόμενη παράγραφο.

### **4.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ**

- ✓ SMTP (Simple Network Management Protocol)

Το SMTP είναι το βασικό πρωτόκολλο για συλλογή παραμέτρων χωρητικότητας και χρήσης του δικτύου. Είναι μέρος του TCP/IP και επιτρέπει στους διαχειριστές να παρακολουθούν την απόδοση του δικτύου και να επιλύουν τα προβλήματα που τυχόν εμφανίζονται. Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της χρήσης των δρομολογητών και μεταγωγέων (routers and switches) καθώς και για την παρακολούθηση της χρήσης των συσκευών του δικτύου (servers) όπως χρήση μνήμης, ποσοστό χρήση της CPU κ.ο.κ. Ένα δίκτυο στο οποίο γίνεται διαχείριση με SNMP έχει τρία βασικά στοιχεία: διαχειριζόμενες συσκευές, πράκτορες (agents) και συστήματα διαχείρισης δικτύου (Network Management Systems- NMS). Μία διαχειριζόμενη συσκευή είναι ένας κόμβος του δικτύου ο οποίος περιέχει ένα SNMP πράκτορα και βρίσκεται μέσα στο διαχειριζόμενο δίκτυο. Οι διαχειριζόμενες συσκευές συλλέγουν και αποθηκεύουν

πληροφορίες και τις διαθέτουν στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου με χρήση του SNMP. Ένας πράκτορας έχει γνώση των τοπικών πληροφοριών διαχείρισης και τις μετατρέπει σε μορφή η οποία να είναι συμβατή με το SNMP. Στη συνέχεια ένα σύστημα διαχείρισης δικτύου εκτελεί εφαρμογές οι οποίες παρακολουθούν και ελέγχουν τις διαχειριζόμενες συσκευές. Το σύστημα διαχείρισης του δικτύου προσφέρει τον κύριο όγκο των πόρων επεξεργασίας που απαιτούνται για τη διαχείριση. Τέλος, στις σύγχρονες συσκευές χρησιμοποιείται η δεύτερη έκδοση του SNMP (SNMPv2).

#### ✓ Packet Sniffing

Το πρωτόκολλο αυτό προσφέρει εποπτεία και παρακολούθηση όλων των πακέτων που διακινούνται στο υπο-παρακολούθηση δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η χρήση του δικτύου (bandwidth usage).

#### ✓ NetFlow protocol

Το NetFlow είναι το πιο ισχυρό πρωτόκολλο για μέτρηση της χρήσης της χωρητικότητας του δικτύου (bandwidth usage). Δημιουργήθηκε από την εταιρεία Cisco και χρησιμοποιήθηκε αρχικά ενσωματωμένο στο λειτουργικό σύστημα των συσκευών της Cisco. Είναι κατάλληλο για δίκτυα με ιδιαίτερα υψηλή κίνηση. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο δημιουργούν εγγραφές τύπου Netflow (Netflow Records) και ο διαχειριστής του δικτύου συλλέγει αυτές τις εγγραφές με ειδικό λογισμικό (Netflow collectors). Μια εγγραφή τύπου Netflow περιέχει πληροφορίες, όπως διεύθυνση παραλήπτη και αποστολέα των πακέτων, Type of service (ToS), TCP flags, και άλλες εγγραφές ανάλογα με την έκδοσή του. Οι πιο πολλές δικτυακές συσκευές που χρησιμοποιούν Netflow έχουν την έκδοση 5, αλλά σήμερα το πρωτόκολλο έχει φθάσει στην έκδοση 9.

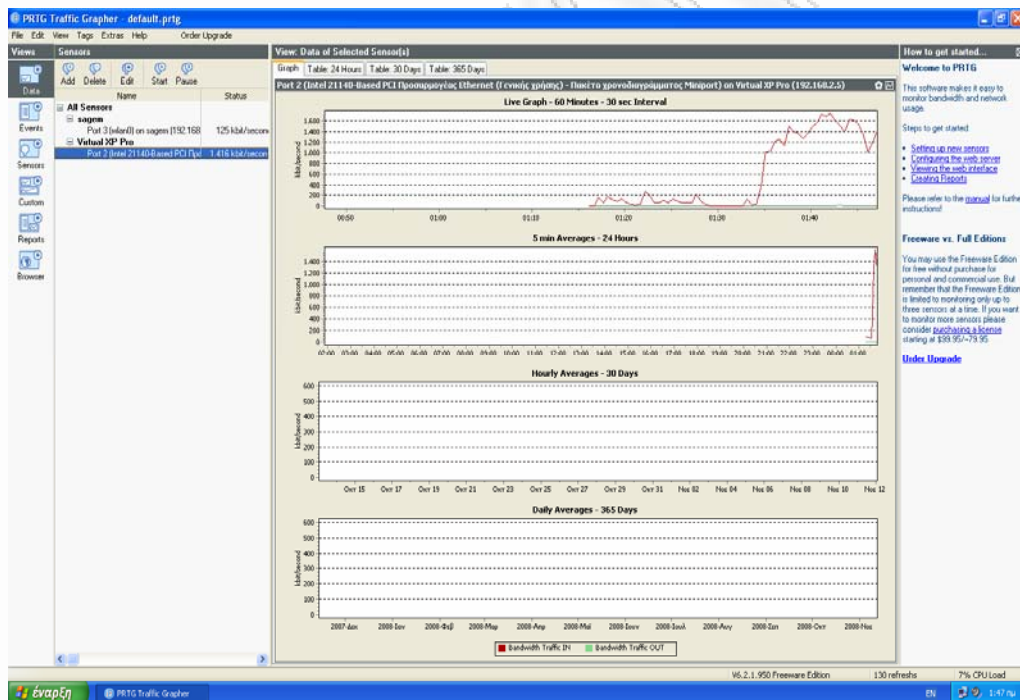
#### ✓ Remote Monitoring

Χρησιμοποιείται για την απομακρυσμένη διαχείριση δικτύου. Με το Remote Monitoring, οι διαχειριστές δικτύων μπορούν να συλλέξουν τις πληροφορίες από τα μακρινά τμήματα του δικτύου.

## 4.2 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

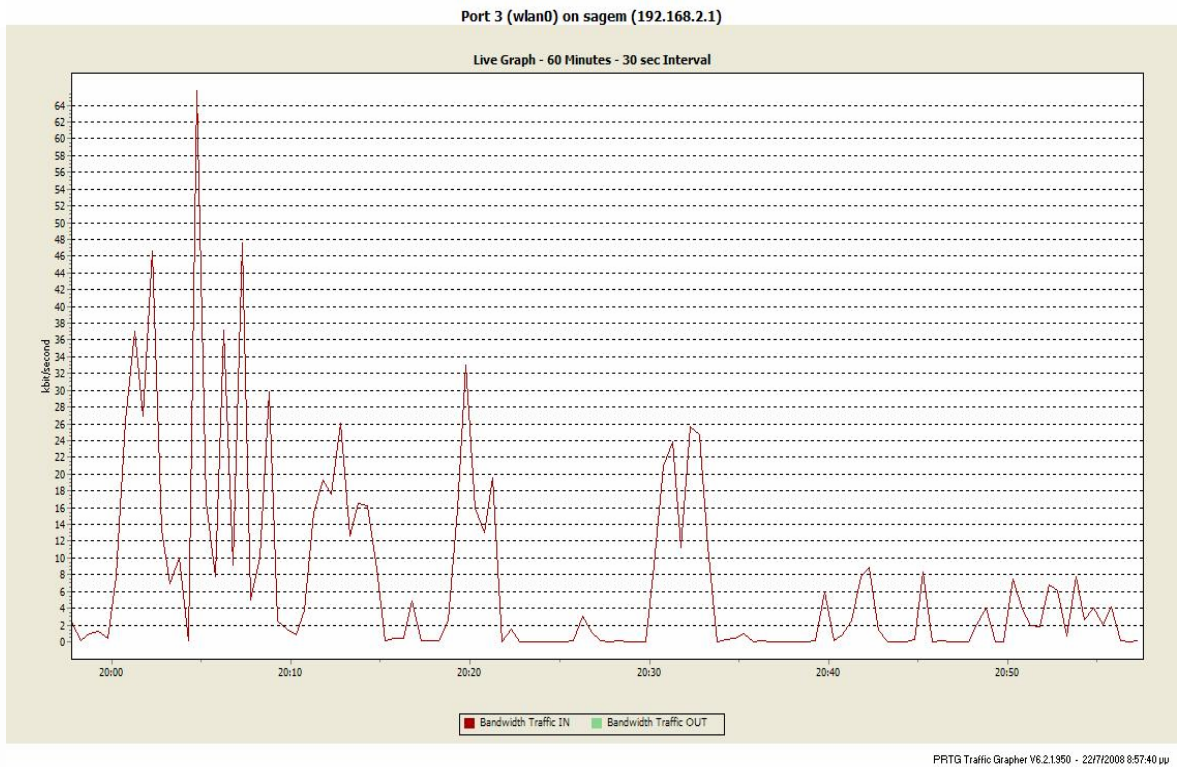
### ✓ PRTG

Είναι ένα εύχρηστο γραφικό εργαλείο, ελεύθερης διανομής, για την παρακολούθηση του δικτύου, το οποίο λειτουργεί κάτω από το λειτουργικό σύστημα των Windows. Μέσω του εργαλείου αυτού οι διαχειριστές μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο και σε 24-ωρη βάση τις παραμέτρους χρήσης του δικτύου (π.χ. χρήση της χωρητικότητας του δικτύου – bandwidth usage). Οι παράμετροι που παρακολουθούνται αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων για να μπορούν να ανακτηθούν από το σύστημα με σκοπό την παραγωγή στατιστικών αποτελεσμάτων.

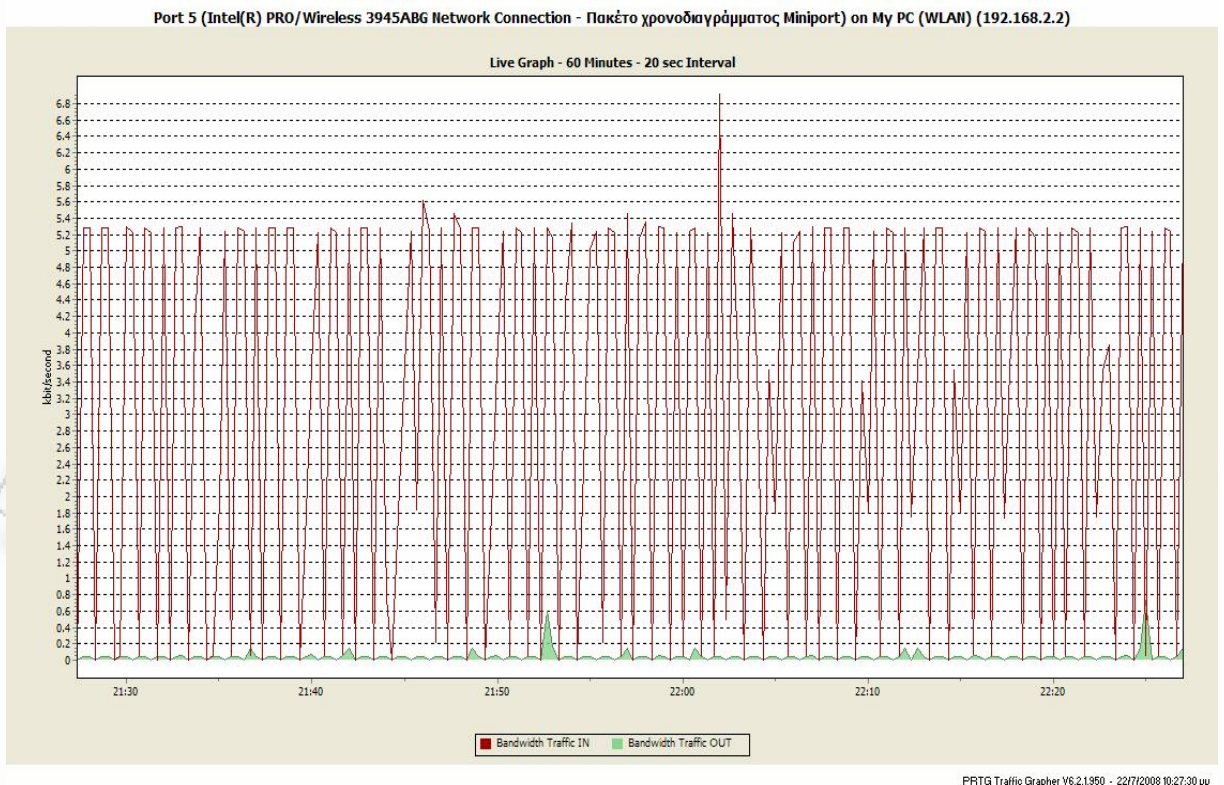


Σχήμα 15. Κεντρική κονσόλα διαχείρισης του PRTG.

Το λογισμικό διαθέτει δυνατότητες γραφικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων χρήσης (Σχήμα 16).



Σχήμα 16. Παρακολούθηση του bandwidth σε ένα δίκτυο με το λογισμικό PRTG.



Σχήμα 17. Παρακολούθηση μεταφοράς αρχείων σε ένα δίκτυο με το λογισμικό PRTG.



Επιπρόσθετα, το PRTG μέσω ενός ιδιαίτερα φιλικού περιβάλλοντος, επιτρέπει τη ρύθμιση των εποπτευόμενων παραμέτρων του δικτύου, την παραγωγή γραφημάτων κατ' απαίτηση καθώς και την παραγωγή αναφορών κατ' απαίτηση. Υποστηρίζει πολλά διαδεδομένα πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου όπως SNMP, Packet Sniffing, NetFlow, για συλλογή παραμέτρων παρακολούθησης δικτύου. Ειδικά για το Packet Sniffer και το NetFlow το πρόγραμμα υπολογίζει τη χρήση χωρητικότητας ανά IP διεύθυνση ή port και δίνει τη δυνατότητα για παραγωγή στατιστικών στοιχείων. Επιπλέον, έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, ρύθμιση εποπτευόμενων παραμέτρων, υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων διαχείρισης δικτύων. Δυστυχώς, δεν διαθέτει δυνατότητες για ανίχνευση σφαλμάτων στις συσκευές του δικτύου.

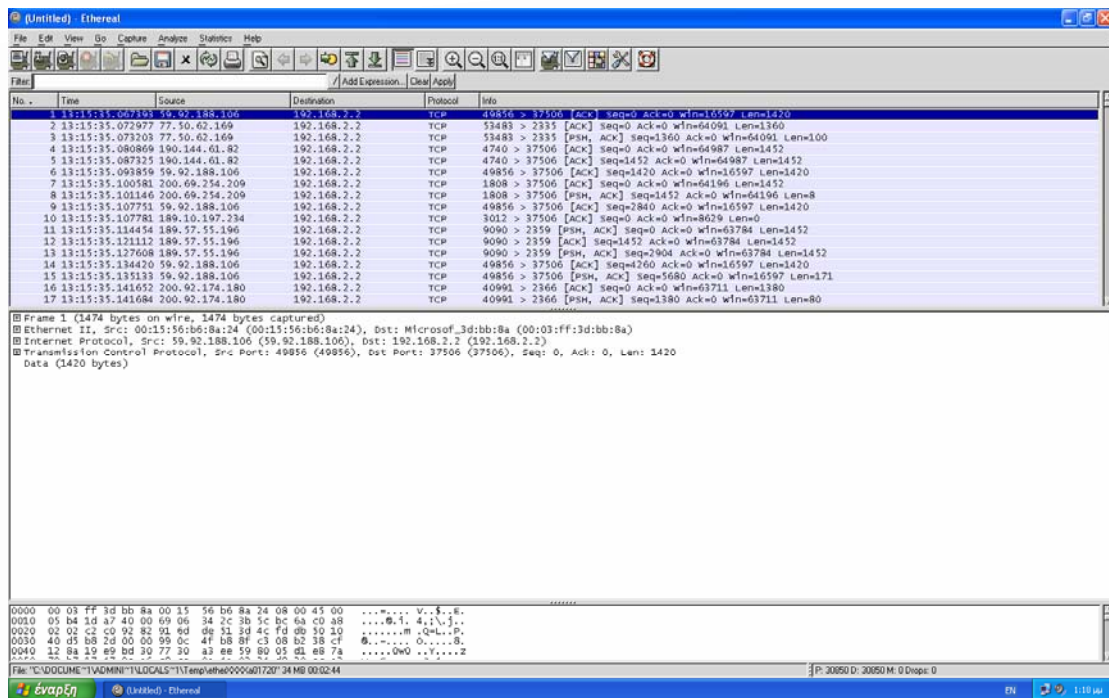
Τέλος, το PRTG είναι ένα πρόγραμμα παρακολούθησης της κίνησης του δικτύου, κατάλληλο για αρχάριους διαχειριστές δικτύων, μιας και είναι ιδιαίτερα απλό στη χρήση του.

#### ✓ Ethereal

Το Ethereal είναι ένα εργαλείο ανοιχτού λογισμικού και προσφέρεται σε εκδόσεις για Unix Linux, Solaris, FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, Mac OS X, and Windows.

Είναι εργαλείο διαχείρισης και παρακολούθησης δικτύου. Μέσω του εργαλείου αυτού οι διαχειριστές μπορούν να παρακολουθούν την κίνηση του δικτύου συνολικά αλλά και σε μεγάλο βάθος ανάλυσης (ανά δικτυακή συσκευή, κτλ).

Βασίζεται στο πολύ ισχυρό εργαλείο tcpdump (πολύ διαδεδομένο console-based εργαλείο για διαχείριση και παρακολούθηση δικτύου), αλλά παρέχει γραφικό περιβάλλον, καθώς και πολλές δυνατότητες οπτικοποίησης και ταξινόμησης των αποτελεσμάτων χρήσης. Επίσης, υποστηρίζει πολλά πρωτόκολλα δικτύων (Ethernet, internet, ATM κτλ) καθώς και πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας (ftp, tcp/ip, κτλ) Χρησιμοποιεί τη μέθοδο packet sniffing για συλλογή δεδομένων για ανάλυση της κίνησης του δικτύου.



Σχήμα 18. Περιβάλλον εργασίας του Ethereal.

Το Ethereal είναι ένα πρόγραμμα κατάλληλο για παρακολούθηση της κίνησης μεγάλων δικτύων. Το συγκριτικό του πλεονέκτημα σε σχέση με τα άλλα προγράμματα εποπτείας δικτύων είναι ότι υποστηρίζει πολλούς τύπους δικτυακών συσκευών και πολλές τοπολογίες δικτύων. Αναλυτικότερα, μερικά από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής είναι: υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων, επικοινωνίας δικτύου, υποστήριξη πολλών τύπων δικτύου, υποστήριξη σχεδόν όλων των δικτυακών, συσκευών από γνωστούς κατασκευαστές, μεγάλες δυνατότητες ανάλυσης της κίνησης του δικτύου, γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων, υποστήριξη πολλών Λ.Σ. Εν αντιθέσει, τα μειονεκτήματα του Ethereal είναι η υποστήριξη μόνο της μεθόδου packet sniffing για συλλογή δεδομένων. Παρόλα αυτά όμως, υποστηρίζει διασύνδεση με πολλά προγράμματα συλλογής δεδομένων, αλλά πάλι μόνο τύπου packet sniffing. Τέλος, προσφέρει λειτουργικότητες μόνο για παρακολούθηση δικτύου, δεν διαθέτει δυνατότητες για ανίχνευση και διαχείριση σφαλμάτων και δεν προσφέρει λειτουργικότητες για παρακολούθηση δικτυακών συσκευών.

## 5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ VIDEO

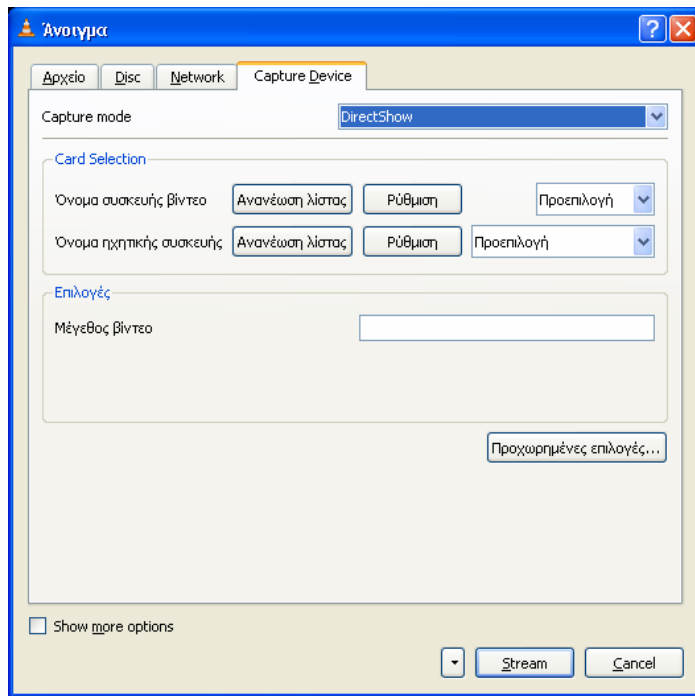
### 5.1 VLC (Video Lan Client)

Το VLC είναι ένα πραγματικά εντυπωσιακό πρόγραμμα αναπαραγωγής βίντεο, που οι δυνατότητές του θα καλύψουν τις ανάγκες και του πιο απαιτητικού χρήστη, κάτι που έχει βοηθήσει σημαντικά στην εξάπλωσή του τόσο στον χώρο του Linux όσο και στα Windows, καθώς πρόκειται για ένα cross platform player. Σχεδιάστηκε για να μεταδίδει video (streaming) κωδικοποίησης mpeg σε δίκτυα με υψηλό bandwidth.



Σχήμα 19. Βασική κονσόλα VLC client.

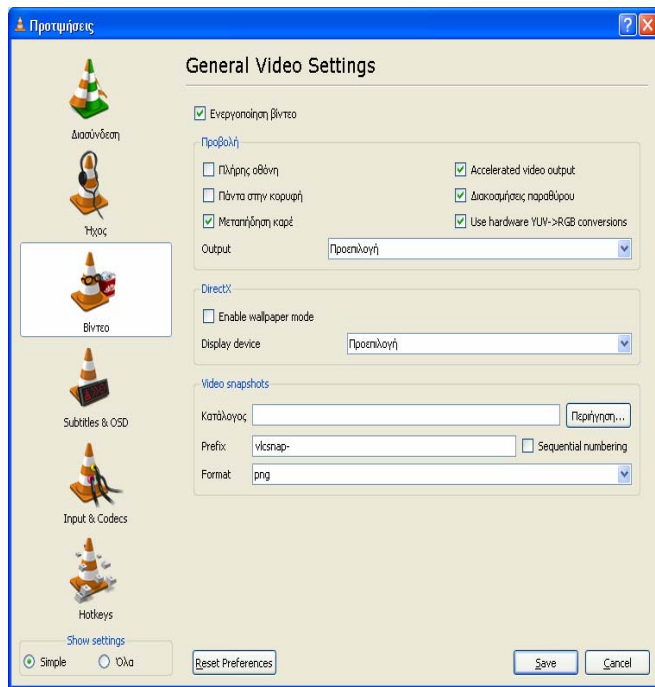
Το VLC media player παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων, όπως αναπαραγωγή βίντεο (MPEG-1, MPEG-2 και MPEG-4 αρχεία), DVD, VCD, αρχείων ήχου και όλα αυτά χωρίς την ανάγκη για εγκατάσταση πρόσθετων codec είτε εικόνας είτε ήχου. Παρέχει multicast και unicast μεταδόσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ως server για την μετάδοση ενός video, όσο και ως client για την λήψη και αποκωδικοποίηση του video που λήφθηκε. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα για network streaming, αλλά και λειτουργία ως server εκπομπής streaming περιεχομένου.



Σχήμα 20. Παράμετροι για steaming στο VLC.

Τα λειτουργικά συστήματα που υποστηρίζει το λογισμικό αυτό είναι Linux, Windows, Mac OS X, BeOS, BSD, Solaris, και τις περισσότερες εκδόσεις Linux. Το VLC μεταδίδει video είτε προς ένα H/Y (unicast), είτε προς ένα δυναμικό group υπολογιστών, όπου οι clients μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν σε όποιο σημείο της μετάδοσης θέλουν (multicast).

Οι επιλογές που παρέχει είναι σχεδόν πλήρεις, και ίσως η μοναδική επιλογή της οποίας στερείται η έκδοση για Linux είναι η δυνατότητα να είναι ανοιχτό μόνο ένα instance του player, κάτι το οποίο θα γίνει εφικτό με την έκδοση 0.9 που αναμένεται τους επόμενους μήνες.



Σχήμα 21. Ρυθμίσεις του VLC media player στην νεότερη του έκδοση 0.9.8a.

Η νέα version (που μετράει ήδη πάνω από 450,000 downloads) έχει πολλά νέα στοιχεία όπως ανανεωμένο interface με media library, νέο panel για την full screen μορφή του, 3 διαφορετικά προφίλ λειτουργίας (κλασσικό, εμπλουτισμένο και μινιμαλιστικό) και πολλές άλλες προσθήκες.

