

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων**



## **Πτυχιακή Εργασία**

**“Μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση δικτύου  
παροχής αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών με τη χρήση  
πλατφόρμας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης”**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΤΟΤΟΜΗ ANNA  
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 19/09/2006**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΣΤΟΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

Στην οικογένεια μου,  
με ιδιαίτερη εκτίμηση και αγάπη

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ σε όλους εκείνους που συμπαραστάθηκαν σε αυτήν την προσπάθεια.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου από το Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης και υποψήφιο διδάκτορα, κ. Μαστοράκη Γεώργιο ο οποίος με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας. Ευγνωμοσύνη οφείλω και στους Ερευνητές καθηγητές του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης Δρ. Ζαχαρόπουλο Βασίλειο και Δρ. Πάλλη Ευάγγελο, οι οποίοι εξασφάλισαν την παροχή πλούσιας υλικοτεχνικής υποδομής, πολύτιμης για μια μελέτη όπως αυτή. Αισθάνομαι όσο λίγοι, ευνοημένη που στο διάστημα αυτό ένιωθα πάντα τη σιγουριά ότι σε κάθε βήμα είχα την υλική αλλά και ηθική βοήθεια που χρειαζόμουν για να προχωρήσω στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται επίσης και στον εργαστηριακό συνεργάτη του εργαστηρίου Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ, κ. Σιδέρη Ανάργυρο για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη όποτε αυτή χρειάστηκε.

Τέλος, ευχαριστώ όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή την προσπάθεια παρέχοντας απεριόριστη ψυχολογική υποστήριξη και κατανόηση.

Ηράκλειο, Σεπτέμβριος 2006  
Τοτόμη Άννα

## Περιεχόμενα

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>11</b>
1.1. Γενική Περιγραφή.....	11
1.2. Στόχοι.....	12
1.3. Δομή .....	12
1.4. Θεωρητικό υπόβαθρο για την τεχνολογία Digital Video Broadcasting- Terrestrial (DVB-T).....	13
1.5. Σύνοψη .....	13
<b>2. Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ</b> .....	<b>13</b>
2.1. Το πρότυπο συμπίεσης ψηφιακής τηλεόρασης MPEG-2.....	15
2.1.1. Βασικές αρχές λειτουργίας του προτύπου MPEG-2.....	15
2.1.1.1. Συμπίεση .....	15
2.1.1.2. Είδη πλαισίων (I,B,P Frames) και GOP (group of pictures) .....	16
2.1.1.3. Πολυπλεξία .....	18
2.1.2. Επίπεδα και προφίλ του προτύπου MPEG-2 .....	19
2.2. Η Ψηφιακή τηλεόραση στην Ευρώπη και το πρότυπο DVB .....	20
2.3. Λειτουργία και εφαρμογή του προτύπου DVB-T.....	21
2.3.1. Μοντέλο εκπομπής ψηφιακού σήματος κατά ITU-R .....	22
2.3.2. Στάδια διαμόρφωσης DVB-T .....	23
2.3.2.1. Προσαρμογή MPEG-2 πακέτων και τυχαιοποίηση (randomization) 23	
2.3.2.2. Εξωτερική κωδικοποίηση και συνελκτική διεμπλοκή .....	24
2.3.2.3. Εσωτερική κωδικοποίηση και διεμπλοκή.....	25
2.3.2.4. Διαμόρφωση και μετάδοση.....	25
2.3.2.5. Ωφέλιμο bit rate .....	27
2.3.3. Μετάδοση IP δεδομένων πάνω από το κανάλι DVB-T.....	27
2.4. Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων .....	29
2.4.1. Το πρωτόκολλο TCP και η σημασία του .....	29
2.4.2. Το πρωτόκολλο UDP και η σημασία του .....	30
2.5. Τεχνική υλοποίησης καναλιού εκπομπής.....	31
2.5.1. Χρήση του φάσματος συχνοτήτων UHF .....	31
2.6. Τεχνικές υλοποίησης καναλιού επιστροφής .....	32
2.6.1. PSTN (Public Switched Telephone Network).....	32
2.6.2. Wireless LAN .....	34
2.7. Τεχνική υλοποίησης δικτύου πρόσβασης .....	34
2.7.1. Τεχνολογία ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).....	34
<b>3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΜΦΙΔΡΟΜΩΝ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ</b> .....	<b>35</b>
3.1. Μελέτη δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN .....	35
3.1.1. Χαρακτηριστικά ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του δικτύου.....	35
3.1.2. Ρυθμίσεις της πλατφόρμας DVB-T .....	36
3.1.3. Υλοποίηση με PSTN Κανάλι Επιστροφής .....	40
3.2. Το δίκτυο ATHENA .....	40
3.3. Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (Cell Main Node).....	42

3.3.1.	Ανάλυση Ενδιάμεσου Κόμβου Διανομής.....	44
	Απαιτήσεις Υλικού (Hardware Requirements).....	44
3.3.2.	Ανάλυση Ενδιάμεσου Κόμβου Διανομής.....	46
	Απαιτήσεις Λογισμικού (Software Requirements).....	46
3.3.3.	Η συμπεριφορά του CMN σε δικτυακή κίνηση.....	47
3.3.3.1.	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast).....	47
3.3.3.2.	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast)	
	53	
<b>3.4.</b>	<b>Αρχιτεκτονική δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι</b>	
	<b>επιστροφής την τεχνολογία PSTN .....</b>	<b>56</b>
3.4.1.	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast).....	56
3.4.2.	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast).....	58
<b>4.</b>	<b>ΣΤΟΙΧΕΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ</b>	
	<b>ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.</b>	<b>Προγράμματα δημιουργίας και ανάλυσης της κίνησης ενός δικτύου.....</b>	<b>62</b>
4.1.1.	Δημιουργία κίνησης.....	62
4.1.1.1.	Πρόγραμμα Iperf.....	62
4.1.1.2.	Πρόγραμμα Multi-Generator (MGEN).....	63
4.1.2.	Ανάλυση κίνησης.....	63
4.1.2.1.	Πρόγραμμα Tcpdump .....	63
4.1.2.2.	Πρόγραμμα Tcptrace .....	63
4.1.2.3.	Πρόγραμμα Xp12gpl .....	64
4.1.2.4.	Προγράμματα της γλώσσας προγραμματισμού Perl .....	64
<b>4.2.</b>	<b>Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών .....</b>	<b>64</b>
4.2.1.	Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών .....	65
	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast).....	65
4.2.1.1.	Δημιουργία δικτυακής κίνησης TCP .....	65
4.2.1.2.	Ανάλυση δικτυακής κίνησης TCP .....	67
4.2.1.3.	Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης TCP .....	70
4.2.2.	Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών .....	72
	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast).....	72
4.2.2.1.	Δημιουργία δικτυακής κίνησης UDP.....	72
4.2.2.2.	Ανάλυση δικτυακής κίνησης UDP .....	74
4.2.2.3.	Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης UDP.....	78
<b>4.3.</b>	<b>Πειραματικές μετρήσεις δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με</b>	
	<b>κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN .....</b>	<b>80</b>
4.3.1.	Πειραματική μέτρηση δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι	
	επιστροφής την τεχνολογία PSTN.....	80
	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast).....	80
4.3.1.1.	Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης TCP .....	81
4.3.2.	Πειραματική μέτρηση δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι	
	επιστροφής την τεχνολογία PSTN.....	82
	Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast).....	82
4.3.2.1.	Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης UDP.....	83
<b>5.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>85</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....</b>	<b>86</b>
1.	Πρόγραμμα align_for_jitt.pl .....	86

2. Πρόγραμμα jitter.pl.....	87
3. Πρόγραμμα replicid.pl.....	92
4. Πρόγραμμα timestamp.pl.....	93
5. Πρόγραμμα createendfiles.pl.....	95
6. Πρόγραμμα losses.pl.....	96
7. Πρόγραμμα throughput.pl.....	98
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>100</b>
Αποτελέσματα γραφικών παραστάσεων.....	100
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>106</b>

## Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 2.1 Αναλογία πλαισίων I,P,B σε ένα σήμα MPEG-2.....	17
Πίνακας 2.2 Επίπεδα που ορίζουν την ανάλυση μιας εικόνας στο πρότυπο MPEG-2.....	19
Πίνακας 2.3 Ωφέλιμο bit rate στις διαμορφώσεις QPSK, 16-QAM, 64-QAM.....	27
Πίνακας Β.1.....	100
Αποτελέσματα Σχήματος 4.12, γραφικής παράστασης TCP_Delay.....	100
Πίνακας Β.2.....	102
Αποτελέσματα Σχήματος 4.13, γραφικής παράστασης Throughput (ανά sec).....	102
Πίνακας Β.3.....	102
Αποτελέσματα Σχήματος 4.14, γραφικής παράστασης Throughput (ανά segment).....	102
Πίνακας Β.4.....	103
Αποτελέσματα Σχήματος 4.29, γραφικής παράστασης TCP_Delay.....	103
Πίνακας Β.5.....	104
Αποτελέσματα Σχήματος 4.30, γραφικής παράστασης Throughput (ανά sec).....	104
Πίνακας Β.6.....	104
Αποτελέσματα Σχήματος 4.31, γραφικής παράστασης Throughput (ανά segment).....	104

## Περιεχόμενα σχημάτων

Σχήμα 2.1 Ψηφιοποίηση και μετάδοση σήματος.....	14
Σχήμα 2.2 Τύποι συμπίεσης του προτύπου MPEG-2.....	16
Σχήμα 2.3 Δομή ενός GOP.....	18
Σχήμα 2.4 Παράδειγμα πολυπλεξίας δυο συρμών.....	18
Σχήμα 2.5 Μοντέλο εκπομπής ψηφιακού σήματος.....	23
Σχήμα 2.6 Διαδικασία τυχαίωσης εισερχόμενων δεδομένων κατά διαδικασία διαμόρφωσης στο πρότυπο MPEG-2.....	24
Σχήμα 2.7 Μορφή δεδομένων μετά την διαδικασία προσαρμογής, τυχαίωσης, κωδικοποίησης και διεμπλοκής.....	25
Σχήμα 2.8 Διάταξη των φερόντων κατά την διάρκεια διαμόρφωσης ενός σήματος.....	26
Σχήμα 2.9 Ενσωμάτωση της MAC address στο section header.....	28
Σχήμα 2.10 Η επικεφαλίδα TCP.....	29
Σχήμα 2.11 Η επικεφαλίδα UDP.....	30
Σχήμα 2.12 Διαδραστικό σύστημα DVB-Terrestrial το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία PSTN στο κανάλι επιστροφής.....	33