Βελτιώσεις έχουν γίνει και στην αναπαραγωγή αρχείων με υποστήριξη ακόμη περισσότερων τύπων αρχείων, άλλωστε ο τομέας αυτός είναι ένα από τα δυνατά σημεία του VLC αφού δεν χρειάζεται την εγκατάσταση codecs για να παίξει οποιοδήποτε αρχείο.

Συνολικά, το VLC υποστηρίζει τα παρακάτω format video:

- MPEG / MPG
- AVI
- MP3
- FLAC
- OGG
- VCD
- DivX
- WMA
- WMV

- FLV
- MOV
- H264 (Hi def)
- 3GP

Μερικά από τα λίγα μειονεκτήματα του VLC είναι η αδυναμία αναπαραγωγής αρχείων real media και η ύπαρξη ελάχιστων skins σε σχέση με άλλους players που είναι λιγότερο δημοφιλείς.

## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ 802.11b

Το δίκτυο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις έχει την εξής δομή: αποτελείται από έναν File Server ο οποίος είναι ένας προσωπικός υπολογιστής (desktop) όπου έχει εγκαταστημένο το λειτουργικό σύστημα Windows 2003 Server Standard edition και είναι εξοπλισμένος με ένα 802.11b AP.

Οι ρυθμίσεις δικτύου του Server αναφέρονται παρακάτω :

IP	Gateway	Subnetmask
192.168.2.3	192.168.2.1	255.255.255.0

Τον ρόλο του Client τον έχει ένας φορητός υπολογιστής (laptop), ο οποίος έχει εγκαταστημένο το λειτουργικό σύστημα Windows XP και είναι εξοπλισμένος με ένα 802.11b STA. Να σημειωθεί ότι το STA στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι μια εσωτερική ασύρματη κάρτα mini PCMCIA.

Οι ρυθμίσεις δικτύου του Client αναφέρονται παρακάτω :

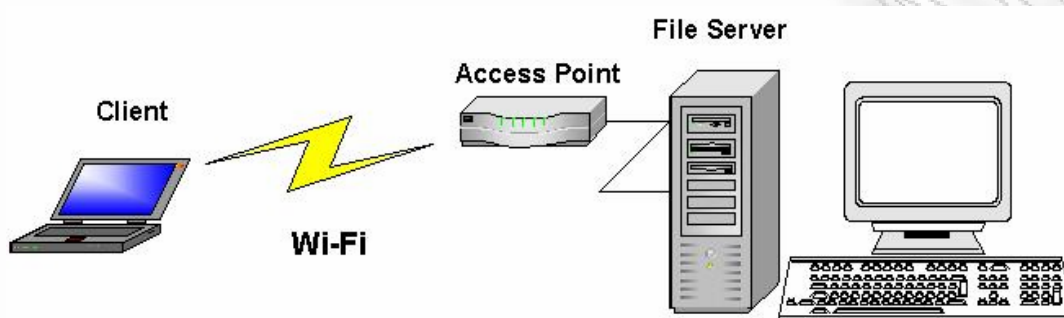
IP	Gateway	Subnetmask
192.168.2.2	192.168.2.1	255.255.255.0

Το Access Point αφού λάβει τα ψηφιακά δεδομένα μέσω καλωδίου δικτύου από τον Server, τα διαμορφώνει κατάλληλα και τα μεταδίδει μέσω ενός ασύρματου καναλιού το οποίο κυμαίνεται στην μπάντα των 2.4 GHz.

Το Station Adapter λαμβάνει τα σήματα που μεταδίδει το Access Point, τα αποδιαμορφώνει και τα μεταδίδει στον χρήστη (client) με την αρχική τους μορφή. Το δίκτυο υλοποιήθηκε σε κλειστό χώρο (indoor). Η απόσταση ανάμεσα στον Server και Client είναι μικρή και ίση με 3 μέτρα. Να σημειωθεί ότι ανάμεσα στο Access Point του Server και του Station Adapter του Client αρχικά δεν παρεμβάλλονται εμπόδια.

Επίσης το δίκτυο αυτό είναι αυτόνομο, δηλαδή δεν συνδέεται με κάποιο άλλο ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο.

Στο σχήμα 22 απεικονίζεται η τοπολογία του δικτύου.



Σχήμα 22. Σχηματική απεικόνιση της δομής του δικτύου στο οποίο έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις.

Το πρωτόκολλο 802.11b θεωρητικά υποστηρίζει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων (bitrate) έως 11 Mbps. Ο πραγματικός όμως ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων αποκλίνει σημαντικά από την θεωρητική τιμή. Συνήθως ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται μεταξύ 4 έως 6 Mbps.

Για την μέτρηση του πραγματικού bit rate του δικτύου, μεταφέρθηκε (αντιγραφή -επικόλληση) ένα αρχείο βίντεο 29 MB από τον Server προς τον χρήστη. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο monitoring PRTG (Port Router Traffic Grapher) που αποτελεί ένα πρόγραμμα παρακολούθησης της κίνησης του δικτύου, παραστάθηκε γραφικά το throughput του δικτύου (δίνεται στο σχήμα 23) κατά την μεταφορά του αρχείου. Αξίζει να σημειωθεί κατά την εγκατάσταση του PRTG επιλέχθηκε το πρωτόκολλο SNMP (Simple Network Management Protocol) για την συλλογή παραμέτρων παρακολούθησης του δικτύου.

Στην γραφική απεικόνιση του σχήματος 23 ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τον χρόνο της διεργασίας σε δευτερόλεπτα ενώ ο κάθετος άξονας αναπαριστά τα byte που αποστέλλονται από τον Server προς τον Client.





Σχήμα 23. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την μεταφορά του αρχείου.

Στο γράφημα παρατηρούμε ότι μεταδίδονται περίπου 744000 byte ανά δευτερόλεπτο. Δηλαδή  $744000 \times 8 = 5952000$  bits το δευτερόλεπτο, οπότε το bit rate του δικτύου (throughput) σε Mbps είναι 5.952 Mbps.

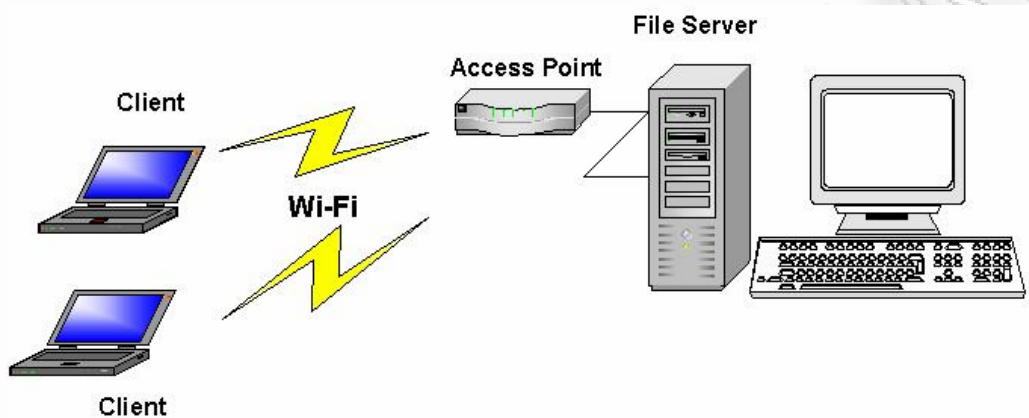
Το bit rate αυτό είναι το μέγιστο που μπορεί να επιτευχθεί στο δίκτυο αφού υπολογίστηκε σε κατάσταση ιδανικών συνθηκών (κοντινή απόσταση χωρίς εμπόδια). Πρέπει να τονιστεί ότι κατά γενικό κανόνα η ταχύτητα ενός ασύρματου δικτύου μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του access point και του client αλλά και όσο αυξάνεται και ο αριθμός των client που εξυπηρετεί το συγκεκριμένο access point. Δηλαδή στην περίπτωση όπου στο δίκτυο προστεθεί και ένας επιπλέον client το ωφέλιμο bit rate στο συγκεκριμένο κανάλι επικοινωνίας όπου χρησιμοποιείται, θα διαμοιραστεί ανάμεσα στους δύο clients.

Το ρόλο δεύτερου Client τον έχει ένας δεύτερος φορητός υπολογιστής (laptop), ο οποίος έχει εγκαταστημένο το λειτουργικό σύστημα Windows XP και είναι εξοπλισμένος με ένα 802.11b STA. Να σημειωθεί ότι το STA στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι μια εσωτερική ασύρματη κάρτα mini PCMCIA.

Οι ρυθμίσεις δικτύου του δεύτερου Client αναφέρονται παρακάτω :

IP	Gateway	Subnetmask
192.168.2.4	192.168.2.1	255.255.255.0

Σχήμα 24. Ρυθμίσεις δικτύου του επιπλέον client.



Σχήμα 25. Σχηματική απεικόνιση της δομής του δικτύου στο οποίο έγιναν οι πειραματικές μετρήσεις μετά την προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη.

Για την μέτρηση του νέου bit rate του δικτύου, μεταφέρθηκε (αντιγραφή - επικόλληση) ένα αρχείο βίντεο 29 MB από τον Server προς τους δύο clients (χρήστες). Χρησιμοποιώντας το εργαλείο monitoring PRTG (Port Router Traffic Grapher) παραστάθηκε γραφικά το throughput του δικτύου (σχήμα 26) κατά την μεταφορά του αρχείου.



Σχήμα 26. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την μεταφορά του αρχείου σε δύο clients.

Στην γραφική απεικόνιση του σχήματος 26, ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τον χρόνο της διεργασίας σε δευτερόλεπτα ενώ ο κάθετος άξονας αναπαριστά τα byte που αποστέλλονται από τον Server προς τους Clients. Η πράσινη γραμμή στο γράφημα αντιστοιχεί στον πρώτο client και η κόκκινη γραμμή στον δεύτερο client. Γίνεται αντιληπτό ότι ο πρώτος client λαμβάνει κάποια δεδομένα μόνος του μέχρι κάποια χρονική στιγμή όπου και ο δεύτερος client αρχίζει να παραλαμβάνει το αρχείο. Κατά την ταυτόχρονη μεταφορά πακέτων και στους δύο clients παρατηρείται ότι το ωφέλιμο bit rate του καναλιού διαμοιράζεται ισότιμα σε κάθε χρήστη. Στην ταυτόχρονη μεταφορά παρατηρούμε ότι μεταδίδονται περίπου 374000 byte ανά δευτερόλεπτο. Δηλαδή  $374000 \times 8 = 2992000$  bits το δευτερόλεπτο σε κάθε χρήστη, οπότε το bit rate του δικτύου (throughput) σε Mbps όπου αντιστοιχεί σε κάθε client είναι 2.992 Mbps. Φυσικά ο πρώτος client ολοκληρώνει πρώτος την παραλαβή ολόκληρου του αρχείου και ακολουθεί στην συνέχεια ο δεύτερος client.

Το σημαντικό ερώτημα είναι εάν το διαθέσιμο throughput ενός ασύρματου δικτύου που κάνει χρήση το πρωτόκολλο 802.11b είναι ικανό να αποδίδει ικανοποιητικά πολυμεσικές υπηρεσίες.

## 6.2 UNICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2

Όπως έχει προαναφερθεί μια από τις πιο γνωστές μορφές βίντεο είναι τα αρχεία MPEG-2. Το format MPEG-2 είναι κατάλληλο για βίντεο ποιότητας DVD. Επίσης στην Ελλάδα τα ψηφιακά δορυφορικά κανάλια αλλά και τα τρία ψηφιακά επίγεια κανάλια της EPT, χρησιμοποιούν το format MPEG-2.

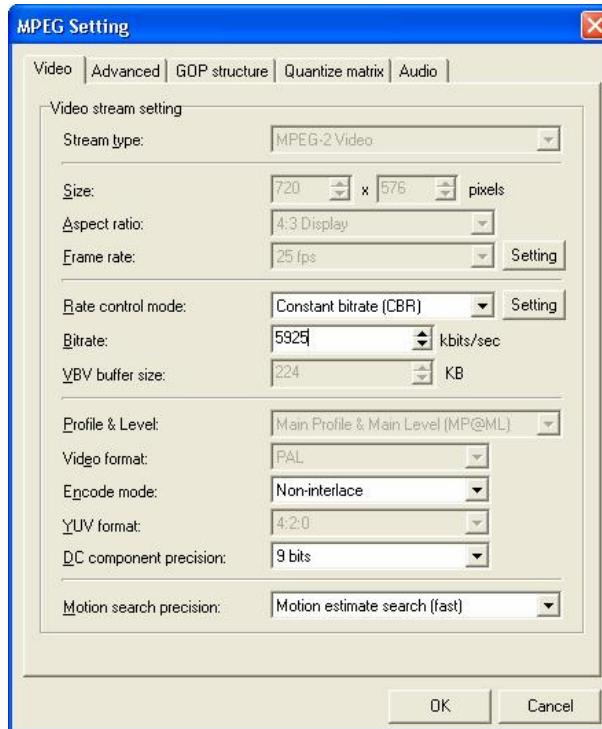
Θα ήταν λοιπόν ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η τεχνολογία για τα ψηφιακά δορυφορικά κανάλια είναι η DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite) ενώ η τεχνολογία που χρησιμοποιεί πιλοτικά η EPT είναι η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial).

Η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας δηλαδή το bit rate που υποστηρίζει το MPEG-2 κυμαίνεται από 1.5 Mbps μέχρι 15 Mbps. Όπως δείξαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης (bit rate) αυξάνεται και η ποιότητα της εικόνας.

Για το πρότυπο MPEG-2 η κωδικοποίηση του προγράμματος, προδιαγράφεται σε δύο μορφές. Την ροή μεταφοράς (transport stream) και την ροή προγράμματος (programme stream). Η κάθε μορφή κωδικοποίησης είναι κατάλληλη για διαφορετικές εφαρμογές. Και στις δύο μορφές, η εικόνα και ο ήχος κωδικοποιούνται και συμπιέζονται. Η πολυπλεξία που λαμβάνει χώρα παράγει τα πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα εκτός από τα συμπιεσμένα δεδομένα εικόνας και ήχου περιέχουν και διάφορες σημασιολογικές πληροφορίες χρονισμού κ.λ.π.

Η ροή προγράμματος σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί για τις περιπτώσεις stored-based συστημάτων όπου δεν έχουμε σφάλματα και για εφαρμογές στις οποίες μπορεί να γίνει λογισμική επεξεργασία των πληροφοριών του συστήματος. Η ροή μεταφοράς σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε broadcasting εφαρμογές. Για παράδειγμα η ροή (ρεύμα) μεταφοράς MPEG-2 χρησιμοποιείται στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T) και περιέχει τις πολυπλεγμένες υπηρεσίες εικόνας, ήχου και δεδομένων.

Για την αξιολόγηση της ποιότητας του βίντεο που μπορεί να παρέχει το σύστημα πραγματοποιείται μετάδοση αρχείων βίντεο από τον File Server προς τον Client. Για τις πειραματικές μετρήσεις επιλέχθηκαν μικρής διάρκειας βίντεο κλίπ μορφής συμπίεσης MPEG-2. Συγκεκριμένα μεταδόθηκαν τέσσερα βίντεο κλίπ από τον Server στον Client. Χρησιμοποιήθηκε το freeware πρόγραμμα Tsunami MPEG Encoder για να μετατρέψει τα αρχεία βίντεο σε format MPEG-2 (σχήμα 27).



Σχήμα 27. Ρυθμίσεις κωδικοποίησης των βίντεο μέσω του i-mpeg

Τα τέσσερα βίντεο κλίπ επιλέχθηκαν έτσι ώστε να διαφέρουν στην κωδικοποίηση της ροής μεταφοράς (transport bit rate). Το transport stream bit rate είναι το άθροισμα του video και audio bit-rate, συν κάποια bit πληροφοριών και ελέγχου που ενθυλακώνονται πάνω στην ροή μεταφοράς. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του κάθε βίντεο κλίπ.

ΟΝΟΜΑ	VIDEO (Kbps)	AUDIO (Kbps)	TRANSPORT STREAM (Mbps)	ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΡΧΕΙΟΥ (MB)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (sec)
Tiger	1000	192	1.25	17.7	12
Slime	4500	64	4.89	7.16	12
DH2	5000	192	5.78	2.11	12
Eyes	6146	192	6.19	1.53	12

Σχήμα 28. Πίνακας καταγραφής στοιχείων των MPEG-2 βίντεο που μεταδίδονται.

Τα αρχεία βίντεο κλίπ είναι αποθηκευμένα στον Server. Δημιουργήθηκε μια ιστοσελίδα στον Server και ανέβηκαν τα αρχεία. Ο client μέσω της ιστοσελίδας

επιλέγει το αρχείο βίντεο. Η μετάδοση streaming είναι unicast μορφής. Ο client μόλις κάνει κλικ σε κάποιο hyperlink πραγματοποιείται μια αίτηση για αποστολή του αρχείου. Ο Server όταν δεχτεί την αίτηση, αποστέλλει το Acknowledgement (πακέτο επιβεβαίωσης) και ξεκινάει την αποστολή των δεδομένων σε μορφή πακέτων. Ο media player που διαθέτει ο client ανοίγει και αρχίζει η αναπαραγωγή του αρχείου. Για την αναπαραγωγή των αρχείων χρησιμοποιήθηκε το freeware λογισμικό VLC media player.

Στο σχήμα 29 παρουσιάζεται η ιστοσελίδα που υλοποιήθηκε και έχει πρόσβαση ο client για την επιλογή βίντεο κλιπ.



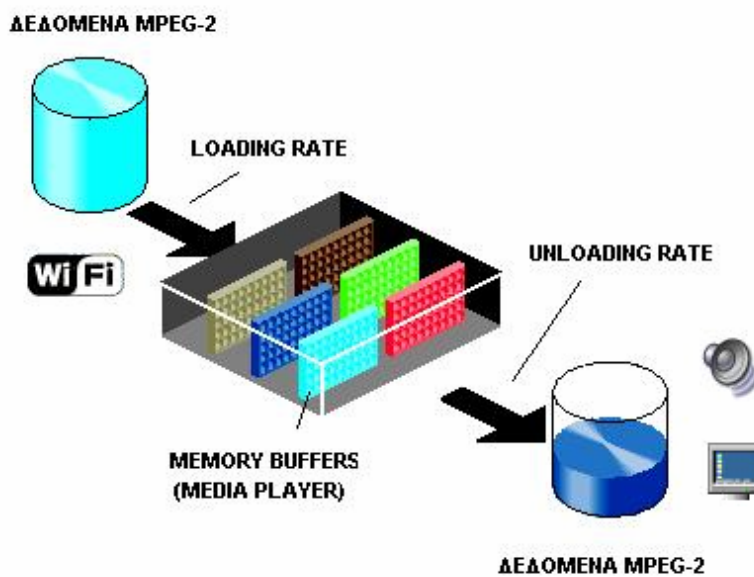
Σχήμα 29. Ιστοσελίδα στον Server με τα αποθηκευμένα βίντεο.

Όπως αποδείχθηκε, στην περίπτωση του ενός χρήστη, το ασύρματο δίκτυο που περιγράφηκε παρέχει bit rate 5.952 Mbps. Κατά την μετάδοση του video από τον Server και την αναπαραγωγή του στον client, παρατηρήθηκε ότι όταν το transport bit rate (η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας) του MPEG-2 υπερβαίνει το

παρεχόμενο throughput του δικτύου, παρουσιάζονται παύσεις εικόνας και ήχου. Δηλαδή υπάρχει κάποιο είδος καθυστέρησης. Αυτό οφείλεται στην λειτουργία του media player που χρησιμοποιεί ο client (σχήμα 30).

Ο media player έχει κάποιους προσωρινούς καταχωρητές μνήμης (memory buffers). Κατά την μετάδοση, τα δεδομένα του MPEG-2 συνεχώς φορτώνονται στους καταχωρητές και από εκεί οδηγούνται και αναπαράγονται σαν εικόνα και ήχος, στην οθόνη και στα ηχεία αντίστοιχα. Η ροή φόρτωσης στους καταχωρητές (loading rate) είναι ισότιμη με το throughput του δικτύου ενώ η ροή αναπαραγωγής (unloading rate) είναι ισότιμη με transport bit rate του MPEG-2 (ανανέωση εικόνας και ήχου).

Όταν λοιπόν η ροή φόρτωσης στους καταχωρητές είναι μεγαλύτερη από την ροή αναπαραγωγής, τότε δεν παρατηρείται καθυστέρηση στην εικόνα και στον ήχο (αφού έχει αποθηκευτεί το μεγαλύτερο μέρος του βίντεο). Από την άλλη μεριά όταν η ροή φόρτωσης στους καταχωρητές είναι μικρότερη από την ροή αναπαραγωγής υπάρχουν περίοδοι όπου οι καταχωρητές είναι τελείως άδειοι. Σε αυτές τις περιόδους τα frames της εικόνας, και ο ήχος δεν ανανεώνονται.



Σχήμα 30. Λειτουργία του media player

Συνήθως ένα μέτρο αξιολόγησης της ποιότητας αναπαραγωγής όπου χρησιμοποιούν οι διάφοροι μηχανικοί και ερευνητές είναι η υποβάθμιση εικόνας του συστήματος (picture quality degradation factor) το οποίο ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής διάρκειας των παύσεων προς την πραγματική διάρκεια του βίντεο κλίπ.[16] Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο αξιολόγησης της ποιότητας των MPEG-2 στο συγκεκριμένο δίκτυο θα βοηθούσε η καταγραφή των παύσεων που παρουσιάζονται κατά την αναπαραγωγή.

Στην πειραματική μας διάταξη, χρησιμοποιήθηκε το freeware λογισμικό VLC media player όπου ρυθμίστηκε να μετράει τις παύσεις κάθε ένα δευτερόλεπτο. Έγινε αυτή η επιλογή επειδή οι παύσεις σε χρόνο μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο δεν είναι αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι. Κατά την μετάδοση και αναπαραγωγή των τεσσάρων βίντεο καταγράφηκε ο αριθμός των παύσεων.

Η ροή μεταφοράς (transport stream) για το βίντεο «tiger» είναι 1.25 Mbps. Δηλαδή η ροή αναπαραγωγής είναι μικρότερη από την ροή φόρτωσης στους καταχωρητές. Θα περιμένουμε λοιπόν να μην υπάρχει κάποιο είδος καθυστέρησης στην εικόνα και στον ήχο. Πράγματι από το VLC παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν παύσεις δηλαδή οι καταχωρητές δεν είναι ποτέ άδειοι με αποτέλεσμα την συνεχή ανανέωση των frame της οθόνης.

Η ροή μεταφοράς (transport stream) για το βίντεο «slime» είναι 4.89 Mbps. Δηλαδή η ροή αναπαραγωγής είναι μικρότερη από την ροή φόρτωσης στους καταχωρητές. Θα περιμένουμε πάλι να μην υπάρχει κάποιο είδος καθυστέρησης στην εικόνα και στον ήχο. Πράγματι και σε αυτήν την περίπτωση από το VLC παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν παύσεις δηλαδή οι καταχωρητές δεν είναι ποτέ άδειοι με αποτέλεσμα την συνεχή ανανέωση των frame της οθόνης.

Η ροή μεταφοράς (transport stream) για το βίντεο «DH2» είναι 5.98 Mbps δηλαδή η ροή αναπαραγωγής είναι μεγαλύτερη από την ροή φόρτωσης στους καταχωρητές. Θα περιμένουμε να παρουσιαστούν παύσεις εικόνας και ήχου. Πράγματι από το VLC παρατηρούμαι ότι υπάρχουν παύσεις δηλαδή στους καταχωρητές δεν υπάρχουν δεδομένα, είναι εντελώς άδειοι. Σύμφωνα με το VLC κατά την αναπαραγωγή των 12 δευτερολέπτων του βίντεο «DH2», ο συνολικός χρόνος των παύσεων που παρουσιάζονται είναι τέσσερα δευτερόλεπτα.

Η ροή μεταφοράς (transport stream) για το βίντεο «Eyes» είναι 6.19 Mbps δηλαδή η ροή αναπαραγωγής είναι μεγαλύτερη από την ροή φόρτωσης στους καταχωρητές. Επομένως περιμένουμε να παρουσιαστούν παύσεις εικόνας και ήχου.



Στην περίπτωση αυτή το βίντεο δεν παίζει και δεν μπορεί να παρακολουθηθεί αφού κατά την αναπαραγωγή των 12 δευτερολέπτων του βίντεο, ο συνολικός χρόνος των παύσεων που παρουσιάζονται είναι εννιά δευτερόλεπτα. Όπως προαναφέρθηκε, η υποβάθμιση εικόνας του συστήματος (picture quality degradation factor, Pd) μπορεί να εκφραστεί ως ο λόγος τις συνολικής διάρκειας των παύσεων προς την πραγματική διάρκεια του βίντεο κλίπ. Όσο μεγαλύτερος φυσικά είναι το Pd τόσο μεγαλύτερη είναι και η υποβάθμιση της εικόνας.[17].

Για τα τέσσερα βίντεο θα έχουμε αντίστοιχα:

$$Pd_1 = 0/12 = 0$$

$$Pd_2 = 0/12 = 0$$

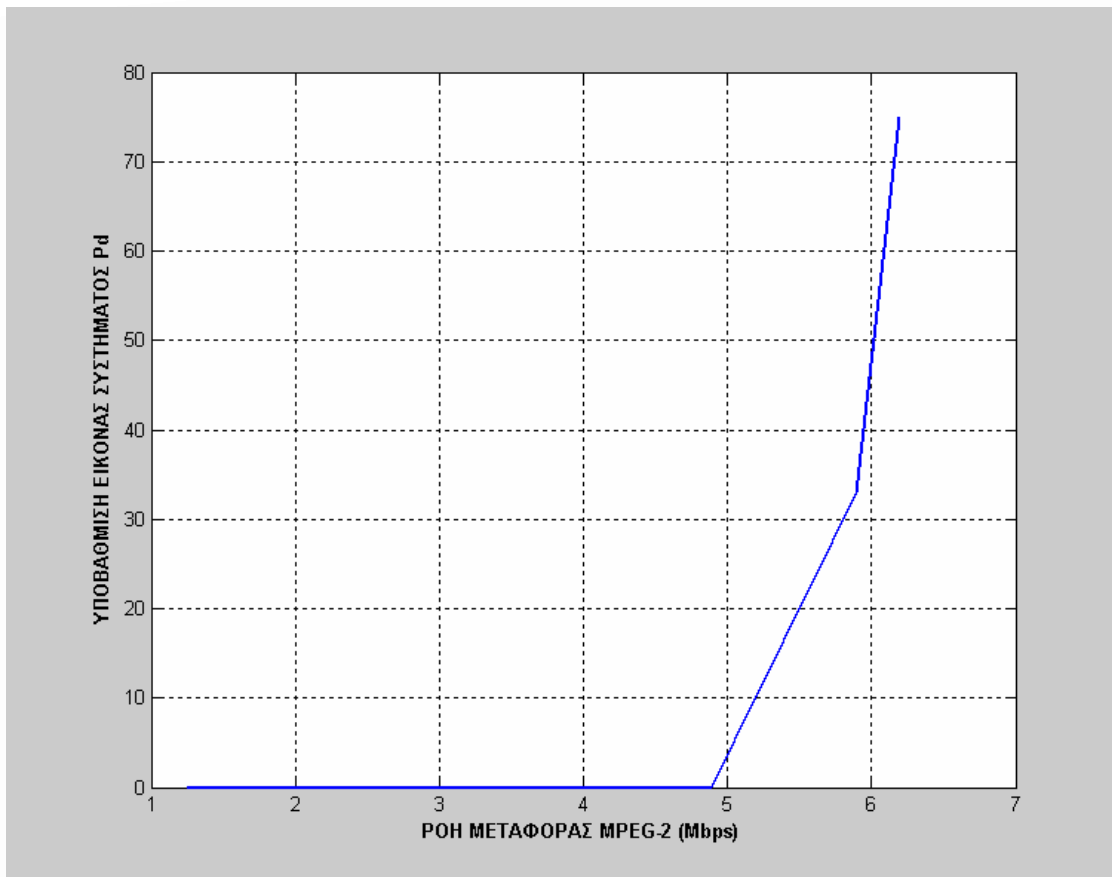
$$Pd_3 = 4/12 = 0.33 = 33\%$$

$$Pd_4 = 9/12 = 0.75 = 75\%$$

Μπορούμε να παραστήσουμε γραφικά λοιπόν την picture quality degradation στο δικτύό μας σε σχέση με την ροή μεταφοράς ενός βίντεο. Για την ροή μεταφοράς του βίντεο και την υποβάθμιση εικόνας του συστήματος δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι πίνακες στο Matlab και στην συνέχεια πληκτρολογήθηκαν οι εξής εντολές :

```
mpeg2=[1.25 4.89 5.89 6.19];  
pd=[0 0 33 75];  
plot(mpeg2,pd);  
xlabel('ΡΟΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ MPEG-2 (Mbps)');  
ylabel('ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Pd');  
grid;
```

Η γραφική παράσταση που προκύπτει παρουσιάζεται στο σχήμα 31.



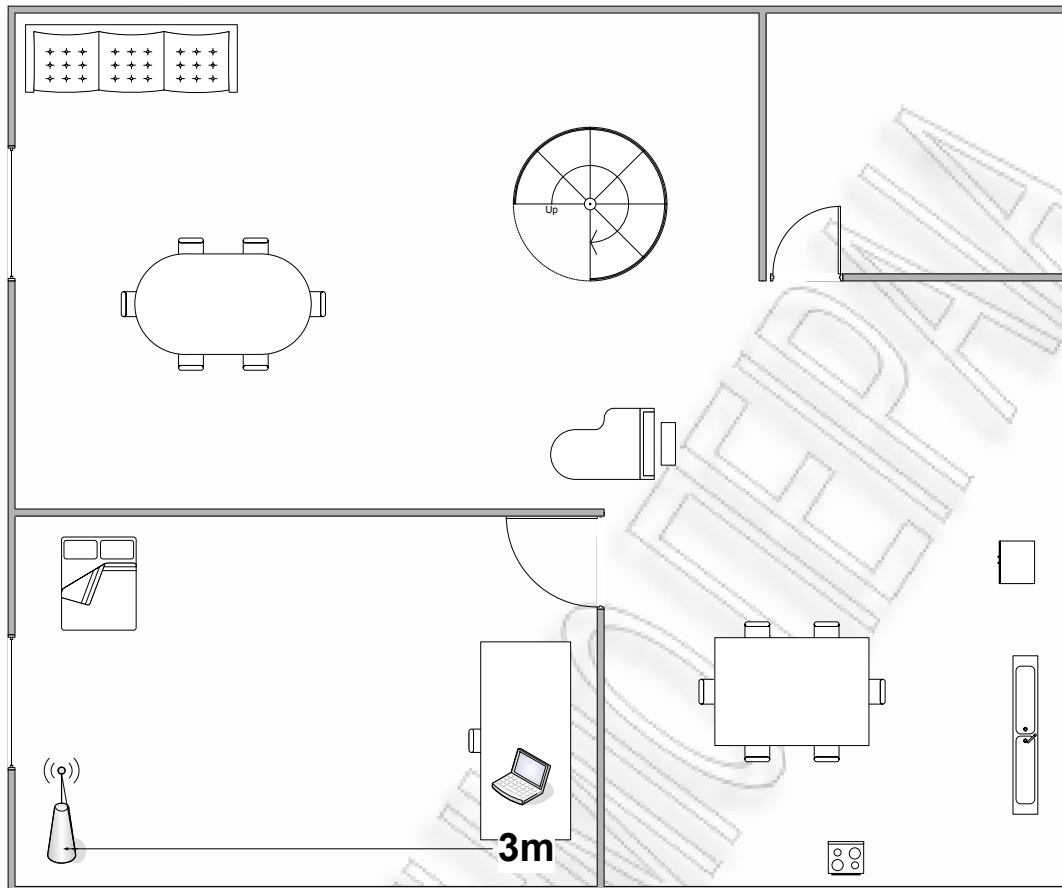
Σχήμα 31. Γραφική απεικόνιση του picture quality degradation στο δίκτυό μας σε σχέση με την ροή μεταφοράς ενός βίντεο.

Από το γράφημα του σχήματος 31 αντιλαμβανόμαστε ότι υπηρεσία παρακολούθησης ενός αρχείου ψηφιακού βίντεο MPEG-2 στο συγκεκριμένο ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι καλή, όταν η ροή μεταφοράς του MPEG-2 είναι μικρότερη των 5.952 Mbps. Στην περίπτωση του 802.11b θα πρέπει το bit rate του βίντεο κλίπ να μειωθεί αρκετά ώστε να μπορεί να αναπαραχθεί. Φυσικά όσο περισσότερους clients έχει το ασύρματο δίκτυο, τόσο μικρότερο bit rate πρέπει να έχει το βίντεο MPEG-2. Το αποτέλεσμα φυσικά είναι η χαμηλότερη ανάλυση και ποιότητα του βίντεο. Μία λύση είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών format βίντεο όπως το MPEG-4 και H.264, τα οποία προσφέρουν σχετικά καλή ποιότητα συνδυασμένο με χαμηλό bit rate.

### 6.3 UNICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 ΜΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΜΕΣΟΥ

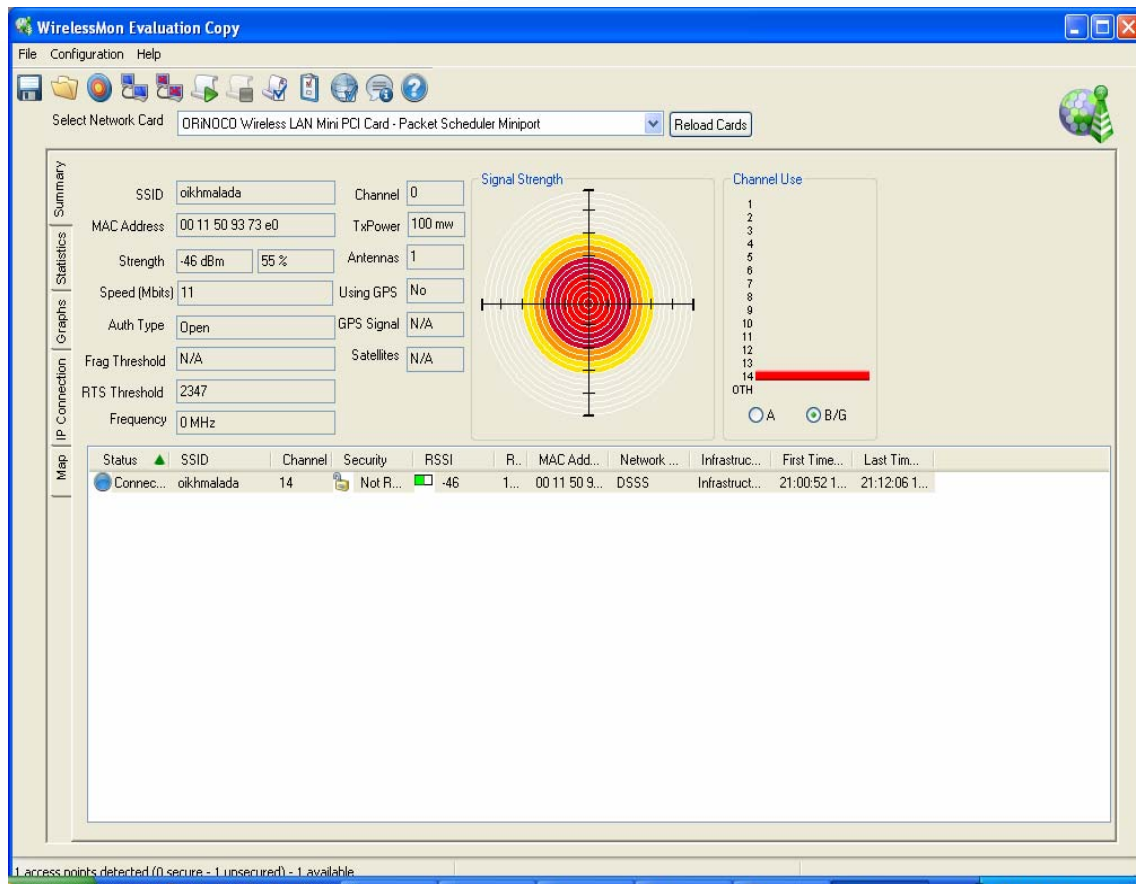
Στην προηγούμενη παράγραφο ελέγχθηκε η απόδοση της αναπαραγωγής των αρχείων MPEG-2 σε ένα ασύρματο δίκτυο με βάση την ποιότητα, δηλαδή την κωδικοποίηση των βίντεο. Παρατηρήθηκε ότι το bit rate του βίντεο κλίπ πρέπει να είναι μικρότερο ή ισοδύναμο για μια καλή αναπαραγωγή χωρίς παύσεις. Όλη η πειραματική μας μελέτη βασίστηκε σε μια συγκεκριμένη τοπολογία δικτύου. Ένας ή δύο client, οι οποίοι επικοινωνούν με το access point χωρίς την παρεμβολή και την μεσολάβηση κάποιου εμποδίου. Για να λάβουμε υπόψη την επίδραση του εμποδίου στη λήψη και αναπαραγωγή ενός βίντεο MPEG-2 κάνουμε το παρακάτω πείραμα.

Χρησιμοποιούμε το βίντεο slime που έχει κωδικοποίηση 4.89 mbps, όπου όπως και είδαμε κατά η μετάδοση σε ένα 802.11b δίκτυο είναι επιτυχής και αναπαράγεται χωρίς παύσεις και διακοπές στο τερματικό του χρήστη. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται σε κατάσταση χωρίς εμπόδια. Στο σχήμα 32 βλέπουμε μια πανοραμική άποψη του δωματίου όπου έγινε το πείραμα. Το laptop απέχει 3 μέτρα από το access point και οι δύο συσκευές βρίσκονται στον ίδιο χώρο.



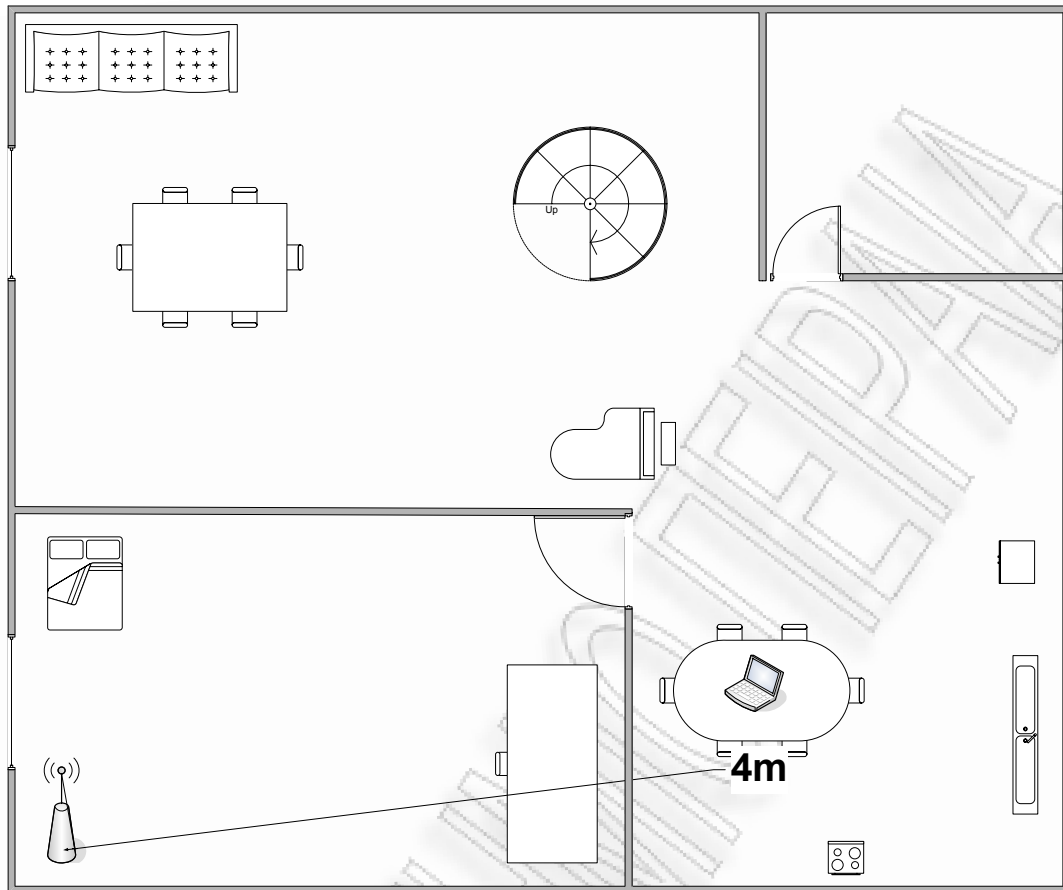
Σχήμα 32. Μετάδοση βίντεο χωρίς εμπόδια (απόσταση AP με Laptop : 3 m).

Για την μέτρηση της ισχύς του σήματος χρησιμοποιήθηκε το freeware utility Wirelessmon. Όπως παρατηρούμε και στο σχήμα 33, το σήμα του ασύρματου δικτύου είναι αρκετά ισχυρό με αποτέλεσμα την σωστή επικοινωνία με το laptop.



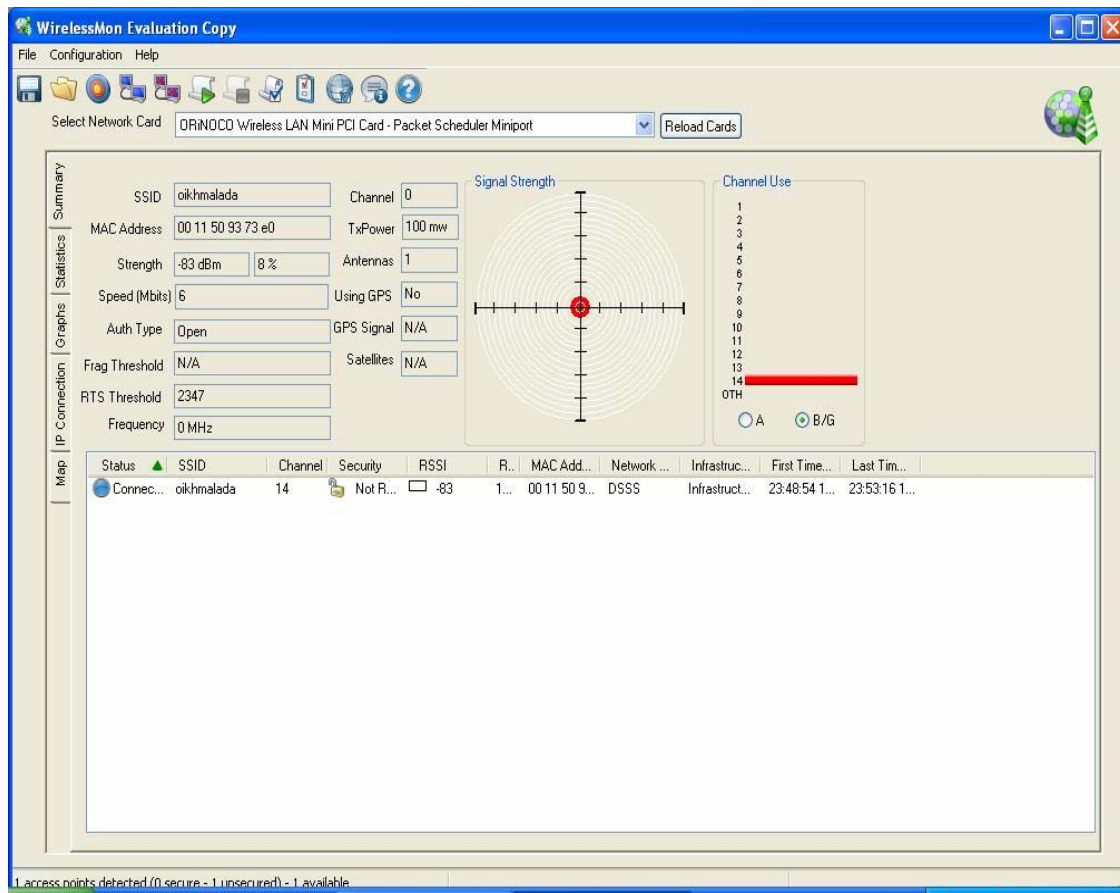
Σχήμα 33. Μέτρηση ισχύος σήματος του ασύρματου δικτύου με το εργαλείο wirelessmon

Όπως αναμενόταν, η μετάδοση και η αναπαραγωγή του βίντεο ήταν επιτυχής χωρίς προβλήματα στην λήψη. Στη συνέχεια, αλλάζουμε τη θέση του laptop, όπως απεικονίζεται και στην πανοραμική εικόνα του δωματίου στο σχήμα 34. Το laptop απέχει τώρα 4 μέτρα από το access point και μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένας τοίχος των 15cm.



Σχήμα 34. Μετάδοση βίντεο με εμπόδιο, τοίχο 15 cm (απόσταση AP με Laptop : 4 m).

Για την μέτρηση της ισχύς του σήματος χρησιμοποιήθηκε το freeware utility Wirelesmon. Όπως παρατηρούμε και στο σχήμα 35, το σήμα του ασύρματου δικτύου είναι αδύναμο με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σωστή επικοινωνία με το laptop.



Σχήμα 35. Μέτρηση ισχύος σήματος του ασύρματου δικτύου με το εργαλείο wirelessmon.

Κατά την μετάδοση, η αναπαραγωγή του βίντεο διήρκησε μόνο 2 sec ενώ στην συνέχεια είχαμε overload με αποτέλεσμα να διακοπή η μετάδοση. Επιπλέον, μεταδόθηκαν και τα άλλα βίντεο του σχήματος 6, διαφορετικής χωρητικότητας και κωδικοποίησης για την επιβεβαίωση και την εξαγωγή των συμπερασμάτων της έρευνας. Συγκεκριμένα,

- κατά την μετάδοση του πρώτου βίντεο «Tiger» με ροή μεταφοράς 1.25 Mbps, η αναπαραγωγή διήρκησε μόνο 4 sec ενώ στην συνέχεια είχαμε overload με αποτέλεσμα τη διακοπή της μετάδοσης
- κατά την μετάδοση του τρίτου «DH2» και τέταρτου βίντεο «Eyes» με ροή μεταφοράς 5.78 Mbps και 6.19 Mbps αντίστοιχα, ο client δεν μπόρεσε να αναπαράγει κανένα τμήμα του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για την μετάδοση των video του πίνακα με την μεσολάβηση φυσικού εμποδίου, το θεωρητικό μέγιστο μειώνεται δραστικά. Αυτό πολύ απλά όπως παρατηρήσαμε και από το εργαλείο wireless mon οφείλεται λόγω μείωσης της ισχύς του σήματος. Για να εξετάσουμε ποιο διεξοδικά το σύστημα μας, πρέπει να δούμε, πώς συνδέεται η ισχύς του σήματος, η απόσταση, και η χωρητικότητα του ασύρματου δικτύου (το ωφέλιμο bitrate).

### **6.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ –ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ (ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ).**

Είναι εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω, ότι η απόσταση στην μετάδοση μειώνει το ωφέλιμο bitrate του δικτύου, άρα και την ποιότητα του video που θα αναπαραχθεί στον client. Αυτό οφείλεται καθαρά λόγω της ισχύς του σήματος που λαμβάνει το NIC (Network Interface Client) του δέκτη.

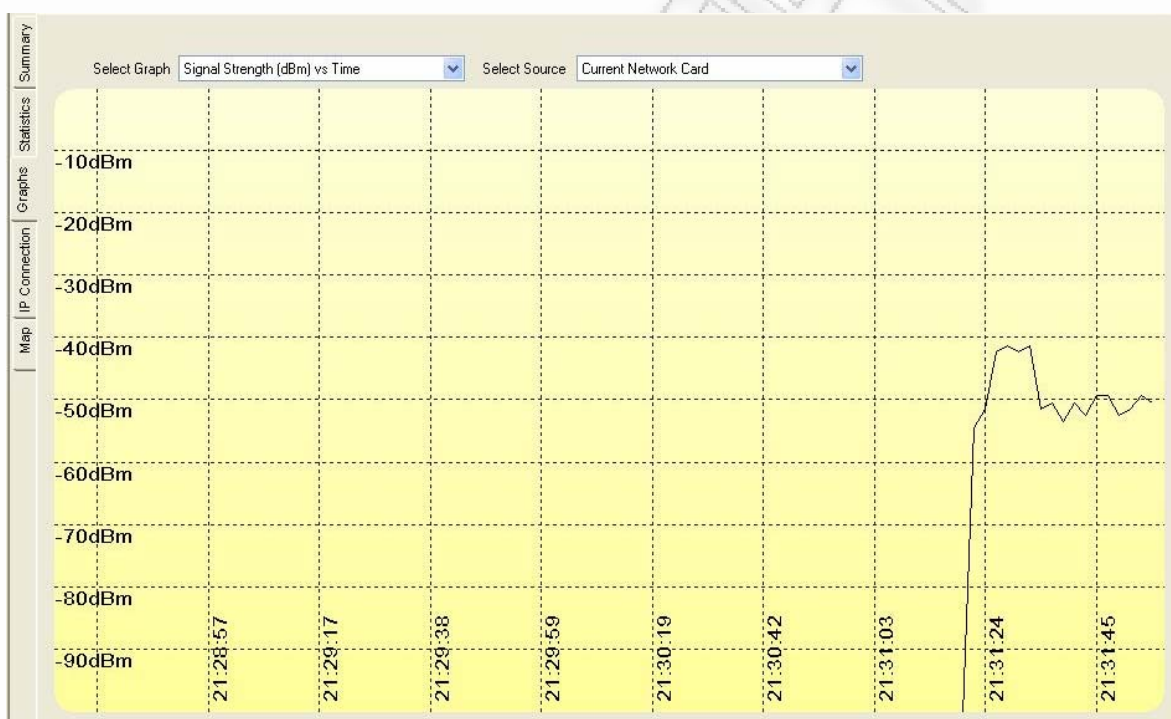
Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν θα αναφερόμαστε στην ισχύ του σήματος, εννοούμε την ισχύ εκπομπής από το access point. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι στις ασύρματες κάρτες δικτύου (NIC) σαν μέτρο ισχύος λαμβάνουμε την ευαισθησία του δέκτη. Η ευαισθησία του δέκτη είναι η ελάχιστη ισχύς του σήματος που απαιτεί να έχει ο δέκτης στην είσοδο του, ώστε να αποδιαμορφώνει το σήμα με κάποιο ελάχιστο αριθμό λαθών. Η καλύτερη ευαισθησία μεταφράζεται σε μεγαλύτερη εμβέλεια για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης, ή για την ίδια απόσταση μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης. Να τονιστεί ότι η ευαισθησία του δέκτη εκφράζεται σε dBm

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω παραγράφους, στα πειράματα μας χρησιμοποιήσαμε στους clients, την ασύρματη κάρτα δικτύου Orinoco wireless card που υποστηρίζει το πρωτόκολλο 802.11b. Για την μέτρηση της ισχύς του σήματος που λαμβάνει οι client χρησιμοποιήθηκε πάλι το freeware utility Wirelessmon. Ο χώρος που γίνανε τα πειράματα είναι ο ίδιος με την παράγραφο 6.3, ο οποίος είναι ένα ακαδημαϊκό κτήριο.