Σχήμα 3.1 Ο διαμορφωτής COFDM που παρουσιάζει τα στοιχεία της διαμόρφωσης	36
Σχήμα 3.2 Ο διαμορφωτής COFDM που παρέχει το DVB-T stream στο κανάλι 29 σε επίπεδο δύναμης 0dBm	37
Σχήμα 3.3 Ρυθμίσεις προγραμμάτων στον OPAL (καθορισμός εισόδων - εξόδου) (1)	38
Σχήμα 3.4 Ρυθμίσεις προγραμμάτων στον OPAL (καθορισμός εισόδων - εξόδου) (2)	39
Σχήμα 3.5 Ρυθμίσεις στον OPAL για την δικτυακή κίνηση	40
Σχήμα 3.6 Γενική αρχιτεκτονική ATHENA IST FP6-507312	42
Σχήμα 3.7 Αρχιτεκτονική CMN	43
Σχήμα 3.8 Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (CMN), κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης, κεραία λήψης	44
Σχήμα 3.9 Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (CMN), Δίκτυο Πρόσβασης, Δίκτυο Επιστροφής	45
Σχήμα 3.10. Κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης WinTV-NOVA-T-USB-2	45
Σχήμα 3.11 Κάρτα Δικτύου, Intel(R) Pro/100 s Desktop Adapter	46
Σχήμα 3.12 Εντολή ip_forwarding	48
Σχήμα 3.13 Εντολή xconfig	48
Σχήμα 3.14 Εφαρμογή xconfig	49
Σχήμα 3.15 Επιλογή κάρτας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης	50
Σχήμα 3.16 Εντολή rp-filter	51
Σχήμα 3.17 Εντολή ip-route για την δρομολόγηση της κίνησης από την eth_1 προς την eth_0	51
Σχήμα 3.18 Δρομολόγηση των κινήσεων μέσα στον CMN	52
Σχήμα 3.19 Εντολή iptables	53
Σχήμα 3.20 Εντολές του "DEAMON"	54
Σχήμα 3.21 Αρχείο "athena"	54
Σχήμα 3.22 Διαθέσιμα τηλεοπτικά προγράμματα	55
Σχήμα 3.23 Συντονισμός στο τηλεοπτικό πρόγραμμα "DSO TV"	56
Σχήμα 3.24 Αρχιτεκτονική δικτύου αμφίδρομης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με παραγωγή unicast δικτυακής κίνησης και κανάλι επιστροφής PSTN	58
Σχήμα 3.25 Αρχιτεκτονική δικτύου αμφίδρομης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με παραγωγή multicast δικτυακής κίνησης και κανάλι επιστροφής PSTN	59
Σχήμα 3.26 Ο Client δηλώνει την multicast διεύθυνση των πακέτων (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234)	60
Σχήμα 3.27 Ο Client είναι έτοιμος να λάβει την δικτυακή κίνηση	60
Σχήμα 3.28 Ο Server καθορίζει στο VLC τα ψηφιακά δεδομένα (ταινία) που θα εκπέμψει	61
Σχήμα 3.29 Ο Server δηλώνει μία multicast διεύθυνση στα πακέτα (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234)	61
Σχήμα 4.1 Δίκτυο Ethernet	65
Σχήμα 4.2 Εντολή tcpdump (Δικτυακή κίνηση TCP)	66
Σχήμα 4.3 Εντολή windump (Δικτυακή κίνηση TCP)	66
Σχήμα 4.4 Εντολή iperf στον Server (Δικτυακή κίνηση TCP)	67
Σχήμα 4.5 Εντολή iperf στον Client (Δικτυακή κίνηση TCP)	67
Σχήμα 4.6 Εντολή tcptrace για τα στατιστικά του αρχείου partcp	68
Σχήμα 4.7 Εντολή tcptrace για τα στατιστικά του αρχείου anna_tcp	68
Σχήμα 4.8 Εντολή tcptrace για το TCP Delay του δικτύου	69
Σχήμα 4.9 Εντολή tcptrace για τον υπολογισμό του throughput (ανά δευτερόλεπτο)	69
Σχήμα 4.10 Εντολή tcptrace για τον υπολογισμό του throughput (ανά segment)	70

Σχήμα 4.11 Εντολή xrl2gpl .....	70
Σχήμα 4.12 Γραφική παράσταση του TCP Delay .....	71
Σχήμα 4.13 Γραφική παράσταση του Throughput (ανά sec).....	71
Σχήμα 4.14 Γραφική παράσταση του Throughput (ανά segment) .....	72
Σχήμα 4.15 Εντολή tcpdump (Δικτυακή κίνηση UDP).....	73
Σχήμα 4.16 Εντολή windump (Δικτυακή κίνηση UDP).....	73
Σχήμα 4.17 Εντολή iperf στον Server (Δικτυακή κίνηση UDP) .....	74
Σχήμα 4.18 Εντολή iperf στον Client (Δικτυακή κίνηση UDP).....	74
Σχήμα 4.19 Εντολή tcpdump για τα στατιστικά των αρχείων papudp και anna_udp ..	75
Σχήμα 4.20 Εντολή perl replicid.pl.....	75
Σχήμα 4.21 Εντολή perl createendfiles.pl.....	76
Σχήμα 4.22 Εντολή perl losses.pl .....	76
Σχήμα 4.23 Εντολή perl throughput.pl .....	77
Σχήμα 4.24 Εντολή perl align_for_jitt.pl.....	77
Σχήμα 4.25 Εντολή perl timestamp.pl .....	78
Σχήμα 4.26 Εντολή perl jitter.pl .....	78
Σχήμα 4.27 Γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay .....	79
Σχήμα 4.28 Γραφική παράσταση του Jitter .....	79
Σχήμα 4.29 Γραφική παράσταση του TCP Delay .....	81
Σχήμα 4.30 Γραφική παράσταση του Throughput (ανά sec).....	82
Σχήμα 4.31 Γραφική παράσταση του Throughput (ανά segment) .....	82
Σχήμα 4.32 Γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay .....	84
Σχήμα 4.33 Γραφική παράσταση του Jitter .....	84

## Ακρωνύμια

<b>A</b>
<u>AAI</u> ATM Adaption Layer
<u>ACK</u> Acknowledgement packet
<u>ADSL</u> Asymmetric Digital Subscriber Line