- **ΑΠΟΣΤΑΣΗ 3m ACCESS POINT – CLIENT**

Στην παράγραφο 6.1 μετρήσαμε το bitrate του δικτύου σε σχέση μιας απόστασης 3m του client από το access point, ότι είναι 5.952 Mbps. Πάμε να εξετάσουμε την ισχύ που λαμβάνει ο δέκτης εκείνη τη χρονική στιγμή. Στο σχήμα 36, παρατηρούμε την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται, η οποία κυμαίνεται μεταξύ των -40 και -50 dbm.



Σχήμα 36. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 3m

- **ΑΠΟΣΤΑΣΗ 3m ACCESS POINT – 2 CLIENTS**

Στην παράγραφο 6.1 μετά την προσθήκη ενός δεύτερου client που απέχει την ίδια απόσταση 3m από το access point μετρήσαμε πάλι το bitrate του δικτύου, και είδαμε ότι διαμοιράζεται ανάμεσα στους δύο client στα 2.992 Mbps. Πάμε να εξετάσουμε την ισχύ που λαμβάνουν οι δέκτες εκείνη τη χρονική στιγμή.

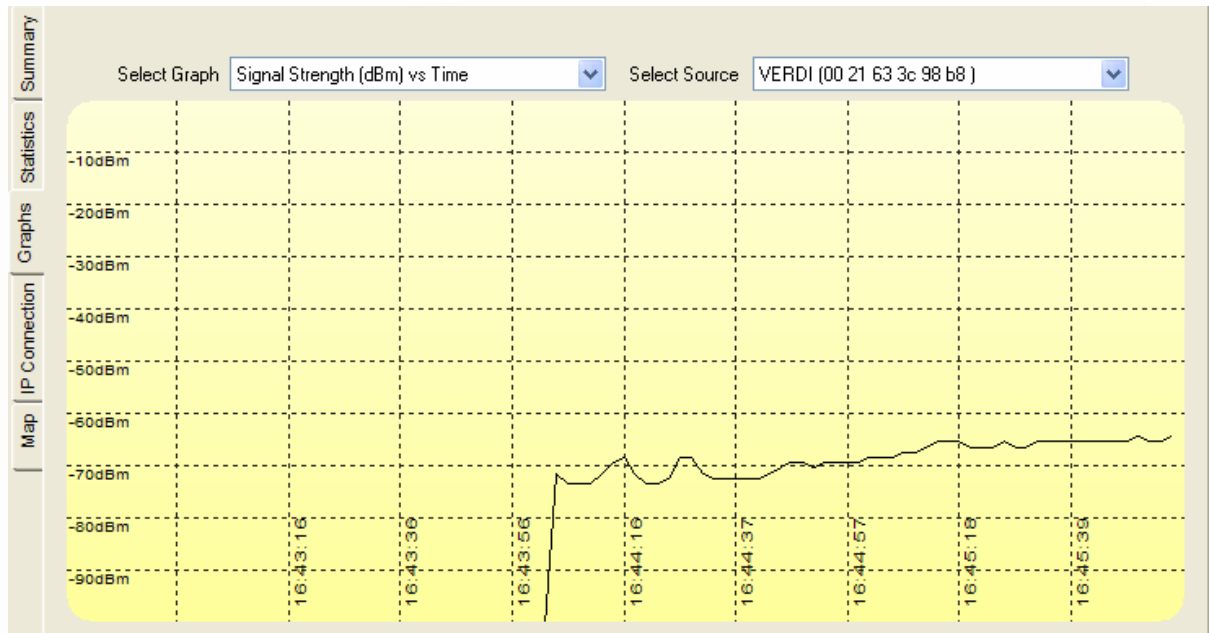
Στο σχήμα 37, παρατηρούμε ότι η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται, δεν επηρεάζεται. Δηλαδή όσους clients και εάν προσθέσουμε, η ισχύς εξαρτάται μόνο από την απόσταση. Πάλι λοιπόν η ισχύς λήψης κυμαίνεται μεταξύ των -40 και -50 dbm.



Σχήμα 37. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνουν οι δέκτες στα 3m.

- **ΑΠΟΣΤΑΣΗ 10m ACCESS POINT – CLIENT**

Μετακινούμε το client σε μια απόσταση 10 m από το access point. Παρατηρούμε ότι η ισχύς που λαμβάνει μειώνεται. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 38. Η ισχύς τώρα κυμαίνεται μεταξύ των -60 και -70 dbm. Αυτή η μείωση των dbm οφείλεται ότι στον χώρο που έγιναν τα πειράματα όπως φαίνεται και στα σχήματα της παραγράφου 6.3, στην απόσταση 10 m μεταξύ access point και client παρεμβάλλονται διάφορα φυσικά εμπόδια και υλικά κατασκευής του χώρου.

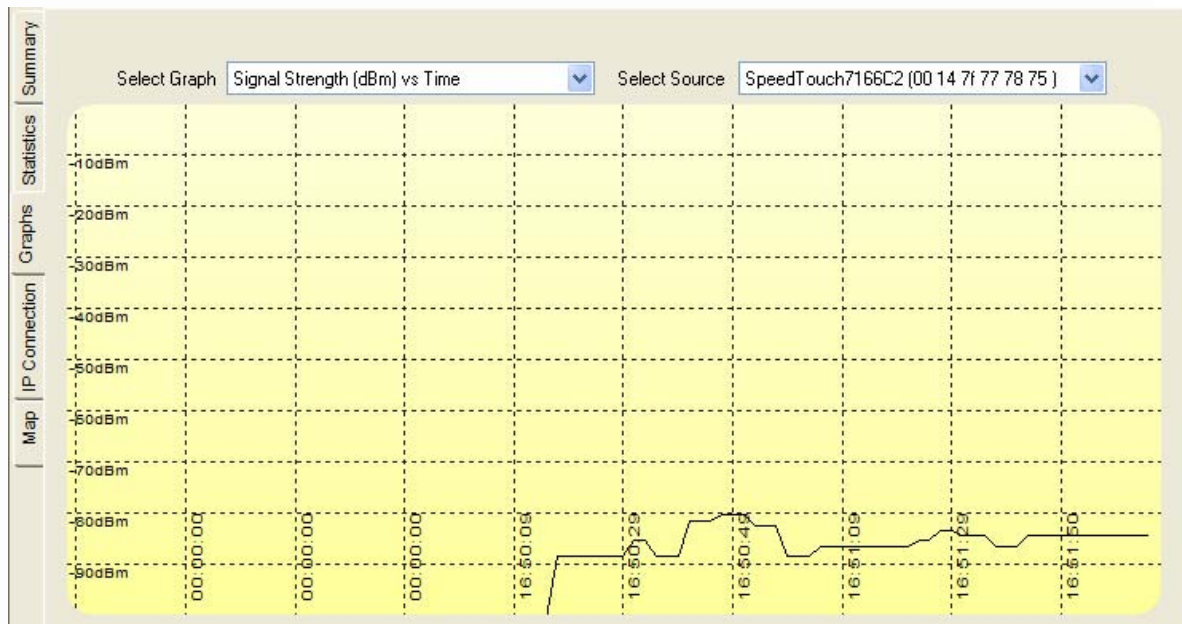


Σχήμα 38. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 10m.

Μετρήσαμε το bitrate του δικτύου εκείνη τη χρονική στιγμή, με την copy-paste procedure ενός βίντεο 29 MB από τον Server στον client και χρησιμοποιώντας το εργαλείο PRTG (Port Router Traffic Grapher) υπολογίσαμε ότι το bitrate του δικτύου είναι περίπου στα 4.632 Mbps

- **ΑΠΟΣΤΑΣΗ 30m ACCESS POINT – CLIENT**

Μετακινούμε το client σε μία απόσταση 30 m από το access point. Παρατηρούμε ότι η ισχύς που λαμβάνει μειώνεται ακόμα περισσότερο από πριν. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 39. Η ισχύς τώρα κυμαίνεται μεταξύ -82 και -89 dbm. Αυτή η μείωση σε dbm οφείλεται ότι στον χώρο που έγιναν τα πειράματα όπως φαίνεται και στα σχήματα της παραγράφου 6.3, στην απόσταση 30 m μεταξύ access point και client παρεμβάλλονται διάφορα φυσικά εμπόδια και υλικά κατασκευής του χώρου.



Σχήμα 39. Μέτρηση ισχύος σήματος του που λαμβάνει ο δέκτης στα 30m.

Μετρήσαμε το bitrate του δικτύου εκείνη τη χρονική στιγμή, με την copy-paste procedure ενός βίντεο 29 MB από τον Server στον client και χρησιμοποιώντας το εργαλείο PRTG (Port Router Traffic Grapher) υπολογίσαμε ότι το bitrate του δικτύου είναι περίπου στα 2.874 Mbps. Επομένως συμπεραίνουμε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση πομπού και δέκτη μειώνεται η ισχύς του σήματος λήψης αλλά και το bitrate του client. Ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία για τα 40 m και υπολογίσαμε την ευαισθησία του δέκτη να κυμαίνεται ανάμεσα στα -90 και -92 dBm υπολογίζοντας πάλι το bitrate του δικτύου, το οποίο βρέθηκε να είναι 1.020 Mbps.

Επαναλάβαμε το πείραμα για τα 50 m αλλά στον συγκεκριμένο χώρο μάλλον υπήρχαν πολλά εμπόδια και γι' αυτόν τον λόγο δεν μπορούσαμε να πιάσουμε σήμα. Δεν είχαμε ένδειξη της ισχύος του σήματος.

Οι παραπάνω μετρήσεις μας δίνουν τον παρακάτω πίνακα.

<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)</b>	<b>ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΔΕΚΤΗ (dBm)</b>	<b>ΒΙΤΡΑΤΕ ΔΙΚΤΥΟΥ (Mbps)</b>	<b>ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ</b>
<b>3</b>	<b>-40&lt;Rs&lt;-50</b>	<b>5.952</b>	<b>ΚΑΛΗ</b>
<b>10</b>	<b>-60&lt;Rs&lt;-70</b>	<b>4.632</b>	<b>ΜΕ ΠΑΥΣΕΙΣ 1-2 sec</b>
<b>30</b>	<b>-82&lt;Rs&lt;-89</b>	<b>2.874</b>	<b>ΜΕ ΠΑΥΣΕΙΣ 3 sec</b>
<b>40</b>	<b>-90&lt;Rs&lt;-92</b>	<b>1.020</b>	<b>ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ Η ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 1/3 ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΒΙΝΤΕΟ ΜΕ ΠΑΥΣΕΙΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ</b>
<b>50</b>	<b>----</b>	<b>----</b>	<b>ΚΑΘΟΛΟΥ</b>

Το πεδίο «αναπαραγωγή πολυμέσων» του πίνακα είναι το οπτικοαουστικό αποτέλεσμα που είχαμε στην οθόνη και στα ηχεία του laptop. Στα 3 μέτρα το βίντεο που μεταδώσαμε έπαιξε ολόκληρο και χωρίς προβλήματα στον client. Όσο αποκρινόμασταν από το access point η ποιότητα αναπαραγωγής του βίντεο χειροτέρευε σημαντικά.

### **6.3.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2 ΒΑΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΧΑΜΕΝΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ ΤΗΣ ΡΟΗΣ MPEG-2**

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε με ένα άλλο πείραμα την ποιότητα ενός βίντεο σε ασύρματο δίκτυο 802.11b. Όπως είναι γνωστό κατά την streaming ασύρματη μετάδοση υπάρχουν αρκετά χαμένα πακέτα. Εμείς θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε το ποσοστό των πακέτων που χάνονται κατά την αποστολή και το πώς η τιμή αυτή επηρεάζει την ποιότητα της εικόνας. Με άλλα λόγια, πόσα πακέτα μπορούν να χαθούν ως τη στιγμή που η ποιότητα της εικόνας γίνει τόσο χάλια ώστε να μην είναι δυνατή η παρακολούθησή της.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η απώλεια πακέτων όπως είδαμε και σε άλλες παραγράφους, συμβαίνει όταν στέλνονται πακέτα IP από τον πομπό στον δέκτη και τα buffers είναι full ή όταν ο δέκτης για κάποιο λόγο δεν είναι διαθέσιμος (δεν υπάρχει σήμα). Στο πρωτόκολλο TCP αυτό λύνεται με την αναμετάδοση των χαμένων πακέτων. Όπως όμως έχει τονιστεί, τέτοιοι μηχανισμοί αναμετάδοσης δεν χρησιμοποιούνται σε πραγματικού χρόνου μετάδοσης (Real time streaming) πολυμέσων επειδή δημιουργούν καθυστέρηση.

Αντίθετα χρησιμοποιούνται UDP πακέτα και η αναμετάδοση γίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα. Στο σημείο αυτό είναι ανάγκη να σημειωθούν ορισμένα πράγματα για τα πακέτα του MPEG-2.

Η έξοδος του MPEG-2 αποτελείται από τρία είδη Frame. Τα I-Frame, P-Frame, B-Frame.

- Τα I-Frames είναι απλώς ακίνητες εικόνες κωδικοποιημένες με την βοήθεια του JPEG χρησιμοποιώντας την πλήρη ανάλυση της φωτεινότητας και την μισή ανάλυση της χρωματικότητας σε κάθε άξονα. Είναι απαραίτητο να έχουμε περιοδικά την εμφάνιση I-Frames επειδή όλα τα Frames εξαρτώνται από τα προγενέστερα. Για παράδειγμα, αν χανόταν το πρώτο πλαίσιο, ο δέκτης δεν θα μπορούσε να αποκωδικοποιήσει κανένα μεταγενέστερο πλαίσιο.
- Τα P-Frames κωδικοποιούν τις διαφορές μεταξύ των Frames. Βασίζονται στην ιδέα των μακρό-μπλόκ (macro block), που καλύπτουν  $16 \times 16$  pixel στο χώρο φωτεινότητας και  $10 \times 10$  pixel στον χώρο χρωματικότητας. Ένα μακρό-μπλόκ κωδικοποιεί ψάχνοντας το προηγούμενο Frame γι'αυτό ή κάτι λίγο διαφορετικό.
- Τα B-Frame-Bidirectional όπου κωδικοποιούν τις διαφορές με το προηγούμενο και το επόμενο Frame.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένα βίντεο MPEG-2 ( $160 \times 120$  pixel) με χωρητικότητα 91.7 MB. Η διάρκεια του βίντεο είναι 60 δευτερόλεπτα και το frame rate είναι 30 frames per second.

Στείλαμε το βίντεο σε διαφορετικές αποστάσεις του server από τον client. Με το πρόγραμμα Ethereal υπολογίσαμε ότι ο συνολικός αριθμός των πακέτων που στέλνονται είναι 63167 (UDP packets captured : 63167)

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Ethereal για να παρακολουθήσουμε τον αριθμό των πακέτων που συλλέγει ο client (number of received packets)

- Στην απόσταση των 3m ο συνολικός αριθμός των πακέτων που λαμβάνει ο client είναι 62217 (στην πόρτα 1234)
- Στην απόσταση των 10m ο συνολικός αριθμός των πακέτων που λαμβάνει ο client είναι 60374 (στην πόρτα 1234)
- Στην απόσταση των 30m ο συνολικός αριθμός των πακέτων που λαμβάνει ο client είναι 59871 (στην πόρτα 1234)
- Στην απόσταση των 40m ο συνολικός αριθμός των πακέτων που λαμβάνει ο client είναι 50533 (στην πόρτα 1234)

Όπως είδαμε νωρίτερα, όταν η κάρτα NIC του δέκτη δεν λαμβάνει αρκετά πακέτα, δηλαδή έχουμε μείωση του bitrate, τότε δεν γίνεται σωστή κατανομή της αποκωδικοποίησης των πολυπλεγμένων πακέτων εικόνας και ήχου MPEG-2 σε σωστό χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα τις παύσεις στην αναπαραγωγή του βίντεο MPEG-2.

Όπως είδαμε στη μέτρηση της ισχύος, στα 40 μέτρα όπου το bitrate του δικτύου είναι 1.020 Mbps αναπαράγεται στον player ένα κομμάτι της ταινίας με φθορά και αλλοίωση του οπτικού περιεχομένου. Συγκεκριμένα αναπαράγεται το 1/3 της διάρκειας του βίντεο κλίπ.

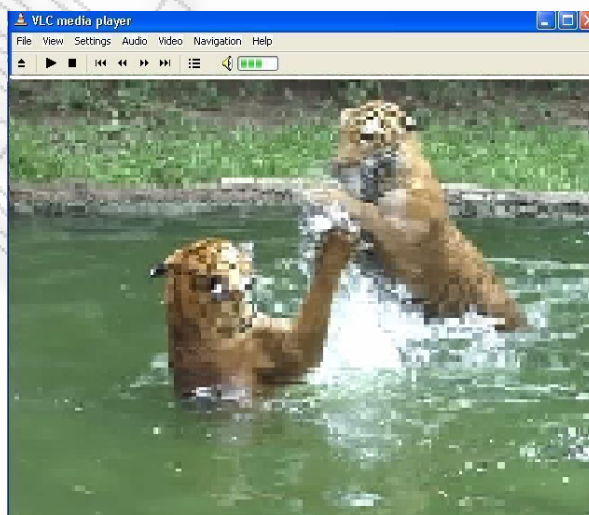
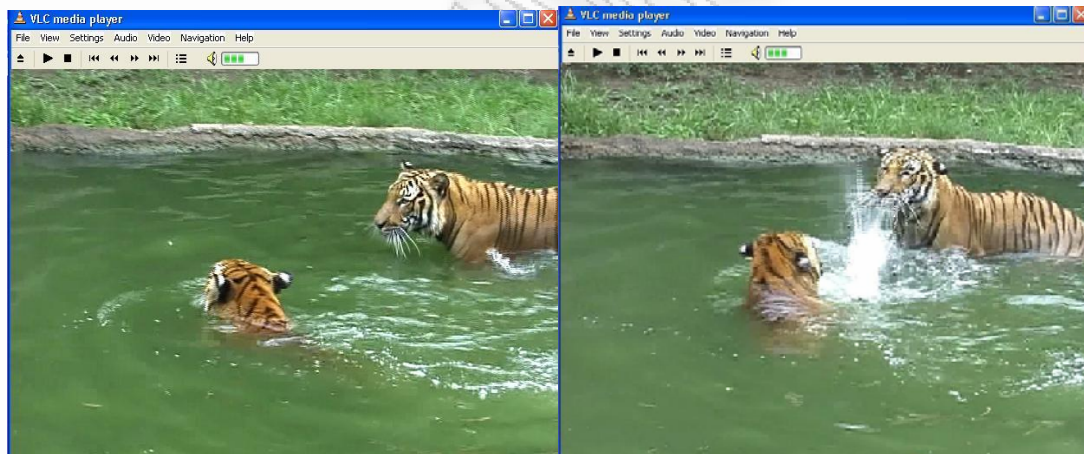
Σε αυτό το πείραμα, παρατηρούμε ότι στα 40 μέτρα ο client λαμβάνει 50533 πακέτα από τα 63167 πακέτα τα οποία στέλνει το access point. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε μια απώλεια πακέτων της τάξης του 20%. Παρατηρούμε δηλαδή ότι όταν έχουμε ένα ποσοστό χαμένων πακέτων της τάξης 20% κατά τη διάρκεια του streaming, το bandwidth του δικτύου μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η παρακολούθηση του βίντεο. Για να το αναλύσουμε και να το εξηγήσουμε αυτό σε βάθος, παρατηρήσαμε την επίδραση της ροής των πακέτων (ή

των Frame αντίστοιχα) που γίνεται στην συγκεκριμένη περίπτωση της απώλειας πακέτων 20%.

Πολύ σημαντικό εδώ είναι να δούμε τι θα συμβεί όταν κάποια πακέτα που γαθούν περιέχουν I-Frames. Για παράδειγμα, αν το πρώτο I-Frame χαθεί, θα είναι δύσκολο να δούμε στην οθόνη οτιδήποτε μέχρι να έρθει το δεύτερο Frame, όσο το P-Frame θα συνθέτει τις πληροφορίες στα I-Frames. Για αυτό το λόγο κάναμε τρία tests, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα VLC για να ρυθμίσουμε το I-Frame rate, δηλαδή τη ροή με την οποία αποστέλλεται το I-Frame.

### **1ο ΠΕΙΡΑΜΑ**

Το πρώτο test έγινε με το να κωδικοποιήσουμε το MPEG-2 με ένα I-Frame κάθε 10 δευτερόλεπτα ώστε να δούμε την επίδραση των I-Frames. Η ποιότητα της εικόνας όλο και χειροτέρευε μέχρι να έρθει το επόμενο I-Frame (το οποίο ερχόταν κάθε 10 δευτερόλεπτα). Το αποτέλεσμα του player παρουσιάζεται στο σχήμα 40.

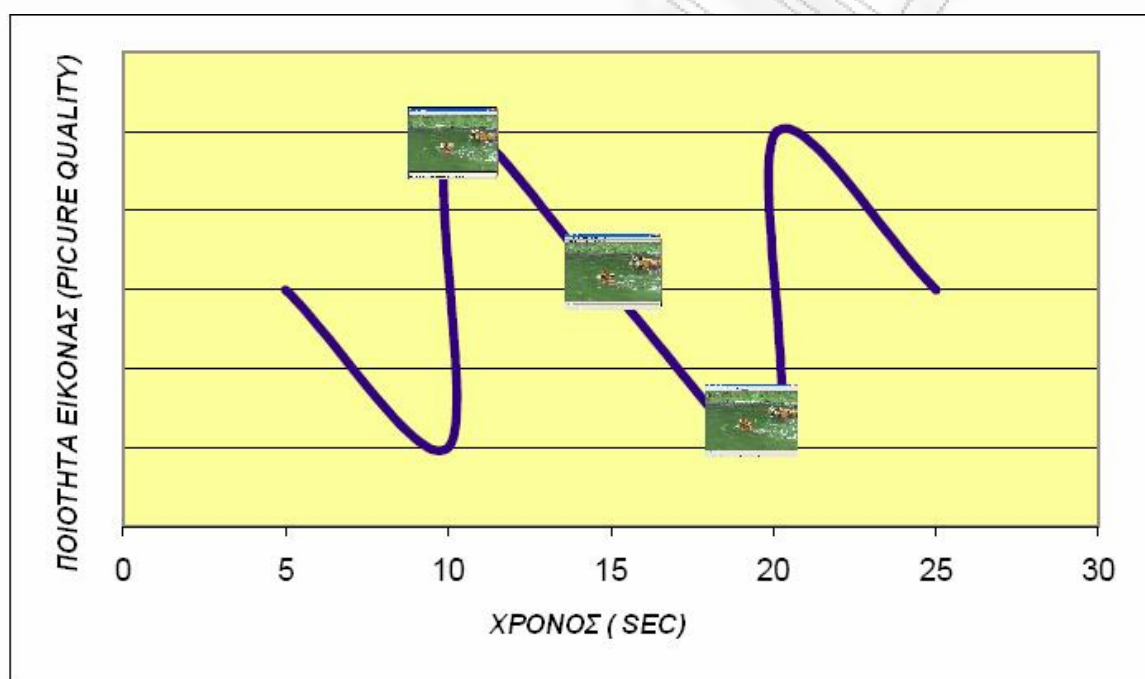




Σχήμα 40. Snapshots για 10, 15 και 19 δευτερόλεπτα μετά την αρχή, με 20% απώλεια πακέτων και I-Frame interval των 10 secs.