AIX Advanced Interactive eXecutive

AMD Advanced Micro Devices

AoD Audio on Demand

API Application Program(ming) Interface

ATM Asynchronous Transfer Mode

## **B**

BDP Bandwidth Delay Products

BSD Berkeley Software Distribution

## **C**

COFDM Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

CMN Cell Main Node

## **D**

DSL Digital Subscriber Line

DSLAM Digital Subscriber Line Access Multiplexer

DVB-C Digital Video Broadcasting-Cable

DVB-H Digital Video Broadcasting-Handover

DVB-S Digital Video Broadcasting-Satellite

DVB-T Digital Video Broadcasting-Terrestrial

DVD Digital Video Decoder

## **E**

ES Elementary Stream

ETSI European Telecommunications Standard Institute

## **F**

FEC Forward Error Correction

## **G**

GOP Group Of Pictures

GPRS General Packet Radio Service

GSM Global System For Mobile Communications

## **H**

HDTV High Definition Television

HP-UX Hewlett Packard UniX

## **I**

IEEE Institute of Electrical & Electronics Engineers

IFFT Inverse Fast Fourier Transform

IP Internet Protocol

IPTV Internet Protocol Television

ISDB-T International Standard Digital Broadcasting-Terrestrial

ISDN Integrated Services Digital Network

ISM Industrial, Scientific, Medical

ISP Internet Service Provider

ITU-R International Telecommunications Union – Radio Communication

## **J**

JPEG Joint Photographic Experts Group

## **M**

MAC Media Address Controller

MAC OS X Macintosh Operating System X

MHP Multimedia Home Platform

MPE Multi Protocol Encapsulation

MPEG Motion Pictures Experts Group

MSS Maximum Segment Size

MTU Maximum Transmission Unit

## **N**

NAT Network Address Translation

NRL Naval Research Laboratory

NTSC National TV Standards Committee

## **O**

OPAL Omni-Purpose Apparatus at LEP

## **P**

PAT Programm Association Table

PCR Program Clock Reference

PES Packetised Elementary Stream

PID Programm Identifier

PMT Programm Map Table

POSIX Portable Operating System Interface for uniX

PS Program Stream

PSTN Public Switched Telephone Network

## **Q**

QAM Quadrature Amplitude Modulation

QoS Quality of Service

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

## **R**

<u>RAM</u> Random-Access Memory
<u>RDVB-T</u> Regenerative Digital Video Broadcasting-Terrestrial
<u>RS</u> Reed Solomon
<u>RTO</u> Retransmission Time Out
<b>S</b>
<u>SFN</u> Single Frequency Networks
<u>SNR</u> Signal-to-noise ratio
<b>T</b>
<u>TCP</u> Transmission Control Protocol
<u>TPS</u> Transactions Per Second
<u>TS</u> Transport Stream
<u>TV</u> Television
<b>U</b>
<u>UDP</u> User Datagram Protocol
<u>UHF</u> Ultra High Frequency
<u>ULE</u> Ultra-Light Encapsulation
<u>UMTS</u> Universal Mobile Telecommunications System
<b>V</b>
<u>VCR</u> Video Cassette Recorder
<u>VLC</u> VideoLAN Client
<u>VoD</u> Video on Demand
<b>W</b>
<u>WLAN</u> Wireless Lan
<u>WEP</u> Wired Equivalent Privacy

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενική Περιγραφή

Το θέμα με το οποίο ασχολείται η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αφορά τη μελέτη, τη σχεδίαση, την υλοποίηση και την αξιολόγηση ενός υβριδικού δικτύου παροχής αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών (TCP/IP, UDP/IP) με τη χρήση

πλατφόρμας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Στα πλαίσια αυτά, ο σχεδιασμός και η μελέτη ενός τέτοιου τύπου δικτύου στηρίζονται στην εισήγηση μίας κατάλληλης αρχιτεκτονικής, η οποία επιτρέπει την πρόσβαση σε διαδραστικές υπηρεσίες, κάνοντας χρήση της τεχνολογίας του Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και της τεχνολογίας PSTN στην ανερχόμενη (uplink). Προς αυτή τη κατεύθυνση θα μελετηθεί η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου δικτύου και θα υλοποιηθούν δύο πρότυπες υποδομές, οι οποίες θα αποτελέσουν τη βάση μίας σειράς πειραμάτων αξιολόγησης και εκτίμησης της απόδοσής του.

## 1.2. Στόχοι

Ο βασικός στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι να προσδιορίσει, υλοποιήσει, επιδείξει και ελέγξει μία νέα αρχιτεκτονική δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης για την παροχή αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών. Το δίκτυο θα χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση ενδιάμεσων κόμβων διανομής και θα δοκιμαστεί, επιδειχθεί και ελεγχθεί για την ορθότητά του πάνω από την πλατφόρμα DVB-T του Εργαστηρίου Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων, ΠΑΣΙΦΑΗ. Η πτυχιακή εργασία θα συμπεριλαμβάνει την υλοποίηση, δοκιμή και έλεγχο ορθότητας της συνολικής απόδοσης του δικτύου με τη χρήση ενσύρματων επίγειων δικτύων συνεισφέροντας έτσι στην περαιτέρω σύγκλιση της τεχνολογίας DVB-T με τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών σε ένα ολοκληρωμένο και συμπαγή περιβάλλον. Εκτενείς μετρήσεις αξιολόγησης της απόδοσης του προτεινόμενου δικτύου θα παρθούν μετά το στάδιο υλοποίησης και τα κατάλληλα συμπεράσματα θα παρατεθούν και θα σχολιασθούν.

## 1.3. Δομή

Σε μια προσπάθεια να καλυφθούν ικανοποιητικά τα παραπάνω θέματα, επιχειρείται να εξετασθούν όλες οι παράμετροι που διέπουν τη λειτουργία ενός τέτοιου δικτύου με βάση μετρήσεις και βελτιστοποιήσεις που έγιναν πάνω σε πειραματική πλατφόρμα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Συγκεκριμένα:

Στην ενότητα 2 εισάγεται ο αναγνώστης στην τεχνολογία της ψηφιακής τηλεόρασης και τον τρόπο που αυτή χρησιμοποιεί τις τηλεπικοινωνίες. Ακολούθως, επιχειρείται η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του πλέον διαδεδομένου προτύπου MPEG-2, όσον αφορά τη χρήση του για ενθυλάκωση και προώθηση πακέτων IP. Στη συνέχεια, γίνεται μία εκτενέστερη αναφορά στο Ευρωπαϊκό πρότυπο DVB-T πάνω στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Τέλος, ακολουθεί μια αναφορά στα πρωτόκολλα TCP και UDP καθώς παρουσιάζονται και συγκεκριμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται εναλλακτικά στην υλοποίηση καναλιού εκπομπής, επιστροφής και δικτύου πρόσβασης.