Στην πρώτη εικόνα φαίνεται όταν έρχεται το πρώτο I-Frame, η επόμενη εικόνα δείχνει 5 δευτερόλεπτα μετά το I-Frame και η τελευταία εικόνα δείχνει λίγο πρίν την εμφάνιση (λήψη) του επόμενου I-Frame.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχεδιάσαμε τη γραφική παράσταση του σχήματος 41, η οποία είναι μία εκτίμηση για το πώς η ποιότητα της εικόνας διαφοροποιείται με τον χρόνο, στο συγκεκριμένο πείραμα.



Σχήμα 41. Εκτίμηση της Ποιότητας της εικόνας με 20% απώλεια πακέτων και I-Frame interval των 10 sec.

## 2ο ΠΕΙΡΑΜΑ

Μετά το πρώτο test, ένα άλλο βίντεο κωδικοποιήθηκε με I-Frame rate ένα δευτερόλεπτο. Το αρχείο (file) έδειξε την ίδια συμπεριφορά όπως στην προηγούμενη περίπτωση, όμως η ποιότητα της εικόνας ποτέ δεν έγινε τόσο χάλια όσο στην πρώτη περίπτωση.

### **3ο ΠΕΙΡΑΜΑ**

Ένα τρίτο test έγινε με κωδικοποίηση του αρχείου με I-Frame rate στα 100 Seconds. Αυτός σημαίνει ότι θα έχουμε μόνο ένα I-Frame κατά όλη την διάρκεια, αφού το βίντεο έχει διάρκεια 60 δευτερόλεπτα. Τώρα η ποιότητα της εικόνας αλλοιωνόταν σταδιακά και δεν γινόταν ποτέ καλύτερη.

Όπως αναφέραμε και πριν, η ποιότητα εξαρτάται από το πότε τα I-Frames χάνονται και πότε όχι, αφού τα επόμενα P-Frames χρησιμοποιούν τα I-Frames ως αναφορά.

Στο Τρίτο πείραμα όπου περιμέναμε μόνο ένα I-Frame να είναι διαθέσιμο (να ληφθεί), η απώλεια αυτού του frame θα έχει αποτέλεσμα στο total failure. Αυτό όμως ποτέ δεν παρατηρήθηκε.

#### **6.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Με βάση τις μετρήσεις που έγιναν, τους υπολογισμούς, και τις παρατηρήσεις που έλαβαν χώρα, καταλήξαμε σε τρία ποιοτικά συμπεράσματα.

Το πρώτο σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι η σχέση ανάμεσα ποιότητα του βίντεο και στη χωρητικότητα του ασύρματου δικτύου, την ισχύ λήψης, (που συνδέεται με την απόσταση αλλά και τον περιβάλλοντα χώρο). Το bit rate του δικτύου επηρεάζεται από τον αριθμό των client ενώ η ισχύς που ο δέκτης λαμβάνει επηρεάζεται από την απόσταση και φυσικά από την παρεμβολή εμποδίων.

Βάση των συμπερασμάτων, θα μπορούσε να ισχυρισθεί κάποιος ότι θα πρέπει να έχουμε υψηλή ροή I-Frames (I-Frame rate) σε ένα ασύρματο δίκτυο έτσι ώστε η εναλλαγή των Frames να γίνεται γρήγορα για να έχουμε το επιθυμητό οπτικοαουστικό αποτέλεσμα. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η υψηλή συχνότητα εκπομπής I-Frames αυξάνει τον κίνδυνο για συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει επειδή το I-Frame απαιτεί περισσότερα bits κωδικοποίησης από ότι το P-Frame. Η υψηλή ροή I-Frame θα αυξήσει την πιθανότητα του rebuffering του player που όπως είδαμε και στην παράγραφο 6.2 οδηγεί σε συμφόρηση του δικτύου. Άρα για άλλη

για μια φορά σημειώνεται ο σημαντικός ρόλος που έχει το throughput του δικτύου. Όπως πάντως παρατηρήθηκε με frame rate 1 με 2 δευτερόλεπτα, το δίκτυο μπορεί να αναπαράγει αρκετά καλά ένα βίντεο MPEG.

Τέλος, σε ένα χώρο με αυτόνομη κάλυψη 802.11b δικτύου, όπως αυτός που έγιναν τα πειράματα, με πολλά εμπόδια από διάφορα υλικά κατασκευής, μία απώλεια της τάξης του 20% των πακέτων που αποστέλλονται από τον Server στους clients επιφέρει σημαντική αλλοίωση και φθορά του βίντεο.

## 7 MULTICAST ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΙΝΤΕΟ MPEG-2

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται αρχικά μια θεωρητική λεπτομερής περιγραφή του multicast και στην συνέχεια περιγράφεται οι πειραματικές δοκιμές και τα συμπεράσματα της multicast μετάδοσης ενός βίντεο MPEG-2.

### 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ MULTICAST

Για να μεταδοθεί ήχος και video διαμέσου ενός δικτύου υπολογιστών πρέπει πρώτα να ψηφιοποιηθεί, δηλαδή να μετατραπεί από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Τελικά η ποιότητα του ήχου και της κινούμενης εικόνας εξαρτάται από τον ρυθμό δειγματοληψίας και την ανάλυση. Όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας και όσο καλύτερη είναι η ανάλυση τόσο καλύτερη θα είναι και η ποιότητα. Αυτή η συνθήκη όμως απαιτούσε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές που υπήρχαν στα δίκτυα υπολογιστών. Περίπου στην τελευταία δεκαετία, οι βελτιώσεις στους αλγόριθμους συμπίεσης έχουν μειώσει δραματικά τις ανάγκες σε bandwidth. Σε συνδυασμό με τις νέες γενιές ακόμα πιο γρήγορων δικτύων άνοιξαν οι πόρτες προς τις διασκέψεις με πολυμέσα σε δίκτυο υπολογιστών.

Δυστυχώς αυτό δεν έλυσε εντελώς το πρόβλημα του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Τα πολυμέσα μπορούν να κωδικοποιηθούν, συμπιεστούν και να μεταδοθούν διά μέσω γρήγορων δικτύων από ένα κόμβο Α σε ένα κόμβο Β σε αναλογία με ένα μοντέλο point to point. Αυτό το γεγονός εισάγει ένα σημαντικό περιορισμό σε επικοινωνία πολλών χρηστών ταυτόχρονα, που ορίζεται ως η επικοινωνία ενός με πολλούς ή πολλών με πολλούς χρήστες. Προηγουμένως η πολλαπλή επικοινωνία αποτελούταν από τρία κύρια στάδια. Πρώτα το πακέτο της πληροφορίας (video, ήχος, κείμενο, κτλ.) αντιγραφόταν τόσες φορές όσοι ήταν και οι κόμβοι που συμμετείχαν στην διάσκεψη. Μετά κάθε πακέτο προωθούνταν προς τον παραλήπτη και τέλος ο κόμβος δέκτης επανασύνδεε τα πακέτα από κάθε κόμβο αποστολής. Έτσι, αν ο κόμβος Α έστελνε ήχο και video ταυτόχρονα προς τους κόμβους Β και Γ, τότε θα υπήρχαν συνολικά τέσσερα κανάλια ροής ανεξάρτητων δεδομένων ήχου και video.

Αν οι κόμβοι που παραλάμβαναν τα πακέτα ήταν τρεις τότε τα κανάλια των δεδομένων θα ήταν έξι. Αν μιλάμε για διάσκεψη μεταξύ πολλών αποστολέων και πολλών δεκτών τότε η ιδέα της διάσκεψης πολυμέσων φαντάζει μη εφικτή αφού δεν μπορεί να κλιμακωθεί σε μία τόσο ευρεία περιοχή όπως είναι το Internet.

Το δεύτερο σημείο το οποίο είναι εμπόδιο για τέτοιου είδους διασκέψεις είναι η ποιότητα της υπηρεσίας. Η μετάδοση σε πραγματικό χρόνο πολυμέσων, με αλληλεπίδραση μεταξύ των κόμβων που συμμετέχουν, απαιτεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας από το δίκτυο των υπολογιστών. Σε ένα packet switched δίκτυο όπως είναι το Internet είναι δύσκολο να υπάρξει εγγύηση για χαμηλές καθυστερήσεις από άκρη σε άκρη. Το πρόβλημα είναι ότι εφαρμογές σαν την εικονοτηλεδιάσκεψη απαιτούν αυτές τις εγγυήσεις.

Το multicasting προσφέρει την λύση στις απαιτήσεις για κλιμακοποίηση του δικτύου και για ποιότητα υπηρεσιών. Το multicasting είναι η μετάδοση μίας ροής δεδομένων σε πολλαπλούς προορισμούς. Ο κόμβος αποστολής δεν δημιουργεί αντίγραφα των πακέτων για κάθε ανεξάρτητο κόμβο λήψης. Μόνο μία ροή δεδομένων αποστέλλεται ανεξάρτητα από τον αριθμό των δεκτών. Ο προορισμός των δεδομένων είναι μια ειδική διεύθυνση ενός γκρουπ. Αν ένας κόμβος θέλει να λαμβάνει τα δεδομένα αυτά απλά “εγγράφεται” στο γκρουπ και γίνεται μέλος του. Αυτή η διαδικασία μειώνει έντονα την κυκλοφορία πακέτων στο Internet καθώς και την επεξεργαστική ισχύ και τον χρόνο στον κάθε router που εμπλέκεται στην μετάδοση. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλγόριθμοι δρομολόγησης του multicast είναι οι μοναδικοί αλγόριθμοι που υπάρχουν αυτή την στιγμή που μπορούν να εγγυηθούν τις ελάχιστες δυνατές καθυστερήσεις για σωστές διασκέψεις πολυμέσων

### 7.1.1 MBONE

Ο όρος MBone προέρχεται από την φράση virtual **M**ulticast **B**ackbone. Είναι το αλληλοσυνδεδεμένο σετ υποδικτύων το οποίο επιτρέπει την εκπομπή και λήψη IP multicast καναλιών δεδομένων που με την σειρά τους κάνουν εφικτή την πραγματοποίηση διασκέψεων με πολυμέσα σε πραγματικό χρόνο με χρήση του Internet. Το MBone κάνει χρήση ειδικών δρομολογητών (mrouter) οι οποίοι είναι ικανοί να διαχωρίσουν αν ένα πακέτο είναι ένα απλό IP (unicast) ή αν είναι multicast

πακέτο. Ο mrouter εφαρμόζει ειδικούς multicast αλγορίθμους δρομολόγησης με σκοπό να προωθήσουν το πακέτο με γρήγορο και αποδοτικό τρόπο. Το MBone στην ουσία δουλεύει πάνω από το τυποποιημένο backbone του Internet και για αυτό τον λόγο είναι συμμορφωμένο με την δομή της IP διευθυνσιοδότησης. Στην αρχή ονομάστηκε virtual (εικονικό) backbone γιατί την εποχή της έναρξης του δεν υπήρχε το IP multicasting στους δρομολογητές. Για πρώτη φορά αναπτύχθηκαν mrouter το 1992 και διασκορπίστηκαν μαζί με τους κλασσικούς unicast. Με την πάροδο του χρόνου όλοι οι απλοί router θα αναβαθμιστούν σε multicast εξαλείφοντας κατ'αυτό τον τρόπο την εικονική φύση του MBone.

### 7.1.2 MULTICAST GROUPS

Σε μία διάσκεψη multicast, ένας κόμβος πηγή μεταδίδει την ροή των δεδομένων σε μία IP διεύθυνση τάξης D που είναι ειδικά για multicast. Αυτή η IP διεύθυνση ορίζει ένα ειδικό multicast γκρουπ. Αυτό το γκρουπ είναι ένας αριθμός κόμβων οι οποίοι επιθυμούν να λάβουν την εκπομπή του αποστολέα κόμβου. Ο κόμβος αποστολής δεν χρειάζεται να γνωρίζει τον δυναμικότητα των γκρουπ όπως για παράδειγμα το πόσοι κόμβοι συμμετέχουν σε αυτό, ποιοι είναι τα μέλη των γκρουπ ή το πού βρίσκονται. Ο αποστολέας χρειάζεται μόνο να γνωρίζει την διεύθυνση του γκρουπ. Ο αποστολέας δεν χρειάζεται καν να είναι μέλος του γκρουπ για να κάνει την μετάδοση.

Τα multicast γκρουπ είναι αυτό που διαχωρίζει τις απλές διευθύνσεις unicast από τις διευθύνσεις multicast. Οι διευθύνσεις unicast έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν στους δρομολογητές να εκπέμπουν ένα πακέτο προς ένα συγκεκριμένο προορισμό. Οι διευθύνσεις ευρέως φάσματος (broadcast) εκπομπής παρέχουν την δυνατότητα στους δρομολογητές να εκπέμπουν ένα πακέτο σε όλους τους κόμβους ενός υποδικτύου. Οι multicast διευθύνσεις όμως επιτρέπουν σε έναν multicast δρομολογητή να εκπέμπει πακέτα σε ένα σετ κόμβων οι οποίοι είναι μέλη ενός συγκεκριμένου multicast γκρουπ.

Τα multicast γκρουπ έχουν δυναμική φύση. Ουσιαστικά ένα τέτοιο γκρουπ σχηματίζεται όταν ο αποστολέας πρόκειται να μεταδώσει ροή δεδομένων και ένας ή περισσότεροι κόμβοι θέλουν να λάβουν τα δεδομένα. Οι διευθύνσεις που σχετίζονται με αυτά τα γκρουπ, δεν σχετίζονται με κανένα φυσικό σημείο του δικτύου παρά μόνο

με την λογική δομή του γκρουπ. Οι multicast διευθύνσεις και τα αντίστοιχα γκρουπ διατηρούνται όσο υπάρχουν πομποί και δέκτες αυτών των δεδομένων.

### 7.1.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ IGMP

Όπως συμβαίνει και με τα κλασσικά πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος να παρακολουθούνται τα πακέτα των γειτονικών κόμβων για να αποφασιστεί η σωστή δρομολόγηση ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Με τους κλασσικούς router, πρωτόκολλα όπως το RIP (Routing Information Protocol) και το OSPF (Open Shortest Path First) χρησιμοποιούνται για να οδηγούν τα πακέτα unicast στο επιθυμητό πεδίο. Αυτές οι μέθοδοι ωστόσο δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν στην μη φυσική δομή των multicast groups. Το IGMP (Internet Group Management Protocol) χρησιμοποιείται από τους mrouter για να μάθουν ποια είναι η κατάσταση συμμετοχής άλλων mrouter που είναι πάνω σε απευθείας συνδεδεμένους κόμβους.



Σχήμα 42. Ένας τυπικός mRouter (Linksys WRP400 Wireless Router). Υποστηρίζει πρωτόκολλα IP Multicast / IGMP v1, v2, v3/ IGMP Proxy.

Το IGMP χρησιμοποιεί μία κατοχυρωμένη Class D διεύθυνση του τύπου 224.0.0.1. Αυτή η διεύθυνση ορίζει ένα μόνιμο γκρουπ για όλα τα συστήματα multicast με IP διευθύνσεις. Οι δρομολογητές multicast στέλνουν μηνύματα και ακολουθίες πακέτων με TTL τιμή 1 σε αυτή τη διεύθυνση, κρατώντας την κίνηση μέσα στο εσωτερικό τοπικό υποδίκτυο. Ένας κόμβος ο οποίος είναι ικανός για multicast πρέπει να γίνει μέλος του γκρουπ “all systems” για κάθε interface δικτύου που έχει και να παραμείνει σε αυτό το γκρουπ όση ώρα είναι ενεργός για να λαμβάνει πακέτα multicast. Υπάρχουν δύο τύποι μηνυμάτων IGMP:

- group membership queries (θα μπορούσαμε να το χαρακτηρίσουμε σαν μία ακολουθία πακέτων που ζητά από τους συμμετέχοντες κόμβους να απαντήσουν).
- group membership reports (οι αναφορές για την συμμετοχή των κόμβων στα διάφορα multicast γκρουπ)

Οι mrouterers στέλνουν περιοδικά το πρώτο τύπο μηνύματος με σκοπό να αποφασιστεί ποια γκρουπ έχουν κόμβους μέλη που είναι κατευθείαν συνδεδεμένοι πάνω στο τοπικό δίκτυο τους. Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα μήνυμα query δημιουργεί και στέλνει ένα μήνυμα αναφοράς (report) για κάθε γκρουπ στο οποίο ανήκει μετά από κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση δεδομένων στον mrouter. Αν ένας κόμβος αντιληφθεί ότι υπάρχει κάποιος άλλος κόμβος ο οποίος είναι στην διαδικασία αποστολής μιας παρόμοιας αναφοράς για το ίδιο γκρουπ τότε ο πρώτος κόμβος δεν θα στείλει την αναφορά του εκείνη την στιγμή. Αυτός είναι ένας πιο αποδοτικός τρόπος χρήσης του χρόνου και της επεξεργαστικής ισχύος. Όταν ένας κόμβος γίνεται μέλος ενός γκρουπ, θα στείλει αμέσως μία αναφορά στην οποία θα δηλώνει ότι έγινε μέλος για να αρχίσει να λαμβάνει και αυτός ροή multicast δεδομένων αμέσως και όχι να περιμένει για query από τον multicast δρομολογητή.



Σχήμα 43. Εξελεγμένος mRouter από την Cisco (Cisco 877 w)

Οι νεότερες εκδόσεις του IGMP εισάγουν ένα πρωτόκολλο βάση του οποίου αποφασίζεται ποιος multicast δρομολογητής, αν υπάρχουν περισσότεροι από έναν, θα στέλνει τις ερωτήσεις (queries) στους κόμβους. Ο mrouter με την πιο χαμηλή IP διεύθυνση στο δίκτυο γίνεται και αυτός που είναι υπεύθυνος για την αποστολή των



ερωτήσεων στους κόμβους. Μία επιπλέον βελτίωση είναι η δυνατότητα του να αποστέλλεται η ερώτηση αναφοράς σε κάποιο γκρουπ ξεχωριστά και όχι σε ομαδικά σε όλα τα γκρουπ. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το group leave message. Όταν δηλαδή ένας κόμβος επιθυμεί να αποχωρήσει από το γκρουπ απλά στέλνει ένα μήνυμα (group leave message) που δηλώνει την επιθυμία του αυτή. Ο mrouter στέλνει ερώτημα για την συμμετοχή ειδικά στο γκρουπ από το οποίο προήλθε το μήνυμα group leave. Αν δεν επιστρέψει καμία αναφορά τότε η διεύθυνση που είχε το γκρουπ μπορεί να αφαιρεθεί από την λίστα μελών των γκρουπ για το συγκεκριμένο τοπικό δίκτυο.

#### 7.1.4 ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗ

Κάθε πακέτο το οποίο κινείται στο Internet περιέχει και την διεύθυνση του προορισμού του μαζί με άλλες πληροφορίες δρομολόγησης (πχ. η διεύθυνση του αποστολέα). Μία IP διεύθυνση κατηγοριοποιείται σε πέντε τάξεις: A, B, C, D και E. Οι διευθύνσεις της τάξης D ορίζουν δεδομένα multicast. Ανήκουν στην κλίμακα από 224.0.0.0 μέχρι το 239.255.255.255. Για παράδειγμα multicast δεδομένα του MBone ορίζονται από τάξης D διευθύνσεις που δείχνονται από το 224.2.\*.\*. Με βάση αυτό τον τρόπο διευθυνσιοδότησης τα multicast πακέτα διαφοροποιούνται από τα unicast. Εκτός από τις ειδικές τους διευθύνσεις, τα multicast πακέτα είναι πανομοιότυπα με τα unicast στην δομή και μορφή όταν περνούν από απλούς unicast δρομολογητές. Στην ουσία τα multicast δεδομένα μεταφέρονται μέσα σε ένα απλό IP unicast πακέτο.

Είναι ευθύνη του multicast δρομολογητή να διακρίνει ένα multicast πακέτο από ένα απλό IP πακέτο. Αν το πακέτο είναι multicast τότε ο δρομολογητής ελέγχει αν κάποιος από τους κόμβους του υποδικτύου του είναι μέλη του γκρουπ για το οποίο προορίζεται το πακέτο. Αν υπάρχουν κόμβοι οι οποίοι είναι μέλη αυτού του γκρουπ τότε ο δρομολογητής δημιουργεί ένα αντίγραφο του πακέτου το οποίο και αποστέλλει και το αρχικό multicast πακέτο το προωθεί με βάση τον αλγόριθμο δρομολόγησης από τον οποίο συνοδεύεται. Αν δεν υπάρχουν μέλη του γκρουπ για το οποίο προορίζεται το πακέτο, τότε ο δρομολογητής απλά το προωθεί προς τον επόμενο προορισμό. Αν το πακέτο δεν είναι multicast αλλά unicast τότε ο δρομολογητής

δουλεύει σαν ένας απλό unicast router και ελέγχει αν υπάρχει στο υποδίκτυο του ο προορισμός του πακέτου.

Αν ένα multicast πακέτο δρομολογηθεί διά μέσω ενός απλού δρομολογητή, το πακέτο προωθείται ανάλογα και η ροή και η αξιοπιστία του πρωτοκόλλου multicast δρομολόγησης παραμένουν ανεπηρέαστα. Αν δεν συνέβαινε το τελευταίο τότε το multicasting θα ήταν ανέφικτο αφού αυτή την στιγμή θα ήταν αδύνατο να μην περνάει ένα multicast πακέτο από απλούς unicast δρομολογητές προκειμένου να φτάσει στον προορισμό του. Η point-to-point είναι η παραδοσιακή τεχνολογία για την επικοινωνία των υπολογιστών σε ένα δίκτυο. Συνεπώς όλοι οι δρομολογητές οι οποίοι κατασκευάστηκαν μέχρι το 1992 είναι βασισμένοι σε unicast δρομολόγηση. Αφού η δομή του συστήματος επικοινωνίας ήταν τέτοια το multicast έπρεπε να βασιστεί επάνω της προκειμένου να δουλέψει. Έτσι τα multicast πακέτα εμπεριέχονται σε unicast πακέτα ώστε να προωθούνται από τους απλούς δρομολογητές και να εξασφαλιστεί η συμβατότητα της τεχνολογίας προς τα πίσω. Επιπλέον οι multicast δρομολογητές θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζονται και unicast πακέτα εκτός από τα multicast πακέτα για τα οποία σχεδιάστηκαν. Ένα πιθανό ερώτημα που μπορεί να προκύψει είναι το εξής: “Είναι δυνατόν η διεύθυνση του αποστολέα ενός πακέτου να είναι η διεύθυνση ενός γκρουπ;”. Κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό. Η διεύθυνση του αποστολέα στην επικεφαλίδα ενός IP πακέτου είναι η πηγή του πακέτου. Ένα multicast γκρουπ δεν μπορεί να είναι η πηγή ενός πακέτου μια και είναι γκρουπ μόνο στην λογική και δεν έχει καμία φυσική δομή.

## 7.1.5 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ MULTICAST ΠΑΚΕΤΩΝ

**1. Flooding** (υπερχείλιση). Αυτός ο αλγόριθμος είναι ο πιο απλός αλγόριθμος προώθησης. Όταν ένας δρομολογητής λαμβάνει ένα πακέτο multicast, ο multicast δρομολογητής αποφασίζει αν έχει ξανασυναντήσει αυτό το πακέτο πρόσφατα ή όχι. Αν το έχει ξαναδεί απλά απορρίπτει το πακέτο. Αν είναι η πρώτη φορά που το συναντά τότε το πακέτο προωθείται προς όλα τα σημεία εκτός από αυτό από το οποίο προήλθε. Αυτός ο αλγόριθμος εγγυάται ότι όλοι οι δρομολογητές λαμβάνουν το πακέτο. Αυτός ο αλγόριθμος είναι πολύ απλός στην εφαρμογή του. Ο δρομολογητής δεν χρειάζεται να συντηρεί περίπλοκους πίνακες δρομολόγησης πακέτων. Χρειάζεται απλά να κρατάει μία λίστα των πιο πρόσφατων πακέτων που συνάντησε. Αυτή η απλοϊκότητα ωστόσο παραγκωνίζεται από την αδυναμία της κλιμάκωσης του αλγορίθμου. Αυτός ο αλγόριθμος δεν θα δουλέψει σε WAN αφού δημιουργεί πολλά αντίγραφα του πακέτου και κίνηση σε όλες τις διαδρομές του δικτύου κάτι που εύκολα μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση στο δίκτυο. Επίσης η μνήμη του δρομολογητή χρησιμοποιείται ανεπαρκώς αφού ο δρομολογητής πρέπει να δημιουργεί μία ξεχωριστή εισαγωγή στον πίνακα πρόσφατων πακέτων για κάθε διαφορετικό πακέτο.

**2. Spanning Trees - Constrained Steiner Trees** (απλωμένα δέντρα). Η κατασκευή δέντρων είναι μία δημοφιλής και αποδοτική λύση δρομολόγησης. Τα multicast πακέτα εκπέμπονται παράλληλα στους διάφορους δρομολογητές κατά μήκος των κλάδων ενός δέντρου. Ο αριθμός των αντιγράφων ενός πακέτου μειώνεται καθώς η ανάγκη για αντίγραφο δημιουργείται στις διχάλες των κλάδων του δέντρου. Αυτά τα δέντρα έχουν σχεδιαστεί ειδικά για ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση στην διαδρομή. Ο μέσος όρος καθυστέρησης μιας διαδρομής είναι ο μέσος όρος των ελαχίστων καθυστερήσεων από την πηγή προς κάθε προορισμό ενός multicast γκρουπ. Ένα Constrained Steiner (CST) είναι το χαρακτηριστικό παράδειγμα για αυτό. Είναι ένα δέντρο με περιορισμένη καθυστέρηση με ελάχιστο κόστος. Κατά την κατασκευή του CST, θεωρούμε ότι η πηγή έχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την κατασκευή του δέντρου. Αυτό οδηγεί στο να χρησιμοποιούνται τα CST σαν μία υποδιαίρεση στην τοπολογία του Internet.

Κατά την κατασκευή ενός CST το πρώτο βήμα είναι να αποφασιστεί η φτηνότερη διαδρομή από την πηγή προς κάθε προορισμό. Κάθε διαδρομή ελαχιστοποιεί τον μέσο όρο καθυστέρησης και πρέπει να έχει καθυστέρηση μικρότερη από την οριακή καθυστέρηση. Το επόμενο βήμα είναι να κατασκευαστεί το δέντρο. Ο CST αλγόριθμος κατασκευάζει το φτηνότερο δέντρο ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τις καθυστερήσεις κάτω από τον οριακό περιορισμό. Μία μέθοδος για την κατασκευή αυτού του δέντρου είναι με το μοίρασμα των διαδρομών. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου είναι δυνατό να βρεθούν διαδρομές οι οποίες έχουν καθυστέρηση πολύ μικρότερη από το όριο της καθυστέρησης που τίθεται κατά την σχεδίαση αλλά αντισταθμίζεται από ένα πιο ακριβό δέντρο. Με λίγα λόγια ο CST αλγόριθμος κατασκευάζει ένα δέντρο στο οποίο υπάρχει μόνο μία διαδρομή μεταξύ οποιωνδήποτε δύο δρομολογητών σε υποδίκτυα του Internet. Όταν ένα multicast πακέτο εισέρχεται στον δρομολογητή, ο δρομολογητής απλά προωθεί το πακέτο σε όλους τους κλάδους του δέντρου εκτός από τον κλάδο από τον οποίο προήλθε το πακέτο. Αυτή η μέθοδος εγγυάται ότι κανένα πακέτο δεν θα ξανακάνει κάποιο κύκλο και ότι τα πακέτα θα φτάσουν σε όλους τους δρομολογητές του δέντρου.

**3. Reverse Path Broadcasting** (εκπομπή ανάστροφης διαδρομής). Αυτός ο αλγόριθμος δημιουργεί ένα δέντρο για κάθε πιθανή πηγή σε ένα υποδίκτυο. Αυτά τα δέντρα θα χρησιμοποιηθούν από το υποδίκτυο το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο στην πηγή. Έτσι υπάρχει ένα δέντρο για κάθε ενεργό ζευγάρι πηγής - γκρουπ. Αυτός είναι ένας ακόμα σχετικά απλός αλγόριθμος. Όταν ένα πακέτο multicast φτάνει στον δρομολογητή, αυτός αποφασίζει την πηγή του πακέτου. Αν το πακέτο φτάνει στον σύνδεσμο που ο δρομολογητής θεωρεί σαν την πιο γρήγορη διαδρομή προς την πηγή τότε το πακέτο προωθείται προς όλους τους δρόμους εκτός από τον κλάδο από τον οποίο προήλθε το πακέτο. Αλλιώς το πακέτο απορρίπτεται.

Με σκοπό να μειωθεί ο αριθμός των διπλών πακέτων, υπάρχει μία βελτιωμένη έκδοση αυτού του αλγόριθμου. Ο τοπικός δρομολογητής αποφασίζει αν οι δρομολογητές που βρίσκονται πιο κάτω από αυτόν τον θεωρούν ως την ταχύτερη διαδρομή προς την πηγή του πακέτου. Το πακέτο τότε προωθείται μόνο προς τους δρομολογητές οι οποίοι θεωρούν τον τοπικό δρομολογητή ως τον πατρικό σύνδεσμο και πηγή του πακέτου. Είναι περιττό να προωθηθεί το πακέτο προς δρομολογητές οι οποίοι δεν θεωρούν τον τοπικό router ως πηγή του πακέτου αφού αυτοί οι δρομολογητές θα απορρίψουν το πακέτο. Αυτή η βελτίωση δουλεύει καλά με ένα

πρωτόκολλο link-state (κατάστασης σύνδεσης) αφού ο κάθε δρομολογητής διατηρεί πληροφορίες για ολόκληρο το πεδίο δρομολόγησης.

**4. Truncated Reverse Path Broadcasting** (διακεκομμένη εκπομπή ανάστροφης διαδρομής). Αυτός ο αλγόριθμος δημιουργήθηκε με σκοπό να βελτιωθεί ο RPB ως προς τους περιορισμούς του. Ο RPB δεν λαμβάνει υπ' όψιν του τα μέλη που περιέχει ένα γκρουπ όταν δημιουργεί τα δέντρα πηγής - γκρουπ. Έτσι υπάρχουν φορές που προωθούνται multicast πακέτα σε γκρουπ που δεν έχουν μέλη για τα συγκεκριμένα πακέτα. Το TRPB χρησιμοποιεί το IGMP για να αποφασίσει για την συμμετοχή των μελών στα γκρουπ σε κάθε υποδίκτυο. Το TRPB αποφεύγει την προώθηση πακέτων σε υποδίκτυα που δεν έχουν μέλη για το συγκεκριμένο γκρουπ. Έτσι το δέντρο θεωρείται περικεκομμένο από τον δρομολογητή αν το υποδίκτυο δεν έχει καθόλου μέλη για το γκρουπ.

**5. Reverse Path Multicasting** (πολλαπλή εκπομπή ανάστροφης διαδρομής). Αυτός ο αλγόριθμος είναι ένα βελτιωμένος αλγόριθμος ως προς το RPB και το TRPB. Το RMP φτιάχνει ένα δέντρο το οποίο εκτείνεται μόνο στα υποδίκτυα τα οποία έχουν μέλη και στους δρομολογητές και υποδίκτυα τα οποία είναι στην πιο κοντινή διαδρομή προς υποδίκτυα με μέλη από γκρουπ. Το δέντρο αυτό περικόπτεται ώστε τα πακέτα να προωθούνται μόνο στους κλάδους των υποδικτύων με κόμβους μέλη.

Όταν ένας multicast δρομολογητής λαμβάνει ένα πακέτο για ένα συγκεκριμένο ζεύγος πηγής - γκρουπ, το πρώτο πακέτο προωθείται ακολουθώντας τον TRPB αλγόριθμο προς όλους τους δρομολογητές του διαδικτύου. Αυτό εξασφαλίζει ότι όλοι οι δρομολογητές που είναι στην άκρη των κλάδων του δέντρου λαμβάνουν το πρώτο πακέτο. Αν υπάρχει ένα μέλος του γκρουπ σε υποδίκτυο του ακριανού δρομολογητή τότε το πακέτο προωθείται με βάση τις πληροφορίες από το IGMP. Αν δεν υπάρχει κανένα μέλος σε υποδίκτυο του ακριανού δρομολογητή τότε ο δρομολογητής στέλνει ένα μήνυμα prune (περικοπής). Αυτό ενημερώνει τον αμέσως από πάνω δρομολογητή ότι δεν πρέπει να προωθηθούν άλλα πακέτα αυτού του γκρουπ στον ακριανό δρομολογητή. Ο router που προηγείται του ακραίου και λαμβάνει το μήνυμα διακοπής αποστολής των πακέτων πρέπει να διατηρήσει τις πληροφορίες αυτού του μηνύματος. Αν ο δρομολογητής λάβει μηνύματα prune από όλους τους δρομολογητές που βρίσκονται από κάτω του τότε θα στείλει ένα αντίστοιχο μήνυμα στον πατρικό του router και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Τελικά με αυτά τα μηνύματα περικοπής δημιουργείται ένα multicast δέντρο που περιέχει μόνο κλάδους οι οποίοι είναι ενεργά μέλη.

Αφού η συμμετοχή σε ένα γκρουπ είναι δυναμικής φύσεως, το multicast δέντρο ανανεώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Ο κάθε δρομολογητής καθαρίζει τα μηνύματα διακοπές από την μνήμη του και τότε το πρώτο πακέτο που θα λάβει θα το προωθήσει προς όλους τους δρομολογητές που βρίσκονται από κάτω του. Αυτό προκαλεί ένα νέο κύμα μηνυμάτων διακοπής που δημιουργούν ένα νέο multicast δέντρο.

**6. Shortest Path Trees** (Δέντρα της μικρότερης διαδρομής). Τα δέντρα της ελάχιστης διαδρομής είναι ένα παράδειγμα ενός μη περιορισμένου αλγορίθμου multicast δρομολόγησης. Ο αλγόριθμος SPT κατασκευάζει ένα εκτεινόμενο δέντρο από την πηγή προς όλα τα μέλη που είναι προορισμοί για τα πακέτα μειώνοντας ένα δεδομένο κόστος όπως οι καθυστερήσεις από άκρη σ' άκρη ή ο αριθμός των hops χωρίς να υπολογίζεται η ποιότητα των απαιτήσεων της υπηρεσίας. Για να μειωθεί η συνάρτηση του κόστους χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος όπως αυτός των Bellman - Ford. Και πάλι αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να δεχτούν επεμβάσεις επιτρέποντας τον διαμοιρασμό συνδέσμων (links) και έτσι να μειώσουν το κόστος των SPT.

**7. Core Based Trees** (δέντρα βασισμένα σε πυρήνα). Τα δέντρα αυτά διαφέρουν από τους υπάρχοντες αλγορίθμους δρομολόγησης στο ότι χτίζουν ένα δέντρο παράδοσης το οποίο μοιράζεται από όλες τις πηγές ενός γκρουπ αντί για ένα δέντρο για κάθε ζεύγος πηγής γκρουπ. Έτσι η κίνηση του multicast διακινείται πάνω στο ίδιο δέντρο ανεξάρτητα από την πηγή.

Ο CBT αλγόριθμος έχει έξι κύριους σχεδιαστικούς σκοπούς.

Πρώτον θα πρέπει να ακολουθεί τις απαιτήσεις του Host Group μοντέλου, δηλαδή: οι αποστολείς δεν χρειάζεται να είναι μέλη του γκρουπ, τα γκρουπ μπορούν να έχουν όσα μέλη θέλουν, η λίστα των μελών είναι δυναμική και αυτόνομη, δεν υπάρχουν τοπολογικοί περιορισμοί για να γίνει κάποιος κόμβος μέλος ενός γκρουπ και τα γκρουπ μπορεί να είναι μόνιμα ή προσωρινά.

Δεύτερον το CBT είναι κλιμακωτό. Χρησιμοποιεί λίγη μνήμη, έχει λίγες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και μικρές απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ από τους

πόρους των multicast δρομολογητών όταν εφαρμόζεται σε ευρύτερα τοπολογικά δίκτυα.

Τρίτον το CBT είναι ένας ισχυρός αλγόριθμος multicast. Καθώς τα δέντρα γίνονται μεγαλύτερα, η τοποθέτηση του πυρήνα γίνεται με γνώμονα την βέλτιστη σταθερότητα για το δέντρο διανομής των πακέτων.

Τέταρτο το CBT προσφέρεται για “αόρατη” δρομολόγηση της multicast ροής και για διευθυνσιοδότηση σε δρομολογητές που δεν ανήκουν στο CBT δέντρο. Έτσι οι διευθύνσεις multicast αναγνωρίζονται μόνο αν ο δρομολογητής είναι μέλος του γκρουπ, όταν δηλαδή ανήκει στο δέντρο CBT για αυτό το γκρουπ. Οι δρομολογητές που ανήκουν στο δέντρο CBT χρειάζεται μόνο να γνωρίζουν ποιοι είναι οι δρομολογητές που βρίσκονται από πάνω και από κάτω τους στο δέντρο.

Πέμπτο το CBT είναι αλγόριθμος δρομολόγησης ανεξάρτητα από ποιο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο. Έτσι μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε επιτρέποντας και εσωτερική δρομολόγηση multicast δεδομένων.

Έκτο το CBT είναι ανεξάρτητο από κάθε καινούρια δομή IP διευθυνσιοδότησης.

Ένα δέντρο CBT μπορεί να έχει ένα μόνο πυρήνα ή και περισσότερους ανάλογα με το μέγεθος του γκρουπ. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να γίνει μέλος ενός γκρουπ, στέλνει μία αίτηση για συμμετοχή προς το δέντρο πυρήνα του γκρουπ. Αυτή την αίτηση την επεξεργάζονται όλοι οι ενδιαμέσοι δρομολογητές προσδιορίζοντας από ποιο σημείο προήλθε η αίτηση και καθορίζουν το CBT δέντρο διανομής για αυτό τον κόμβο. Αν ένας κόμβος επιθυμεί να γίνει πηγή για ένα γκρουπ, αλλά δεν είναι μέλος αυτού του γκρουπ τότε στέλνει σε απλά IP πακέτα unicast τα δεδομένα προς τον κεντρικό δρομολογητή. Όταν το πακέτο φτάσει σε ένα δρομολογητή ο οποίος είναι μέλος του CBT δέντρου, από εκεί και πέρα εκπέμπεται πολλαπλά σαν multicast πακέτο μέχρι το τέλος της διαδρομής. Αυτό εγγυάται την προώθηση του πακέτου προς όλα τα μέλη ενός γκρουπ. Όλα τα πακέτα περικλείονται μέσα σε μία IP unicast διεύθυνση και διακινούνται με χρήση των κλασικών IP αλγορίθμων. Όλα τα μηνύματα και τα πακέτα προωθούνται προς τον πυρήνα του δέντρου ή προς ένα από τους πυρήνες αν αναφερόμαστε σε δέντρο με παραπάνω από έναν κεντρικούς κλάδους. Αυτό εξασφαλίζει την σωστή διανομή των πακέτων σε όλους τους δρομολογητές που βρίσκονται στο δέντρο.

## 8. Συμπεράσματα σύγκρισης των αλγορίθμων

Ο αλγόριθμος Flooding παρά το γεγονός ότι είναι ο πιο απλός αλγόριθμος δεν είναι κατάλληλος για multicasting. Δεν κλιμακώνεται σε εφαρμογές σε μεγάλα δίκτυα. Παράγει μεγάλο αριθμό διπλών πακέτων και χρησιμοποιεί όλες τις διαθέσιμες οδούς. Επίσης απαιτεί έναν ειδικό μηχανισμό για να σταματήσει η διαδικασία προώθησης των πακέτων καθώς οι πιθανές ανακυκλώσεις των πακέτων μπορεί να μην αφήνουν το πακέτο να εκλείψει.

Τα Spanning trees είναι μία αρκετά πιο αποδοτική και ισχυρή λύση από ότι ο αλγόριθμος υπερχειλίσης. Τείνουν να οδηγούν την ροή προς το κέντρο του δέντρου ωστόσο μόνο σε μικρό αριθμό συνδέσεων οι οποίες με την σειρά τους μπορεί να μην παρέχουν την καλύτερη δυνατή διαδρομή μεταξύ την πηγή και τους κόμβους μέλη ενός γκρουπ. Ο αλγόριθμος CBT έχει αποδειχτεί ότι είναι κατάλληλος για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Έχει καλούς χρόνους μεταβολής της καθυστέρησης μεταξύ των πακέτων και προωθεί τον διαμοιρασμό των συνδέσεων. Όμως αυτός ο αλγόριθμος δεν κλιμακώνεται καλά σε μεγάλα δίκτυα. Η πολυπλοκότητα του είναι της τάξης  $n$  εις τον κύβο όπου  $n$  είναι ο αριθμός των κόμβων στο δέντρο. Ένα καλό παράδειγμα στην κατασκευή ενός δέντρου CST είναι ότι η πηγή γνωρίζει τα πάντα για τα μέλη του γκρουπ. Έτσι καθώς τα γκρουπ γίνονται ολοένα και μεγαλύτερα η λύση γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη.

Η τεχνική RPB, TRPB και RPM μπορούν να ομαδοποιηθούν μια και σχετίζονται μεταξύ τους. Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των τεχνικών σε σχέση με το δέντρο CST είναι ότι ο δρομολογητής της πηγής δεν χρειάζεται να γνωρίζει για ολόκληρο το δέντρο. Δεν χρειάζεται καν κάποιον ειδικό μηχανισμό για να σταματήσει την προώθηση των πακέτων, όπως κάνει ο αλγόριθμος υπερχειλίσης. Αφού και αυτές οι τεχνικές είναι εκτεταμένα δέντρα μπορούν να εγγυηθούν την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση αφού τα πακέτα ακολουθούν πάντα την πιο σύντομη διαδρομή από την πηγή του πακέτου προς τα μέλη του γκρουπ που προορίζεται αυτό.

Η μεγαλύτερη ανεπάρκεια του RPB που την διορθώνει το TRPB είναι ότι το πρώτο δεν λαμβάνει υπόψιν του τα μέλη των γκρουπ όταν χτίζει το δέντρο διανομής. Έτσι πακέτα μπορεί να προωθηθούν σε υποδίκτυα τα οποία δεν έχουν καθόλου μέλη. Το TRPB χρησιμοποιεί τα μηνύματα του IGMP προκειμένου να ξεπεράσει αυτή την ατέλεια. Έτσι πακέτα δεν προωθούνται προς υποδίκτυα αν δεν υπάρχουν μέλη εκεί.



Αυτό ωστόσο δεν διορθώνει το πρόβλημα ολοκληρωτικά. Το TRPB ελαφρύνει την κίνηση στους ακριανούς δρομολογητές του δέντρου αλλά κατά την κατασκευή των κλάδων δεν εκτιμά την κατάσταση μέλους που έχουν οι κόμβοι. Το RPM αναπτύχθηκε για να λύσει αυτό ακριβώς το πρόβλημα. Έτσι το RPM δημιουργεί ένα δέντρο για τα υποδίκτυα τα οποία περιέχουν κόμβους μέλη καθώς και για δρομολογητές οι οποίοι είναι στην πιο κοντινή διαδρομή για υποδίκτυα με μέλη του γκρουπ.

Ένα κύριο πλεονέκτημα που έχει η εξέλιξη των RPB-TRPB-RPM σε σχέση με τα δέντρα CST είναι ότι το δέντρο CST κατασκευάζει ένα απλό δέντρο για ολόκληρο το δίκτυο. Οι RPB-TRPB-RPM φτιάχνουν δέντρα τα οποία είναι βασισμένα στα υπάρχοντα γκρουπ για κάθε πιθανή πηγή.

Η εξέλιξη των RPB-TRPB-RPM όπως και τα CST δέντρα υποφέρουν από δύο κύριους περιορισμούς : δεν κλιμακώνονται εύκολα και είναι πολύ περίπλοκα. Όπως και στο CST το γκρουπ RPB-TRPB-RPM αλγορίθμων δρομολόγησης δεν κλιμακώνονται καλά. Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι χρειάζονται την περιοδική εκπομπή ενός multicast πακέτου προς όλους τους δρομολογητές του υποδικτύου. Αυτό παράγει ένα αξιοσέβαστο ποσό κίνησης στο δίκτυο ειδικά όταν τα γκρουπ αρχίζουν και μεγαλώνουν. Τα σετ των αλγορίθμων δρομολόγησης RPB-TRPB-RPM γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα καθώς τα μεγέθη και ο αριθμός των γκρουπ αυξάνονται. Ο κάθε δρομολογητής απαιτείται να κρατάει πληροφορίες για την κατάσταση όλων των γκρουπ και για κάθε πηγή. Τα RPB-TRPB-RPM καθώς και τα δέντρα CST μπορούν να εφαρμοστούν καταναμημένα μειώνοντας κατά ένα μικρό ποσοστό την πολυπλοκότητα καθώς το διαδίκτυο γίνεται όλο και μεγαλύτερο.

Ο αλγόριθμος SPT θεωρείται και αυτός ως κατάλληλος για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Έχει και αυτός μία μέση διαφοροποίηση στις καθυστερήσεις. Αυτό οφείλεται κατά ένα ποσοστό στο γεγονός ότι η κάθε πηγή πρέπει να κατασκευάσει ένα δικό της δέντρο δρομολόγησης, με την μικρότερη διαδρομή προς όλους τους κόμβους μέλη, που αυξάνει το κόστος για την επίτευξη σύνδεσης. Ο αλγόριθμος SPT έχει το ίδιο πρόβλημα δυνατότητας κλιμάκωσης που χαρακτηρίζει και τους προηγούμενους αλγορίθμους. Αν και η πολυπλοκότητα του είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με τους προηγούμενους αλγορίθμους, καθώς το μέγεθος των

γκρουπ αυξάνεται, η πολυπλοκότητα αυξάνεται με ρυθμούς της τάξης  $n$  εις το τετράγωνο.

Ο CBT αλγόριθμος αν και ακόμα δεν έχει εφαρμοστεί, κερδίζει ολοένα και περισσότερη δύναμη και προσελκύει περισσότερο ενδιαφέρον. Ο αλγόριθμος αυτός (όπως προτείνεται) παρέχει μία κλιμακούμενη λύση σε μεγάλα WANs όπως είναι το Internet. Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους αλγορίθμους κάνει πολύ πιο αποδοτική χρήση των δυνατοτήτων των δρομολογητών καθώς ο δρομολογητής το μόνο που χρειάζεται είναι να γνωρίζει τις πληροφορίες για συγκεκριμένα γκρουπ και όχι για τα ζεύγη πηγής - δέκτη. Το απαιτούμενο bandwidth είναι επίσης σημαντικά μικρότερο στον CBT αφού δεν χρειάζεται να στέλνει πακέτα multicast σε τακτά χρονικά διαστήματα σε όλους τους δρομολογητές. Παρά τα προτερήματα αυτά το CBT πάσχει και αυτό από την συμφόρηση του δικτύου καμιά φορά ακόμα περισσότερο από τους άλλους αλγορίθμους. Όλα τα μηνύματα και τα πακέτα πρέπει να προωθηθούν προς τους κεντρικούς δρομολογητές και έτσι μοιραία έχουμε συμφόρηση στο δίκτυο αφού τα πακέτα όλα θα περάσουν πάνω από τους ίδιους συνδέσμους καθώς πλησιάζουν όλο και περισσότερο τον κεντρικό κλάδο. Επίσης καθώς τα μεγέθη των γκρουπ μπορεί να γίνονται μεγαλύτερα ένα δέντρο διανομής μπορεί να αυξήσει πολύ την καθυστέρηση από άκρη σ' άκρη καθιστώντας τον αλγόριθμο μη επαρκή για εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο.

Ένα άλλο μείον είναι ότι το CBT υποθέτει την ύπαρξη μίας υπηρεσίας που αναθέτει τον κλάδο πυρήνα. Αυτή η υπηρεσία θα έλεγε τους κεντρικούς δρομολογητές και θα αποφάσιζε την τοποθέτηση κύριων και λιγότερης σημασίας κλάδων. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται να έχουμε γνώση ολόκληρης της τοπολογίας του δικτύου για σωστή επιλογή τοποθέτησης των κλάδων. Οι αλγόριθμοι ή τα πρωτόκολλα που θα παρέχουν τέτοιες υπηρεσίες δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα.

## 7.1.6 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ MULTICAST

### 1. DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)

Το DVMRP είναι ένα πρωτόκολλο, το οποίο βασίζεται στον αριθμό των hop που κάνει ένα πακέτο, το οποίο σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την προώθηση multicast πακέτων μέσω από ένα διαδίκτυο. Κάνει χρήση των διαφόρων αλγορίθμων που βασίζονται στο RPB για να δημιουργήσει ένα δέντρο που έχει σαν κέντρο του την πηγή των πακέτων. Είχε βασιστεί στο RIP (Routing Information Protocol), το οποίο υπολογίζει την μικρότερη διαδρομή από την πηγή στον προορισμό ενώ το DVMRP υπολογίζει την μικρότερη διαδρομή προς την πηγή από τον προορισμό. Το DVMRP δεν σχεδιάστηκε για να δρομολογεί unicast πακέτα. Έτσι οι δρομολογητές DVMRP τρέχουν ξεχωριστές διεργασίες για τα multicast και ξεχωριστές για τα unicast πακέτα.

Όλα τα interface ενός DVMRP δρομολογητή είναι διαμορφωμένα με ένα μέτρο το οποίο παρέχει το κόστος του interface και ένα όριο TTL για να περιορίσουν την έκταση της εκπομπής. Κάθε interface το οποίο είναι tunnel θα πρέπει να οριστεί με βάση την IP διεύθυνση του τοπικού δρομολογητή και την IP διεύθυνση του απομακρυσμένου δρομολογητή. Οι μετρικές τιμές και η τιμή του TTL είναι σημαντικές για να περικοπεί το δέντρο διανομής. Αν η τιμή TTL ενός multicast πακέτου είναι μέσα στα όρια που ορίζονται από τον δρομολογητή τότε το πακέτο θα πρέπει να προωθηθεί.