Αντικείμενο της ενότητας 3 αποτελεί η παρουσίαση μιας υβριδικής αρχιτεκτονικής ασύμμετρων δικτύων (πελάτη-εξυπηρετητή) στα οποία η τεχνολογία PSTN εφαρμόζεται στο κανάλι επιστροφής. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο με τον οποίο επικοινωνεί ο εξυπηρετητής με την πλατφόρμα DVB-T. Συγκεκριμένα, απεικονίζονται τα δίκτυα σχεδιαστικά, περιγράφεται η λειτουργία τους και εξηγείται αναλυτικά ο ρόλος του κάθε στοιχείου από το οποίο απαρτίζονται. Επίσης, περιγράφεται η δημιουργία ενός ενδιάμεσου κόμβου διανομής (CMN) και αναλύεται ο ρόλος του σε ένα ευρυζωνικό δίκτυο.

Η ενότητα 4 ασχολείται με τη στοιχειοθέτηση πειραματικών μετρήσεων. Για να μπορέσει ο αναγνώστης να κατανοήσει πλήρως την διεξαγωγή των μετρήσεων της πτυχιακής εργασίας, διεξάγονται δύο εικονικές μετρήσεις, μεταξύ δύο υπολογιστών,

και δίνεται η δυνατότητα για μια λεπτομερή περιγραφή της δημιουργίας και ανάλυσης της δικτυακής τους κίνησης. Πρόκειται για κινήσεις από σημείο σε σημείο (unicast) και από σημείο σε πολλαπλά σημεία (multicast). Στη συνέχεια, μελετάται και εξετάζεται η συμπεριφορά του ενός αμφίδρομου διαδραστικού δικτύου, της πτυχιακής, σε μεταδόσεις από σημείο σε σημείο (unicast - TCP κίνηση) και του άλλου από σημείο σε πολλαπλά σημεία (multicast - UDP κίνηση). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται και αναλύονται με στόχο τη συλλογή όσο το δυνατόν χρησιμότερων συμπερασμάτων σε μία προσπάθεια βελτιστοποίησης των επιδόσεων αυτών.

Η ολοκλήρωση της εργασίας πραγματοποιείται με την ενότητα 5 καταγράφοντας τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη του αμφίδρομου διαδραστικού δικτύου και προτείνονται θέματα για επέκταση της μελέτης στην ίδια θεματική περιοχή.

#### **1.4. Θεωρητικό υπόβαθρο για την τεχνολογία Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T)**

Η εξέλιξη του προτύπου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T και η εφαρμογή του πάνω σε επίγεια κανάλια είναι μία από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Μια πλατφόρμα DVB-T μπορεί να αξιοποιηθεί όχι μόνο για την εκπομπή "μπουκέτων" τηλεοπτικών προγραμμάτων σε ένα μεγάλο αριθμό τελικών χρηστών καταναμημένων πάνω σε μεγάλες γεωγραφικά περιοχές αλλά και για την παροχή αμφίδρομων Διαδικτυακών υπηρεσιών. Η χαρακτηριστική ιδιότητα του DVB-T να συνδυάζει τηλεοπτικά προγράμματα MPEG-2 με υπηρεσίες IP στο ίδιο κανάλι μεταφοράς, επιτρέπει την ανάπτυξη δικτυακών υποδομών οι οποίες μπορούν να διασυνδέσουν ενδιαμέσους κόμβους διανομής για την παροχή υπηρεσιών κατά απαίτηση.

#### **1.5. Σύνοψη**

Η μελέτη αυτή υλοποιεί την ιδέα της σύγκλισης των τηλεπικοινωνιών και των τεχνολογιών εκπομπής διερευνώντας ένα μοντέλο υβριδικού ευρυζωνικού δικτύου βασισμένου στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DVB-T). Η αρχιτεκτονική που προτείνεται συνδυάζει την τεχνολογία του DVB-T με μια ήδη υπάρχουσα δικτυακή υποδομή, για να προσφέρει στον τελικό χρήστη ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα μαζί με υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες δεδομένων.

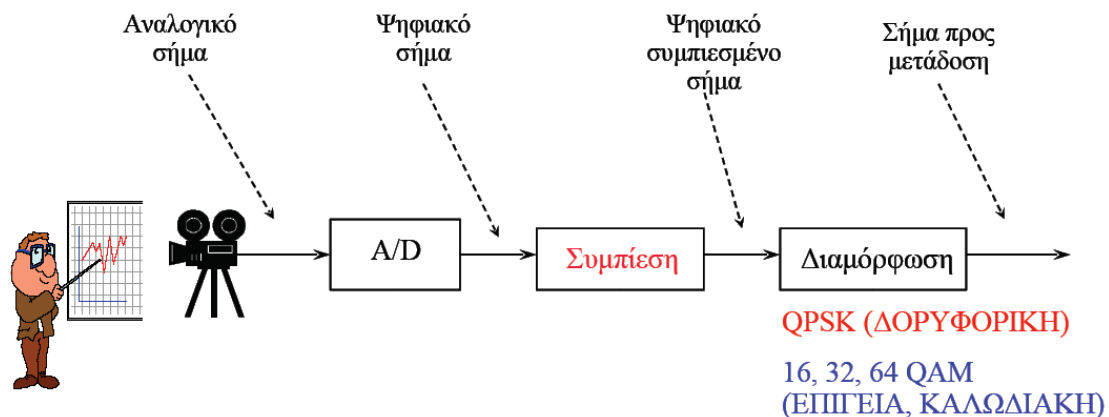
## **2. Η ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

### **Εισαγωγή**

Η ψηφιακή τηλεόραση έχει αρχίσει να αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς σηματοδοτώντας μια καινούργια εποχή στα τηλεοπτικά δρώμενα και υπόσχεται να μετατρέψει την ήδη υπάρχουσα τηλεόραση σε προσωπική συσκευή, στα πρότυπα

ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, και το χρήστη από παθητικό δέκτη προγραμμάτων σε ενεργό χρήστη, προγραμμάτων και υπηρεσιών.

Η Ψηφιακή τηλεόραση είναι η εκπομπή τηλεοπτικών προγραμμάτων με τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας. Την τελευταία δεκαετία μάλιστα, και χάρη στα πρότυπα συμπίεσης και πολυπλεξίας εικόνας της οικογένειας MPEG και του ευρωπαϊκού συνόλου προδιαγραφών DVB για διαμόρφωση και μετάδοση, η ψηφιακή τηλεόραση έχει αποκτήσει μία συγκεκριμένη προοπτική. Αντικείμενό της, είναι η δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων. [1]



Σχήμα 2.1 Ψηφιοποίηση και μετάδοση σήματος

Τα πλεονεκτήματα που εισάγονται από την ψηφιακή τεχνολογία στη διαμόρφωση και διανομή του τηλεοπτικού σήματος είναι αρκετά. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

- Σταθερή ποιότητα εικόνας, με μεγάλη ανοχή, ανεξάρτητα από τις ατέλειες του ασύρματου ή ενσύρματου διαύλου. Εξάλειψη φαινομένων θόλωσης των πολλαπλών ειδώλων ή ακόμη και του θορύβου.
- Μειωμένος λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) που απαιτείται σε σύγκριση με την αναλογική μετάδοση. Αυτό επιτρέπει τη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος μέχρι και 30 dB χωρίς να αλλοιώνεται η ποιότητα της εικόνας.
- Καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος λόγω της συμπίεσης του σήματος βασικής ζώνης. Όπως είναι για παράδειγμα, η ενσωμάτωση έως και τεσσάρων (4) ψηφιακών προγραμμάτων υψηλής ποιότητας σε ένα επίγειο κανάλι UHF, όταν στην αναλογική μετάδοση αντιστοιχεί για το ίδιο εύρος (8 MHz) ένα (1) τηλεοπτικό πρόγραμμα.
- Ευέλικτες τεχνικές πολυπλεξίας των ψηφιακών σημάτων, που επιτρέπουν τη συνύπαρξη πολλών προγραμμάτων και υπηρεσιών επιλεγόμενης ποιότητας και ευκρίνειας.
- Μεταβλητός ρυθμός εκπομπής (bit rate), ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας του προγράμματος. Με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κέρδος πολυπλεξίας (multiplexing gain) στην περίπτωση της ταυτόχρονης μετάδοσης πολλών προγραμμάτων μεταβλητού ρυθμού.
- Δυνατότητα επεξεργασίας της εικόνας στο δέκτη μετά τη λήψη, μέσω αλγορίθμων ψηφιακής επεξεργασίας (digital image post-processing), όπως

χρωματική διόρθωση, αποκοπή ορίων, αυξομείωση του μεγέθους ή αφαίρεση θορύβου.

- Εύκολος εμπλουτισμός των τηλεοπτικών προγραμμάτων μέσω τυποποιημένων αρχιτεκτονικών (π.χ. MHP, OpenTV) με τοπικές εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες των σύγχρονων «έξυπνων δεκτών».
- Ενσωμάτωση διαφόρων πολυμεσικών εφαρμογών και υπηρεσιών δεδομένων αμφίδρομου χαρακτήρα, όπως υπηρεσίες διαδικτυακής πρόσβασης, video onDemand, σε μια κοινή ψηφιακή πλατφόρμα, με προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμο κανάλι επιστροφής (reverse path). [2], [20]

Η ύπαρξη του καναλιού επιστροφής, είναι μία καινοτομία στο χώρο της τηλεόρασης και των τηλεπικοινωνιών. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ζητά την υπηρεσία της προτίμησής του, είτε αυτή είναι μία πολυμεσική εφαρμογή (video on demand, iptv, ipradio κ.τ.λ), είτε διαδικτυακές υπηρεσίες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα εφαρμογής διαφόρων σύγχρονων τεχνολογιών (WLAN, PSTN, ISDN, GSM, GPRS) στην υλοποίηση του καναλιού επιστροφής. [4]

## **2.1. Το πρότυπο συμπίεσης ψηφιακής τηλεόρασης MPEG-2**

### **Εισαγωγή**

Το MPEG αποτελεί πρότυπο κωδικοποίησης και συμπίεσης ψηφιακών δεδομένων, του οποίου τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες καθορίζονται από την Ομάδα Ειδικών Κινούμενης Εικόνας (Moving Picture Experts Group). Το πρότυπο της οικογένειας MPEG που θα μελετηθεί είναι το MPEG-2, το οποίο απευθύνεται σε εφαρμογές με μεγάλες απαιτήσεις στην ποιότητα του video. Αρχικά προοριζόταν για συμπίεση video με ποιότητα στούντιο και απαιτούμενο bandwidth από 4 έως 6 Mbps. Καθώς όμως ενσωμάτωσε και το MPEG-3 (το οποίο εγκαταλείφθηκε) υποστηρίζει πλέον και διάφορα είδη τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV). Το πρότυπο, υποστηρίζει μεταβλητούς ρυθμούς μετάδοσης, καθώς ο βαθμός συμπίεσης μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με την πολυπλοκότητα των πλαισίων που κωδικοποιούνται. Το γεγονός ότι το MPEG-2 παρέχει υψηλό βαθμό συμπίεσης διατηρώντας την εικόνα σε υψηλά επίπεδα ποιότητας, δικαιολογεί το λόγο για τον οποίο έχει καθιερωθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ως το πρότυπο συμπίεσης της ψηφιακής τηλεόρασης. Η χρήση του είναι ευρεία και στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση καθώς χρησιμοποιείται για την ενθυλάκωση των IP δεδομένων σε MPEG-2 συρμούς μεταφοράς, που αποστέλονται από την πλατφόρμα της επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης (επίσημη ονομασία του είναι ISO/IEC-13818). Εφαρμογές του MPEG-2 βρίσκουμε στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση, στην καλωδιακή τηλεόραση, στη δορυφορική (Satellite Digital TV) και στα DVD (Digital Video Disk).