Όπως περιγράφηκε προηγουμένως το DVMRP προωθεί τα πακέτα σε αντιστοιχία με τον αλγόριθμο RPM. Το αρχικό πακέτο για ένα ζεύγος πηγής - γκρουπ προωθείται προς όλους τους δρομολογητές αν το επιτρέπει η τιμή TTL του πακέτου. Από εκείνο το σημείο και μετά αρχίζουν οι περικοπές. Μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το δέντρο ανανεώνεται καθώς στέλνεται ένα νέο πακέτο προς όλους τους δρομολογητές του διαδικτύου.

Το DVMRP μπορεί να εκτελέσει και διορθωτικό ρόλο. Αν ένας δρομολογητής στείλει ένα μήνυμα περικοπής και μετά ανακαλύψει έναν κόμβο που ανήκει στο γκρουπ, μπορεί να στείλει ένα διορθωτικό μήνυμα στον πατρικό του σύνδεσμο. Ο δρομολογητής που βρίσκεται από πάνω του ακυρώνει το προηγούμενο μήνυμα και αρχίζει να προωθεί τα πακέτα και προς εκείνο τον κόμβο. Με αυτό τον

μηχανισμό ένας κόμβος δεν χρειάζεται να περιμένει μέχρις ότου το δέντρο ανανεωθεί για να αρχίσει να λαμβάνει multicast δεδομένα.

Σε κάθε υποδίκτυο πρέπει να υπάρχει ένας κυρίαρχος δρομολογητής. Αν υπάρχουν περισσότεροι από ένας δρομολογητές τότε αυτός με την χαμηλότερη IP διεύθυνση γίνεται ο κυρίαρχος δρομολογητής. Ο κύριος δρομολογητής τότε προωθεί τα πακέτα από το πηγαίο υποδίκτυο και ο δευτερεύον δρομολογητής απλά απορρίπτει τα πακέτα από το υποδίκτυο αυτό.

Οι πίνακες δρομολόγησης αντιπροσωπεύουν τα δέντρα της μικρότερης διαδρομής από την πηγή προς κάθε υποδίκτυο το οποίο έχει ένα μέλος του γκρουπ. Τα εισαγόμενα στοιχεία για αυτόν τον πίνακα είναι : Source Subnet (υποδίκτυο της πηγής) το οποίο είναι το υποδίκτυο που περιέχει την πηγή των πακέτων, Subnet Mask που είναι η “μάσκα” που ανατίθεται στο υποδίκτυο της πηγής, From Gateway που είναι η διεύθυνση του προηγούμενου δρομολογητή από τον οποίο πέρασε το πακέτο, Metric, Status και TTL. Βασισμένος σε αυτές τις πληροφορίες ο αλγόριθμος DVMRP πρέπει να χτίσει έναν πίνακα προώθησης αφού η κατάσταση των μελών ενός γκρουπ δεν είναι γνωστή από τον πίνακα δρομολόγησης. Ο πίνακας προώθησης είναι η γνώση του δρομολογητή για την μικρότερη διαδρομή στο εκτεταμένο δέντρο για το κάθε ζεύγος πηγής - γκρουπ. Ο πίνακας προώθησης περιέχει τα παρακάτω στοιχεία: Source Subnet, Multicast group που είναι η διεύθυνση τάξης D των multicast πακέτων, InPort που είναι η πόρτα του πατρικού συνδέσμου και OutPort που είναι η πόρτα στην οποία στέλνονται τα multicast πακέτα. Αν στο μήνυμα του InPort δούμε το σύμβολο ‘pr’ σημαίνει ότι έχει σταλεί μήνυμα prune (περικοπής) στο συγκεκριμένο σύνδεσμο. Αν δούμε ένα ‘p’ στο πεδίο του OutPort σημαίνει ότι το μήνυμα prune έχει ληφθεί για το συγκεκριμένο ζεύγος πηγής - γκρουπ.

## **2. MOSPF (Multicast Open Shortest Path First)**

Ο MOSPF είναι η εξέλιξη του αλγορίθμου OSPF που χρησιμοποιείται για απλή unicast δρομολόγηση. Το MOSPF βασίζεται στην κατάσταση σύνδεσης αντί για τον αριθμό των hop ενός πακέτου όπως συμβαίνει στο DVMRP. Ο MOSPF είναι βασισμένος πάνω στο OSPF έτσι ώστε ένας χώρος δρομολόγησης OSPF να μπορεί να βελτιωθεί εύκολα ώστε να υποστηρίζει multicast δυνατότητες. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος ο MOSPF συνεργάζεται με τους unicast δρομολογητές για OSPF στην προώθηση των πακέτων. Ο MOSPF χρησιμοποιεί τα πρωτόκολλα δρομολόγησης του

OSPF για να διατηρήσει μία εικόνα της τοπολογίας του δικτύου. Ο MOSPF προορίζεται για ένα απλό αυτόνομο σύστημα. Για να αναβαθμιστεί ο MOSPF αλγόριθμος ώστε να χρησιμοποιηθεί στο Internet θα πρέπει να εισαχθεί άλλο ένα αυτόνομο πρωτόκολλο δρομολόγησης.

Οι δρομολογητές MOSPF χρειάζονται για να διατηρούν μία βάση δεδομένων που είναι μία λίστα των άμεσα συνδεδεμένων μελών των γκρουπ. Οι δρομολογητές επίσης αποφασίζουν πως θα προωθηθεί το κάθε multicast πακέτο σε καθένα από τα μέλη του γκρουπ. Σε κάθε υποδίκτυο υπάρχει ένας MOSPF δρομολογητής ο οποίος ορίζεται ως ο χαρακτηριστικός δρομολογητής (DR, Designated Router) και ένας ο οποίος είναι ο back-up DR. Υποχρέωση του DR είναι να εφαρμόσει σειρά μηνυμάτων IGMP. Τόσο ο DR όσο και ο BDR ακούν στις αναφορές των κόμβων.

Ο δρομολογητής DR διανέμει τις πληροφορίες για την συμμετοχή των μελών με το να στέλνει ένα μήνυμα, που είναι ανακοίνωση κατάστασης σύνδεσης, που ορίζει τα μέλη των γκρουπ και εξασφαλίζει ότι τα πακέτα θα προωθούνται σωστά για διανομή στα μέλη των τοπικών γκρουπ. Κάθε δρομολογητής μπορεί τότε να κατασκευάσει το δέντρο με ρίζα του την πηγή και με την μικρότερη διαδρομή για κάθε κόμβο μέλος βασισμένος στον SPT αλγόριθμο δρομολόγησης. Αυτό είναι ένα περικεκομένο δέντρο. Ένα ξεχωριστό δέντρο πρέπει να φτιαχτεί για κάθε ζεύγος πηγής - γκρουπ. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του MOSPF είναι ότι αυτά τα δέντρα κατασκευάζονται κατ'απαίτηση. Αυτό σημαίνει ότι το δέντρο κατασκευάζεται όταν ληφθεί το πρώτο πακέτο του συγκεκριμένου ζεύγους πηγής - γκρουπ. Τα αποτελέσματα φυλάσσονται σε προσωρινή μνήμη (cache) για να χρησιμοποιηθούν αργότερα. Όταν χρειάζεται να προωθηθεί ένα πακέτο, ο δρομολογητής διαλέγει την θέση που βρίσκεται κατά μήκος του δέντρου διανομής και με βάση τα στοιχεία της προσωρινής μνήμης (cache) προωθεί το πακέτο.

Η cache προώθησης κατασκευάζεται από το δέντρο της μικρότερης διαδρομής για το κάθε ζεύγος πηγής - γκρουπ και από την τοπική βάση δεδομένων για το γκρουπ. Όταν κατασκευάζεται το δέντρο της μικρότερης διαδρομής γίνεται μία εισαγωγή στην cache προώθησης. Αμέσως μετά το δέντρο απορρίπτεται προκειμένου να ελευθερωθούν πόροι του δρομολογητή και όλα τα πακέτα για το συγκεκριμένο ζεύγος πηγής - γκρουπ προωθούνται ανάλογα με τα περιεχόμενα της προσωρινής μνήμης. Η μνήμη προώθησης (cache) έχει τις ακόλουθες παραμέτρους: Destination

που είναι η διεύθυνση του γκρουπ, Source που είναι το υποδίκτυο στο οποίο ανήκει η πηγή του πακέτου, Upstream που είναι το interface από το οποίο πρέπει να παραληφθεί το πακέτο, Downstream που είναι το interface στο οποίο θα προωθηθεί το πακέτο και TTL που είναι ο ελάχιστος αριθμός hops που μπορεί να κάνει το πακέτο προκειμένου να φτάσει στα μέλη του γκρουπ. Οι τιμές TTL επιτρέπουν στον δρομολογητή να απορρίπτει πακέτα τα οποία δεν θα μπορέσουν ποτέ να φτάσουν σε ένα μέλος του γκρουπ. Η cache προώθησης δεν ανανεώνεται ποτέ. Αλλάζει μόνο όταν υπάρξει αλλαγή στην τοπολογία δρομολόγησης του δικτύου, αναγκάζοντας τον επαναπροσδιορισμό όλων των δέντρων, ή όταν υπάρχει αλλαγή στην διανομή των μελών του γκρουπ.

### **3.PIM (Protocol-Independent Multicast)**

Το PIM είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης το οποίο βρίσκεται ακόμα υπό εξέλιξη. Ο σκοπός του PIM είναι να γίνει δυνατόν να εκπέμπονται πολλαπλώς πακέτα multicast χωρίς να χρειάζεται να βασίζεται η μετάδοση στους unicast αλγορίθμους μετάδοσης. Αν το κατορθώσει το πρωτόκολλο θα μπορεί να παρέχει multicast δυνατότητες σε διαφορετικά domain σε όλο το Internet. Στην τεκμηρίωση και εφαρμογή του PIM ο δρομολογητής πρέπει να χρησιμοποιεί έναν unicast αλγόριθμο δρομολόγησης για να συντηρεί ένα πίνακα δρομολόγησης και να μπορεί να προσαρμόζεται στις μεταβολές της τοπολογίας.

Το PIM έχει δύο διαφορετικές τεχνολογίες: sparse (αραιό) και dense (πυκνό). Το αραιό mode του PIM είναι ένα πρωτόκολλο multicast το οποίο είναι βελτιστοποιημένο για γκρουπ τα οποία είναι ευρέως διαμοιρασμένα σε διάφορα σημεία του Internet. Αντίθετα το πυκνό mode είναι βελτιωμένο για γκρουπ των οποίων τα μέλη είναι σχετικά κοντά το ένα στο άλλο. Ένα χαρακτηριστικό που διακρίνει αυτούς τους δύο τρόπους λειτουργίας είναι η διαθεσιμότητα του bandwidth. Στον αραιό τρόπο το bandwidth μπορεί να μην εύκολα διαθέσιμο. Στον πυκνό τρόπο αντίθετα το bandwidth είναι άφθονο. Ένας δρομολογητής PIM είναι ικανός να τρέχει διαφορετικά mode για διαφορετικά γκρουπ ταυτόχρονα γιατί το PIM-DM (dense mode) και το PIM-SM (sparse mode) σύστημα επεξεργασίας και προώθησης έχουν ενοποιηθεί.

- PIM-DM

Το PIM-DM αναπτύχθηκε για να χρησιμοποιηθεί μαζί με το PIM-SM και να προσδώσει ένα εναλλακτικό πρωτόκολλο πυκνής τεχνολογίας από το να βασίζομαστε στο DVMRP ή στο MOSFP. Το PIM-DM μοιάζει πάρα πολύ στο DVMRP αφού χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο προώθησης RPM. Βασίζεται στην ύπαρξη ενός unicast δρομολογητικού αλγορίθμου για να προσαρμοστεί στις μεταβολές της τοπολογίας, αλλά δεν εξαρτάται από τους μηχανισμούς αυτού του αλγορίθμου. Το PIM-DM πρωτόκολλο προωθεί τα multicast πακέτα σε όλα τα interfaces που ακολουθούν στο δέντρο μέχρι να ενημερωθεί ρητά από ένα μήνυμα prune. Όπως το DVMRP, έτσι και το PIM-DM χρησιμοποιεί διορθωτικά μηνύματα για μέλη γκρουπ τα οποία εμφανίζονται σε αποκομμένους κλάδους.

- PIM-SM

Το PIM-SM πρωτόκολλο αναπτύχθηκε για να παρέχει δυνατότητα multicast σε μέλη γκρουπ τα οποία βρίσκονται διαμοιρασμένα σε διάφορα απομακρυσμένα σημεία ενός WAN. Για να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα κλιμάκωσης το PIM-SM περιορίζει την εκπομπή multicast κίνησης μόνο στους δρομολογητές που πραγματικά ενδιαφέρονται. Οι δρομολογητές PIM που έχουν άμεσα συνδεδεμένα μέλη από γκρουπ επάνω τους καλούνται να στείλουν ένα ρητό μήνυμα σύνδεσης στο δέντρο του αραιού τρόπου λειτουργίας για να γίνουν και αυτοί μέλη του δέντρου διανομής. Αν ο δρομολογητής δεν στείλει αυτό το μήνυμα τότε δεν λαμβάνει την multicast κίνηση.

Το PIM-SM μοιάζει αρκετά με το CBT. Και τα δύο πρωτόκολλα εισάγουν την ιδέα του κοινού σημείου συνάντησης, δρομολογητής πυρήνας για το CBT και rendezvous point (RP) για το PIM-SM. Η αρχική πηγή κάθε γκρουπ διαλέγει ένα RP και ένα μικρό αριθμό εναλλακτικών σημείων συνάντησης (RP-list). Σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή μόνο ένα σημείο συνάντησης είναι ενεργό για ένα γκρουπ. Αν ένας κόμβος επιθυμεί να γίνει μέλος επικοινωνεί με τον άμεσα συνδεδεμένο σε αυτόν δρομολογητή ο οποίος με την σειρά του στέλνει ένα 'ρητό' μήνυμα σύνδεσης στο ενεργό RP για να γίνει μέλος του δέντρου διανομής όπως στο μοντέλο λειτουργίας του CBT. Η πηγή χρησιμοποιεί το RP για να αποφασίσει την διαδρομή προς τα συνδεδεμένα μέλη.

Το PIM-SM κάνει χρήση IGMP μηνυμάτων για να κρατάει στατιστικά στοιχεία για την συμμετοχή των μελών. Για ένα υποδίκτυο το οποίο έχει περισσότερους από έναν PIM δρομολογητές, αυτός με την μεγαλύτερη IP διεύθυνση δρα σαν ο χαρακτηριστικός δρομολογητής (DR). Ο DR είναι ο δρομολογητής που είναι υπεύθυνος για να στέλνει IGMP ερωτήσεις και να λαμβάνει τις αναφορές από τους κόμβους καθώς και να στέλνει μηνύματα αποκοπής ή σύνδεσης στο σημείο συνάντησης (RP) και να συντηρεί την κατάσταση του ενεργού RP για τους αποστολείς του γκρουπ.

Για να γίνει διάκριση μεταξύ PIM-SM και DM ένα μέρος των διευθύνσεων Class D θα κατοχυρωθεί για τα SM γκρουπ. Όταν ένας χαρακτηριστικός δρομολογητής δεχτεί αναφορά για ένα νέο γκρουπ, αποφασίζει αν είναι διεσπαρμένο (SM) γκρουπ από την διεύθυνση του. Αν όντως είναι τότε ο DR ερευνά την λίστα RP για να αποφασίσει ποιο θα είναι το σημείο συνάντησης RP. Αν δεν μπορεί να φτάσει στο RP, ο δρομολογητής θα επιλέξει ένα εναλλακτικό σημείο συνάντησης. Μετά από αυτό δημιουργείται μία προσωρινή μνήμη cache προώθησης και στέλνεται ένα μήνυμα PIM σύνδεσης με unicast τρόπο στο σημείο συνάντησης RP. Οι ενδιαμέσοι δρομολογητές δημιουργούν εισαγωγές στην δική τους cache προώθησης για το ζεύγος RP - γκρουπ ώστε να ξέρουν που να στέλνουν τα πακέτα. Αφού επιτευχθεί σύνδεση με την πηγή για να αρχίσει η μετάδοση δεν είναι πλέον να στέλνονται με unicast τρόπο τα πακέτα στο RP. Σε αυτό το σημείο ο χαρακτηριστικός δρομολογητής DR της πηγής μπορεί να προωθεί τα multicast πακέτα στην πραγματική τους μορφή. Έτσι δεν χρειάζονται πλέον τούνελ για να προωθούν τα πακέτα ανάμεσα σε δρομολογητές PIM. Ωστόσο η τεχνική tunneling είναι απαραίτητη όταν το PIM συνεργάζεται με δρομολογητές βασισμένους στο DVMRP.

#### **4. Σύγκριση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης**

Τόσο το DVMRP όσο και το MOSPF είναι πρωτόκολλα τα οποία προήλθαν από την εξέλιξη ήδη υπαρχόντων unicast πρωτοκόλλων. Το DVMRP βασίστηκε στο RIP και το MOSPF στο OSPF. Το DVMRP βασίζεται σε μέτρημα πόσων hop κάνει ένα πακέτο ενώ το MOSPF χρησιμοποιεί τις καταστάσεις σύνδεσης. Το PIM δεν βασίστηκε σε κανένα πρωτόκολλο unicast κάτι το οποίο το απελευθερώνει από τα προβλήματα των unicast πρωτοκόλλων που συνοδεύουν τις αναβαθμίσεις για εφαρμογή στην multicast μετάδοση.



Το DVMRP δεν μπορεί να συνεργαστεί με unicast πακέτα και έτσι ο δρομολογητής καλείται να εκτελεί δύο ξεχωριστές διεργασίες δρομολόγησης: μία για unicast και μία για multicast. Το MOSPF και το PIM μπορούν να διαχειριστούν και multicast και unicast πακέτα και έτσι δεν χρειάζονται ξεχωριστές διεργασίες στους δρομολογητές.

Το MOSPF δεν προσφέρεται για tunneling όπως το DVMRP και ορίζεται για δρομολόγηση σε μικρά δίκτυα όπως τα Intranets. Η δρομολόγηση σε μεγάλο εύρος δικτύου απαιτεί ειδικούς προωθητές multicast πακέτων. Το PIM χρειάζεται το tunneling μόνο όταν συνδέεται με έναν απομακρυσμένο DVMRP αλγόριθμο δρομολόγησης. Αυτό συμβαίνει γιατί μεταδίδει αμιγώς multicast πακέτα μεταξύ δύο PIM δρομολογητών.

Τόσο το DVMRP όσο και το MOSPF δεν κλιμακώνονται καλά όταν εφαρμοστούν σε WAN. Για αυτό τον λόγο αναπτύσσεται το PIM-SM. Η τεκμηρίωση του PIM-SM μοιάζει πολύ με του CBT και έτσι διακρίνεται από τα ίδια θετικά χαρακτηριστικά καθώς κλιμακώνεται σε μεγάλα δίκτυα. Όπως στο DVMRP και στο MOSPF το PIM χρειάζεται και αυτό δρομολογητές που κρατούν ένα μεγάλο κομμάτι πληροφορίας για την κατάσταση των πηγών και των γκρουπ.

Και τα τρία πρωτόκολλα δρομολόγησης βασίζονται αρκετά στο IGMP για να διατηρήσουν καταστάσεις μελών γκρουπ. Και τα τρία βασίζονται σε έναν κυρίαρχο δρομολογητή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις υπηρεσίες IGMP.

## **5. Αλληλεπίδραση των DVMRP, MOSPF και PIM**

Αναπτύσσεται μία μορφή ιεραρχικής δρομολόγησης για να επιτρέψει στο DVMRP, στο MOSPF και πιθανώς στο PIM να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτός ο τύπος δρομολόγησης χωρίζει το Internet σε έναν αριθμό περιοχών. Μέσα σε κάθε περιοχή χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης. Δύο ή περισσότερες περιοχές μπορεί να χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο, αλλά αποτελούν δύο ξεχωριστές περιπτώσεις του ίδιου πρωτοκόλλου δρομολόγησης που μειώνουν το ποσό των πόρων που χρειάζονται οι δρομολογητές. Οι λεπτομέρειες μιας περιοχής είναι κρυφές από όλες τις άλλες περιοχές.

Κάθε περιοχή έχει μία χαρακτηριστική ταυτότητα. Οι δρομολογητές μέσα σε κάθε περιοχή μπορούν να εφαρμόσουν όποιο multicast πρωτόκολλο θέλουν ως Level 1 πρωτόκολλο. Κάθε περιοχή θα απαιτείται να έχει τουλάχιστον έναν δρομολογητή που θα είναι ο συνοριακός δρομολογητής και συνεπώς θα έχει ένα πρωτόκολλο Level 2 (DVMRP) το οποίο αλληλεπιδρά μεταξύ δύο διαφορετικών περιοχών. Οι δρομολογητές δευτέρου επιπέδου κατασκευάζουν ένα δέντρο διανομής το οποίο βασίζεται στην ταυτότητα της περιοχής και στο γκρουπ προκειμένου να προωθήσουν αποδοτικά multicast πακέτα σε διαφορετικές περιοχές. Όταν ένα πακέτο ξεκινάει από μία πηγή σε μία περιοχή μοιράζεται σε όλα τα μέλη της περιοχής αυτής σε συμφωνία με το πρωτόκολλο του πρώτου επιπέδου. Επίσης προωθείται προς τον συνοριακό router ο οποίος το δεσμεύει και του δίνει ένα χαρακτηριστικό που προσδιορίζει την περιοχή από την οποία προέρχεται και το γκρουπ στο οποίο απευθύνεται και το προωθεί προς όλες τις περιοχές οι οποίες έχουν μέλη του γκρουπ. Όταν το δεσμευμένο πακέτο φτάσει σε μια νέα περιοχή ο δρομολογητής του δευτέρου επιπέδου του αφαιρεί τα χαρακτηριστικά της περιοχής και του γκρουπ και το προωθεί προς τα μέλη του γκρουπ του σύμφωνα με το πρωτόκολλο του πρώτου επιπέδου.

## 7.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ MULTICAST 802.11g

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι πειραματικές μετρήσεις στο ασύρματο δίκτυο, βασίστηκαν πάνω στην μέθοδο της unicast μετάδοσης δεδομένων από τον Server στον client. Εξετάστηκαν τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της συγκεκριμένης μεθόδου, όσο αφορά το μέγεθος και την ποιότητα των αρχείων multimedia που μπορεί να υποστηρίξει. Η παράμετρος που δεν εξετάστηκε, είναι η συμπεριφορά του δικτύου στην πραγματοποίηση μετάδοσης ζωντανού βίντεο. Εάν δηλαδή, το συγκεκριμένο ασύρματο δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί συνδέσεις χρηστών επιτρέποντας την παρακολούθηση ζωντανού πολυμεσικού προγράμματος, και παράλληλα κατά πόσο μπορεί να αντεπεξέλθει στον φόρτο και την ποιότητα του περιεχομένου. Για τη μετάδοση ζωντανού πολυμεσικού προγράμματος, το δίκτυο χρησιμοποιεί την μέθοδο της multicast μετάδοσης δεδομένων από τον Server στον client. Πρέπει να σημειωθεί ότι για τον σκοπό αυτόν διάφορες εταιρίες έχουν αναπτύξει εξειδικευμένους streaming servers. Για παράδειγμα ο QuickTime Streaming Server της Apple. Η αγορά της άδειας και του λογισμικού για την υλοποίηση του streaming server έχει ιδιαίτερο κόστος. Για τον λόγο αυτό, το συγκεκριμένο ζήτημα, προσεγγίστηκε όσο ήταν δυνατόν.

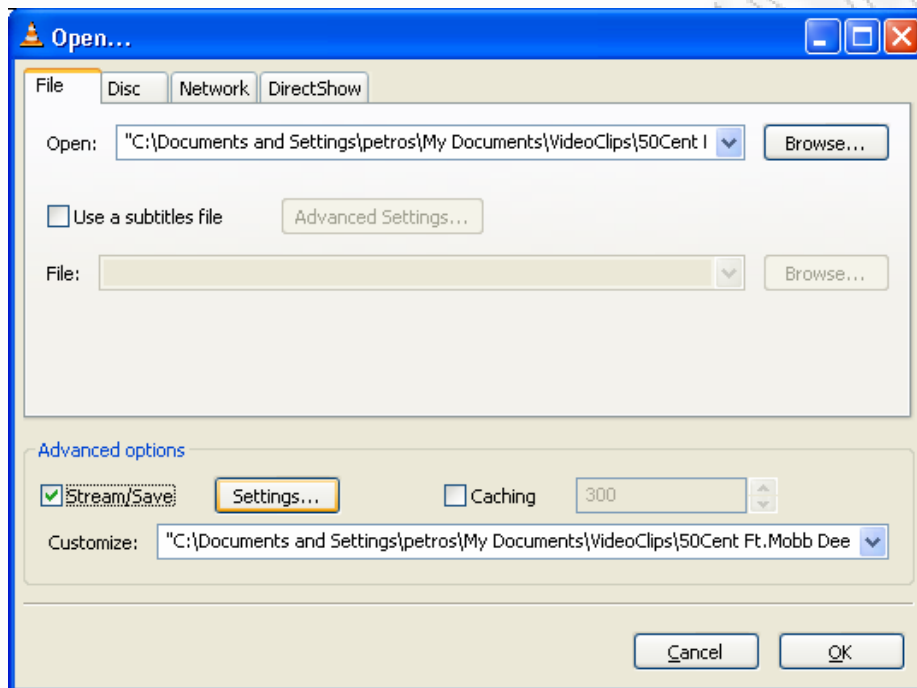
Το δίκτυο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις έχει την εξής δομή: αποτελείται από τον Server ο οποίος είναι ένας προσωπικός υπολογιστής (desktop) όπου είναι εξοπλισμένος με ένα 802.11g AP. Το συγκεκριμένο access point επιτρέπει multicasting μέσω ασύρματης σύνδεσης. Το ρόλο των client έχουν δύο φορητοί υπολογιστές (laptop) οι οποίοι έχουν εγκαταστημένο το λειτουργικό σύστημα Windows XP και είναι εξοπλισμένοι με 802.11g STA. Να σημειωθεί ότι τα STA στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι εσωτερικές ασύρματες κάρτες mini PCMCIA.