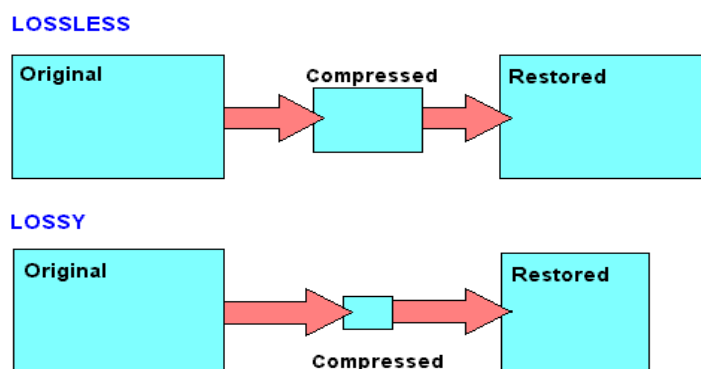
### **2.1.1. Βασικές αρχές λειτουργίας του προτύπου MPEG-2**

#### **2.1.1.1. Συμπίεση**

Το πρότυπο MPEG-2 παρουσιάζει ένα γενικό τρόπο συμπίεσης και πολυπλεξίας δεδομένων ήχου και video. Όσον αφορά την συμπίεση, είναι απαραίτητη καθώς η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος χαμηλού εύρους, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου πλήθους ψηφιακής πληροφορίας (5 MHz αναλογικό σήμα αντιστοιχεί σε ροή ψηφιακού σήματος 170-270 Mbps που χρειάζεται

140 MHz εύρος ζώνης για τη μετάδοσή του). Επίσης, η συμπίεση έχει πολλά οφέλη, όπως το μικρότερο μέγεθος του σήματος, το μικρότερο εύρος ζώνης σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου που καθιστά γρηγορότερη τη μεταφορά-μετάδοση του ίδιου υλικού. Υπάρχουν δύο τύποι συμπίεσης δεδομένων, η απωλεστική και η μη απωλεστική συμπίεση. Στην απωλεστική συμπίεση (μη αναστρέψιμη), αποβάλλεται η πληροφορία που δεν είναι απαραίτητη πετυχαίνοντας έτσι βαθμό συμπίεσης από 2 μέχρι και 250 φορές. Αντιθέτως, στη μη απωλεστική συμπίεση, η διαδικασία είναι απόλυτα αναστρέψιμη αφού γίνεται προσαρμογή της πληροφορίας με διάφορους αλγόριθμους. Όπως είναι φυσικό ο βαθμός συμπίεσης είναι πολύ μικρότερος αφού επιτυγχάνεται συμπίεση 2-5 φορές.

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 1998 The Computer Language Co., Inc.



Σχήμα 2.2 Τύποι συμπίεσης του προτύπου MPEG-2

### 2.1.1.2.Είδη πλαισίων (I,B,P Frames) και GOP (group of pictures)

Δύο είναι οι βασικές προσεγγίσεις στην κωδικοποίηση MPEG-2. Η πρώτη είναι η ενδο-πλαισιακή κωδικοποίηση (Intra-frame Coding) η οποία είναι βασισμένη στη μέθοδο συμπίεσης ακίνητης εικόνας JPEG. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η κάθε εικόνα (frame) αντιμετωπίζεται σαν αυτόνομη μονάδα και κωδικοποιείται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, οπότε το τελικό σήμα είναι μία σειρά από διακριτές ακίνητες εικόνες. Η δεύτερη προσέγγιση είναι η δια-πλαισιακή κωδικοποίηση (Inter-frame Coding) η οποία βασίζεται στην τμηματική πρόβλεψη κίνησης (block motion compensation). Κατά την κωδικοποίηση αυτή, λαμβάνονται υπ' όψιν οι πιθανές ομοιότητες μεταξύ των πλαισίων και κωδικοποιείται η διαφορά τους με χρήση του block motion compensation. Έτσι, στο τελικό σήμα, υπάρχει μία εξάρτηση μεταξύ των πλαισίων, αφού για να αποκωδικοποιηθεί κάποιο πιθανώς θα πρέπει να ληφθούν πληροφορίες και από κάποιο άλλο (προηγούμενο ή επόμενο). Γίνεται έτσι πολύ μεγαλύτερη συμπίεση, αφού μόνο οι διαφορές μεταξύ των πλαισίων κωδικοποιούνται. Σε ένα σήμα (bit-stream) MPEG-2 υπάρχουν τριών ειδών πλαίσια :

**I (Intra frames):** Το είδος αυτό των πλαισίων κάνει χρήση του intra frame-coding. Τα πλαίσια **τύπου I** είναι τα μόνα που είναι κωδικοποιημένα στο σύνολό τους και η αποκωδικοποίησή τους μπορεί να γίνει χωρίς αναφορά σε κάποιο άλλο. Είναι κατά συνέπεια, τα μεγαλύτερα σε μήκος και αποτελούν σημεία αναφοράς κατά την τυχαία προσπέλαση ενός σήματος. Επειδή η παρουσία τους είναι απαραίτητη σα σημείο χρονικής αναφοράς και για να αποφευχθεί η διάδοση των σφαλμάτων που δημιουργούν τα P πλαίσια, επιβάλλεται να μεταδίδονται ανά τακτά χρονικά πλαίσια.



Έτσι υπάρχει ένα I πλαίσιο τουλάχιστον κάθε 15 πλαίσια (δηλαδή δύο φορές το δευτερόλεπτο αν η συχνότητα είναι 30 Hz).