Το δίκτυο υλοποιήθηκε σε κλειστό χώρο (indoor). Η απόσταση ανάμεσα στον Server και στους clients είναι μικρή, ίση με 3 μέτρα. Για την multicast μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το freeware λογισμικό VLC media player. Τα πολυμεσικά αρχεία αποστέλλονται στους χρήστες με τη μορφή μιας συνεχής ροής (stream) και αυτοί τα λαμβάνουν και τα παρακολουθούν ζωντανά.

Για τις πειραματικές μετρήσεις επιλέχθηκε η μετάδοση ενός βίντεο κλίπ μορφής συμπίεσης MPEG-2. Η διάρκεια του βίντεο κλίπ είναι τέσσερα λεπτά και

εικοσιπέντε δευτερόλεπτα. Η ροή μεταφοράς για το βίντεο είναι 859.375 kbps δηλαδή 0.839 Mbps. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι διαδικασίες και οι ρυθμίσεις για την μετάδοση των multicast δεδομένων μέσω του προγράμματος VLC [19].

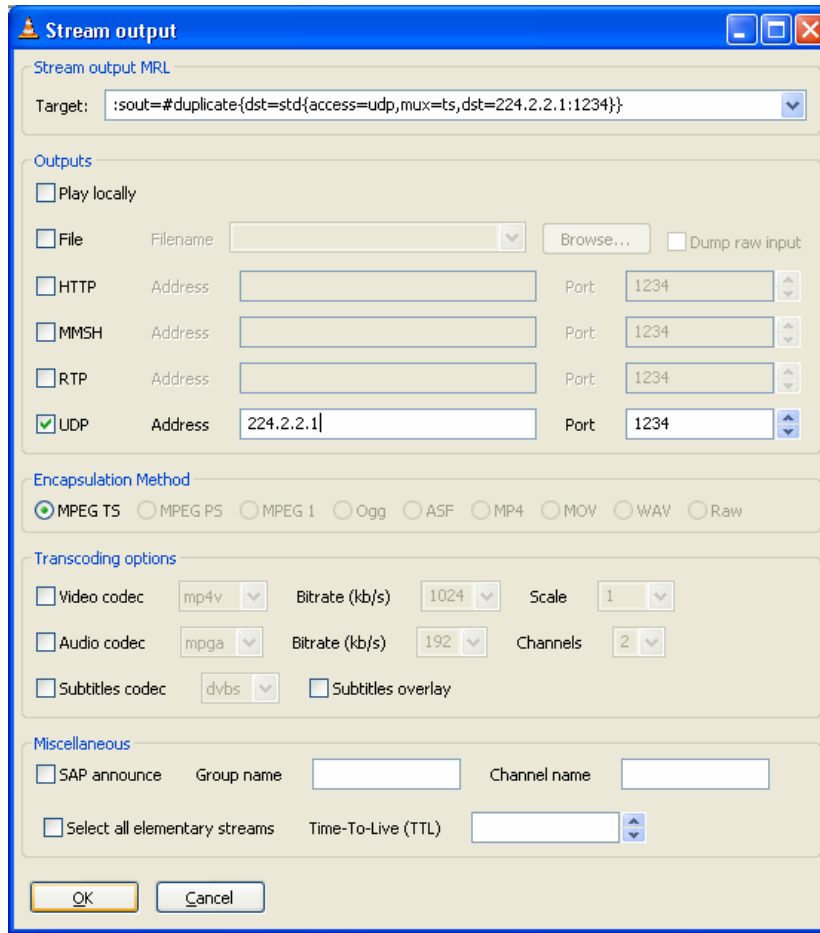
Στο Server, ο οποίος είναι και ο παροχέας, ανοίγει το αρχείο που είναι υπό αναπαραγωγή και επιλέχθηκε αναμετάδοση σαν δεδομένα ροής (σχήμα 41).



Σχήμα 44. Άνοιγμα αρχείου multimedia ως προς μετάδοση.

Στο Server πρέπει να γίνει ορισμός μιας UDP address (σχήμα 42). Το πρωτόκολλο μεταφοράς UDP προσφέρει έναν τρόπο για να στέλνουν οι εφαρμογές ενθυλακωμένα τα ακατέργαστα δεδομενογραφήματα IP χωρίς να πρέπει να εγκαταστήσουν μια σύνδεση. Χρησιμοποιείται ευρέως σε γρήγορες εφαρμογές και ερωταποκρίσεις.

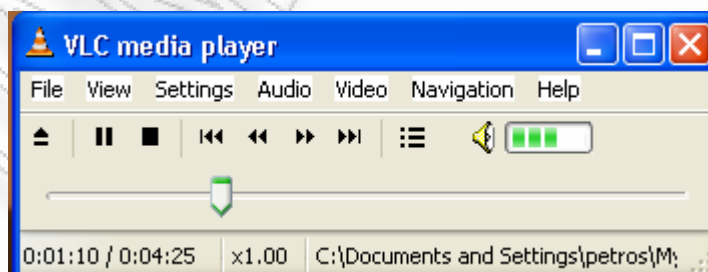
Το UDP επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη εφαρμογή έναντι του πρωτοκόλλου με σύνδεση TCP, επειδή στην αποστολή και λήψη ζωντανού βίντεο, η άμεση παράδοση είναι σπουδαιότερη από τη σωστή παράδοση.



Σχήμα45. Ορισμός UDP address.

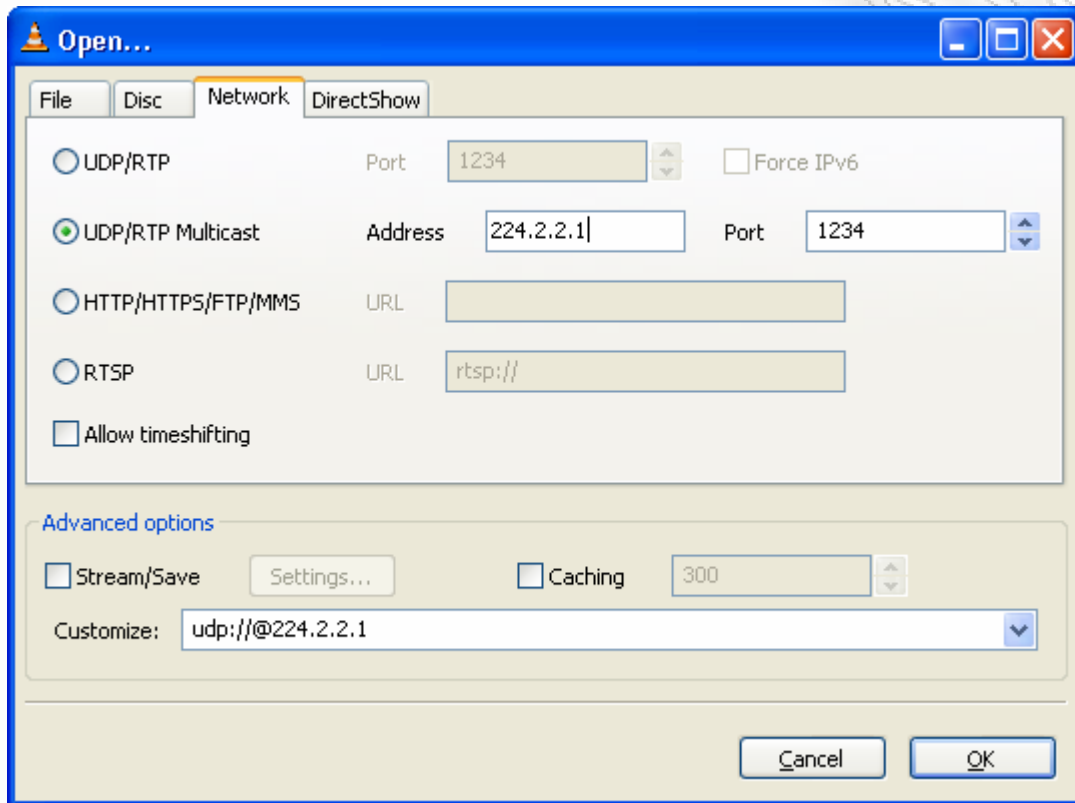
Για την multicast μετάδοση, η επιλογή της UDP address μπορεί να γίνει μεταξύ των διευθύνσεων 224.0.0.0 - 239.255.255.255

Ο Server εκπέμπει την ροή δεδομένων με την μορφή multicast πακέτων (σχήμα 43).



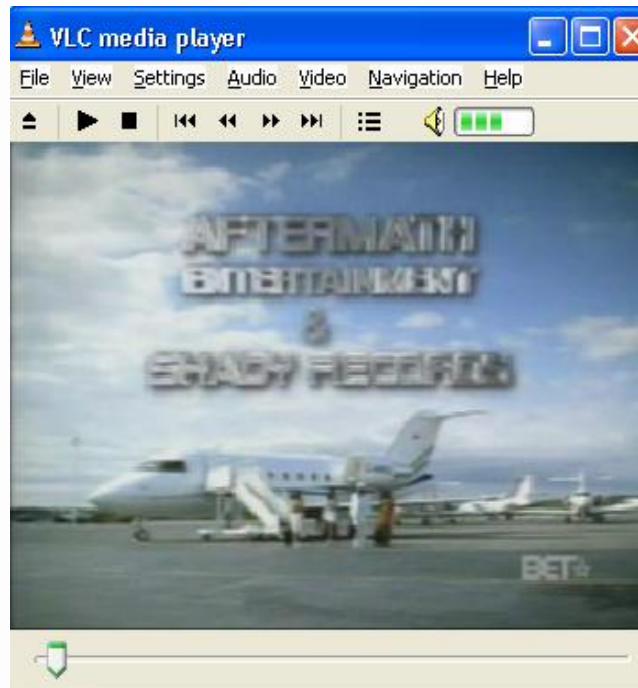
Σχήμα 46. Εκπομπή συνεχής ροής δεδομένων

Οι client του δικτύου πρέπει να εγγραφούν για να μπορούν λάβουν τα συνεχή αυτά δεδομένα. Δηλαδή συνδέονται στη συγκεκριμένη διεύθυνση την οποία είναι υποχρεωμένοι να γνωρίζουν και να εισάγουν (σχήμα 47).



Σχήμα 47. Εισαγωγή της UDP διεύθυνσης για την λήψη των δεδομένων.

Τα δεδομένα αποστέλλονται και γίνεται παρακολούθηση ζωντανού βίντεο από τους clients (σχήμα 48).

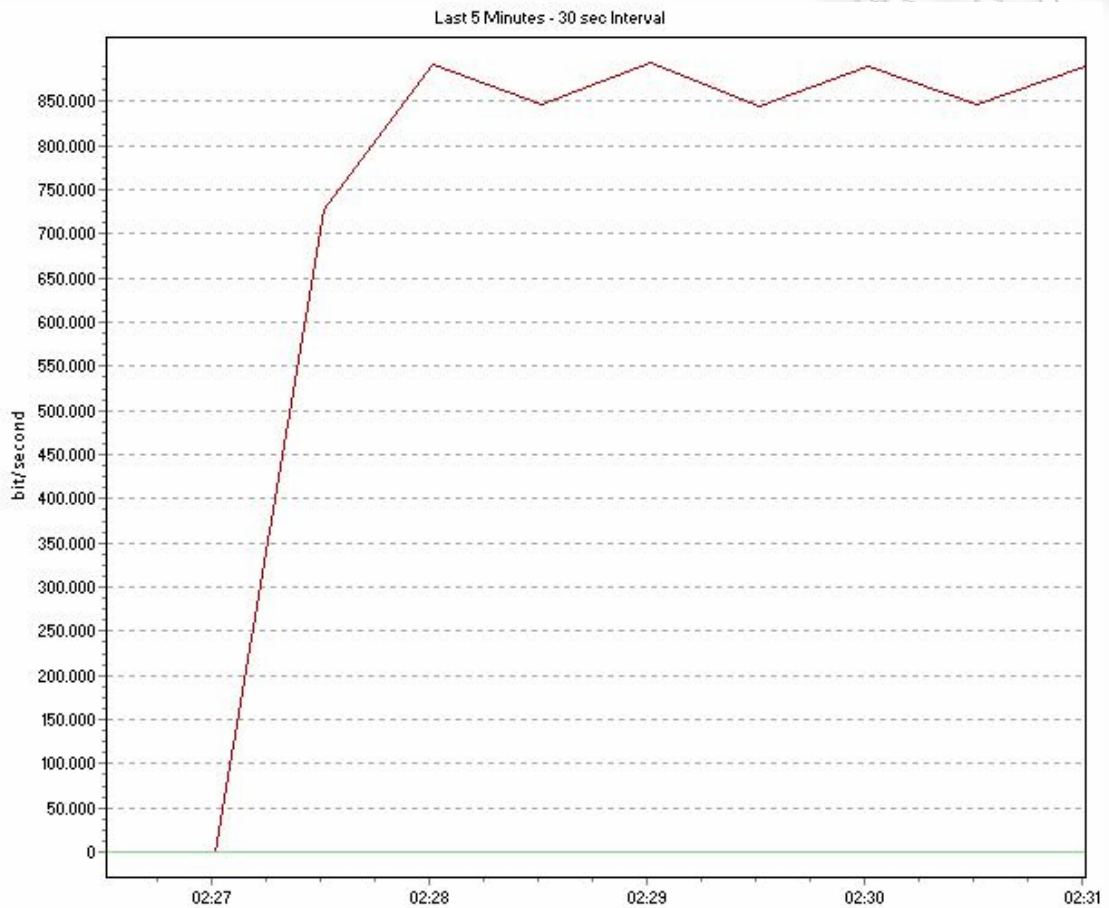


Σχήμα 48. Παρακολούθηση ζωντανού προγράμματος από τους clients

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο monitoring PRTG (Port Router Traffic Grapher) παραστάθηκε γραφικά το throughput του δικτύου (σχήμα 49) κατά την ταυτόχρονη αποστολή και παρακολούθηση του αρχείου. Στην γραφική απεικόνιση του σχήματος 49, ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τον χρόνο της διεργασίας σε δευτερόλεπτα ενώ ο κάθετος άξονας αναπαριστά τα byte που αποστέλλονται από τον Server προς τους Clients.

Στο γράφημα παρατηρούμε ότι κατά την ταυτόχρονη μεταφορά πακέτων και στους δύο clients μεταφέρονται 0.839 Mbps στον καθένα, δηλαδή όσο είναι και η ροή μεταφοράς για το συγκεκριμένο βίντεο. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι το throughput του δικτύου δεν διαμοιράζεται ανάμεσα στους δύο client. Οπότε το throughput του δικτύου είναι ανεξάρτητο από τον αριθμό των clients που παρακολουθούν το ζωντανό βίντεο και είναι το ίδιο για όλους τους clients.

Φυσικά όπως αποδείξαμε και στην προηγούμενη παράγραφο η ποιότητα του βίντεο επίσης εξαρτάται από το κατά πόσο η ροή μεταφοράς του MPEG-2 είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από το throughput του δικτύου.



Σχήμα 49. Γραφική απεικόνιση του throughput του δικτύου κατά την multicast μετάδοση στους δύο clients



## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να διαπιστωθούν πειραματικά οι δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία του 802.11. Συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις της τιμής του bit rate που παίρνουμε όταν χρησιμοποιηθεί κάποιο 802.11 πρωτόκολλο (802.11b και 802.11g) ως τεχνολογία για την εγκατάσταση ενός δικτύου, εξετάστηκε το πώς η τιμή του bit rate μεταβάλλεται όταν παρεμβάλλεται ένα εμπόδιο, το πώς το εύρος ζώνης ενός καναλιού επικοινωνίας μοιράζεται όταν χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες, και τέλος εξετάστηκε η περίπτωση παροχής multicast υπηρεσιών σε ένα 802.11 δίκτυο. Με βάση το σύνολο των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και τον σχολιασμό που έγινε σε προηγούμενα κεφαλαία, αλλά και τα χαρακτηριστικά των 802.11 πρωτοκόλλων που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Για την υλοποίηση ενός 802.11 εσωτερικού ασύρματου δικτύου η χρήση του 802.11g πρωτοκόλλου αποτελεί την καλύτερη επιλογή εφόσον σε σχέση με το 802.11b παρέχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης
- Κατά το σχεδιασμό ενός 802.11 Infrastructure δικτύου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το διαθέσιμο εύρος ζώνης διαμοιράζεται μεταξύ των χρηστών που εξυπηρετούνται από το AP. Αυτό σημαίνει ότι εάν  $X$  είναι το διαθέσιμο εύρος και  $Y$  ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν το κανάλι επικοινωνίας για μετάδοση και λήψη δεδομένων τότε το bit rate με το οποίο ο καθένας θα λαμβάνει δεδομένα θα είναι  $X/Y$ .
- Επιπλέον, η χωρητικότητα του ασύρματου δικτύου και το bitrate του MPEG-2, άρα και η ποιότητα του βίντεο είναι σχέσεις άρρητα συνδεδεμένες. Η παρακολούθηση ενός αρχείου ψηφιακού βίντεο MPEG-2 σε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο 802.11b είναι καλή, όταν η ροή μεταφοράς του MPEG-2 είναι μικρότερη ή ισοδύναμη με 5.952 Mbps, που αντιστοιχεί στο bitrate του ασύρματου δικτύου (throughput). Μία λύση είναι η χρησιμοποίηση διαφορετικών format

βίντεο όπως το MPEG-4 και H.264, τα οποία προσφέρουν σχετικά καλή ποιότητα, με πολύ πιο χαμηλό bitrate από τα 5.952 Mbps.

- Κατά την εγκατάσταση ενός δικτύου (AP's και SA's) το οποίο χρησιμοποιεί το 802.11g πρωτόκολλο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η παρουσία συσκευών που στηρίζονται στο 802.11b θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του bit rate που παρέχεται από το δίκτυο. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η απόσταση μεταξύ των clients και του access point παίζει σημαντικό ρόλο, αφού καθορίζει την ισχύ του σήματος που λαμβάνει ο client. Εάν ο client δεν έχει μεγάλη ευαισθησία δέκτη, τότε μειώνεται το throughput του δικτύου και δεν μπορεί να λάβει αρκετά πακέτα με αποτέλεσμα το οπτικοακουστικό σήμα να μην αναπαράγεται σωστά.
- Η ισχύς που ο δέκτης λαμβάνει επηρεάζεται από την απόσταση και φυσικά από την παρεμβολή εμποδίων που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο του δέκτη.
- Βάση των πειραματικών μετρήσεων στο κεφάλαιο 6.3.2, για καλή ποιότητα παρακολούθησης βίντεο θα πρέπει να έχουμε υψηλή ροή I-Frames (I-Frame rate) σε ένα ασύρματο δίκτυο έτσι ώστε να γίνεται γρήγορα η εναλλαγή των Frames. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι η υψηλή συχνότητα εκπομπής I-Frames αυξάνει τον κίνδυνο για συμφόρηση στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει επειδή το I-Frame απαιτεί περισσότερα bits κωδικοποίησης από ότι το P-Frame. Η υψηλή ροή I-Frame θα αυξήσει την πιθανότητα του rebuffering του player που όπως είδαμε στην παράγραφο 6.2 οδηγεί σε συμφόρηση του δικτύου. Άρα για άλλη μια φορά σημειώνεται ο σημαντικός ρόλος που έχει το throughput του δικτύου. Όπως πάντως παρατηρήθηκε με frame rate 1 με 2 δευτερόλεπτα, το δίκτυο μπορεί να αναπαράγει αρκετά καλά ένα βίντεο MPEG.
- Τέλος, σε ένα χώρο με αυτόνομη κάλυψη 802.11b δικτύου, όπως αυτός που έγιναν τα πειράματα, με πολλά εμπόδια από διάφορα υλικά κατασκευής, μία απώλεια της τάξης του 20% των πακέτων που

αποστέλλονται από τον Server στους clients επιφέρει σημαντική αλλοίωση και φθορά του βίντεο.

- Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τις δυνατότητες ενός 802.11 δικτύου είναι το είδος των παρερχόμενων υπηρεσιών στους χρήστες. Όπως είδαμε η παροχή multicast υπηρεσιών για παράδειγμα multicast video από ένα AP σε ένα κανάλι είναι ανεξάρτητη των χρηστών που λαμβάνουν την υπηρεσία, γεγονός που τα καθιστά μια αξιόπιστη λύση για εφαρμογές όπως αυτής της βίντεο ζήτησης.

Βάση των συμπερασμάτων τα οποία στηρίχθηκαν σε πραγματικές πειραματικές μετρήσεις μπορούμε, κατλήγοντας, να συμπεράνουμε ότι η ανάπτυξη ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων για πρόσβαση σε διαδραστικές IP υπηρεσίες με τη χρήση του 802.11 είναι γενικά εφικτή. Όμως παράγοντες, όπως η οπτική επαφή μεταξύ των σταθμών και ο διαμοιρασμός του ωφέλιμου bit rate σε ένα κανάλι πολλαπλής πρόσβασης βάση του αριθμού των χρηστών, υπαγορεύουν κάθε φορά τη ποιότητα των πολυμεσικών εφαρμογών που μπορεί να υποστηρίξει το ασύρματο δίκτυο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gerard Faria, “*The marvels of the OFDM*”, Scientific director ITIS, France, 2004
- [2] ISO/IEC 8802-11:1999/Amd 1:2000(E), “*IEEE std 802.11a-1999, part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band*”, 1999
- [3] Dr. Jong-Moon Chung, “*Introduction To IEEE 802.11b Wireless LAN*”, School of Electrical and Computer Engineering, Oklahoma state University, November 2003
- [4] Gilbert Held, “*Data over Wireless Networks Bluetooth, WAP, and Wireless LANs*”, McGraw-Hill, Inc, 2001
- [5] Borisov, N., Goldberg, I., & Wagner, D, “*Intercepting Mobile Communications: The Insecurity of 802.11*”, 2001
- [6] Dornan, A, “*Emerging Technology: Wireless Lan Standards*”, NetworkMagazine, February 2002
- [7] Andrew S. Tanenbaum, ‘Computer Networks’, 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice-Hall, Inc
- [8] ISO/IEC IS 13818, ‘Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, Part 2: Video.’ Nov. 1994.
- [9] Πλακογιάννης-Φωτίου Πέτρος, Τουμανίδης Νικόλαος “*Μετάδοση τηλεοπτικού σήματος σε κινητούς δέκτες*”, Πανελλήνιο συνέδριο Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Λάρισα, 30-31 Μαρτίου και 1-2 Απριλίου 2006
- [10] Rob Koenen (2002), “*Overview of the MPEG-4 standard*”, International organisation for standardisation
- [11] ITU-R BT500.
- [12] Dapeng Wu, Yiwei Thomas Hou, Wenwu Zhu, Ya-Qin Zhang Fellow, Jon M. Peha. “*Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions*”
- [13] ISO/IEC IS 13818, “*Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, Part 2: Video.*”, November 1994.
- [14] Plakogiannis Fotiou-Petros, Toumanidis Nikolaos. “*Convergence between digital video broadcasting terrestrial and third generation cellular telephony system*”

(e.g. UMTS)”. Annual Conference on Telecommunications and Multimedia – TEMU Heraklio, June 2005

[15] Π.Χ.Βαφειάδη. “Αναλογική-Ψηφιακή τηλεόραση και βίντεο”. Αθήνα 2001

[16] Pallis E, Pantos G, Kourtis A, Alexandridis AA. “*QoS in the provision of MPEG-2 programmes in a wireless indoor environment*”. Proceedings of the 1999 International Workshop on Mobile Communications Focused on UMTS and IMT-2000, June 1999;105-111.

[17] Pallis E, Kourtis A, Alexandridis AA, Smith M.C.B. “*Wireless provision of true VoD services and fast access to Internet*”. Int. J. Commun. Syst. 2002;

[18] Yang Xiao, Jon Rosdahl. “*Throughput and Delay Limits of IEEE 802.11*”. Communications Letters, Vol. 6, No. 8, Aug. 2002.