**P (Predicted frames):** Τα πλαίσια τύπου P είναι βασισμένα σε ένα προηγούμενο I ή P πλαίσιο. Με τη βοήθεια του motion compensation προβλέπουν τη νέα θέση όποιων macroblocks έχουν απλά μετακινηθεί και κωδικοποιούν τον αριθμό του macroblock και ένα διάνυσμα κίνησης. Με τη σειρά τους, μπορούν να αποτελέσουν και αυτά σημείο αναφοράς για επόμενα πλαίσια και αυτός είναι ο λόγος που συμβάλλουν στην εισαγωγή και διάδοση σφαλμάτων, αφού η διαδικασία της πρόβλεψης κίνησης δεν μπορεί να είναι 100% ακριβής. Δεν έχουν το μέγεθος των I πλαισίων γιατί δημιουργούνται με βάση αλγορίθμους πρόβλεψης και παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό συμπίεσης.

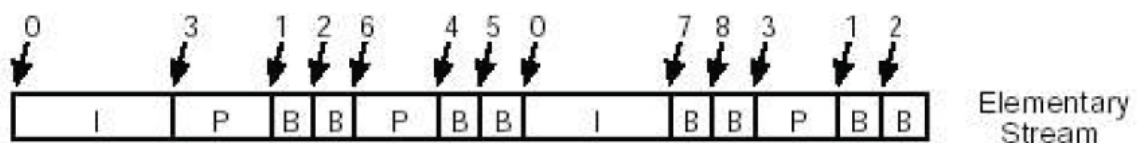
**B (Bi-directional frames):** Τα πλαίσια τύπου B είναι πλαίσια που δημιουργούνται λαμβάνοντας το μέσο όρο σε επίπεδο macroblock ενός προηγούμενου και ενός επόμενου πλαισίου I και P (ένα από το κάθε είδος). Δεν συντελούν τόσο πολύ στη διάδοση των σφαλμάτων γιατί δε χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς και επιπλέον μειώνουν σημαντικά το σφάλμα παίρνοντας το μέσο όρο από δύο πλαίσια. Ο κύριος λόγος ύπαρξης των B-πλαισίων, είναι η κάλυψη της περίπτωσης κάποιες πληροφορίες της εικόνας να υπάρχουν σε επόμενα πλαίσια και να μην υπάρχουν στα προηγούμενα. Συνεπώς, η πρόβλεψή τους με τα P πλαίσια θα ήταν αδύνατη. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε μία πόρτα που ανοίγει ξαφνικά. Η πληροφορία για το τι βρίσκεται πίσω από την πόρτα υπάρχει στα επόμενα πλαίσια και όχι στα προηγούμενα και για να εμφανιστεί στο τρέχον πλαίσιο πρέπει να ληφθούν σα σημεία αναφοράς και το προηγούμενο και το επόμενο.

Αφού τα πλαίσια P κατασκευάζονται με βάση τα I, είναι προφανές ότι τα I πρέπει να έχουν σταλεί πριν από τα αντίστοιχα P. Επίσης τα P, αλλά και τα I πρέπει να έχουν σταλεί πριν από τα αντίστοιχα B, παρόλο που στη μετάδοση αυτά παρεμβάλλονται ανάμεσά τους. Πολλές φορές παρεμβάλλονται περισσότερα B πλαίσια και τα I απέχουν περισσότερο μεταξύ τους (αλλά αυτό υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας γιατί τα σφάλματα διαδίδονται περισσότερο). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αναλογία πλαισίων I,P,B σε ένα σήμα MPEG-2 :

Είδος εικόνας	Bit-rate	I	P	B	Μέσος όρος
MPEG-2	(4.00Mbit/sec)	400,000	200,000	80,000	130,000

Πίνακας 2.1 Αναλογία πλαισίων I,P,B σε ένα σήμα MPEG-2

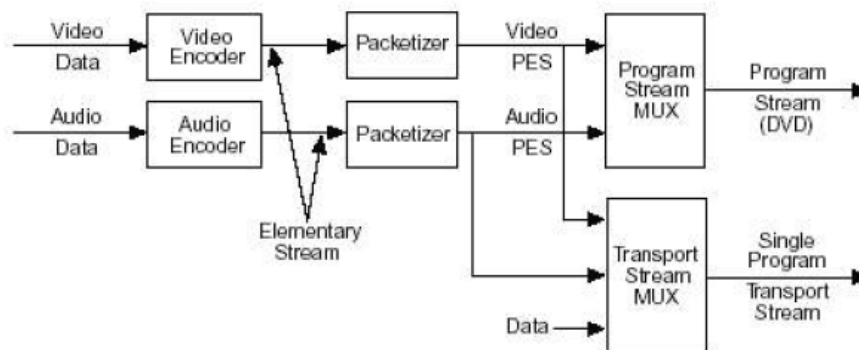
Η μικρότερη μονάδα που μπορεί να αποκωδικοποιηθεί ανεξάρτητα ονομάζεται GOP (Group of Pictures) και περιέχει όλα τα I,P,B πλαίσια που χρειάζονται για την αποκωδικοποίηση, χωρίς να γίνονται αναφορές σε άλλο GOP. Το τυπικό μέγεθος ενός GOP είναι 12 με 15 πλαίσια. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα GOP το οποίο απαρτίζει ένα ES:



## Σχήμα 2.3 Δομή ενός GOP

### 2.1.1.3. Πολυπλεξία

Κατά την πολυπλεξία, ένας απεριόριστος αριθμός συρμών video και ήχου, αλλά και συρμών δεδομένων, πρέπει να συγχρονιστούν μεταξύ τους (π.χ. οι υπότιτλοι σε ξένες γλώσσες). Κάθε συρμός τεμαχίζεται σε πακέτα με χρονικές σφραγίδες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυπλεξίας δύο συρμών παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα πολυπλεξίας δυο συρμών

Αρχικά, οι συρμοί μεταφοράς εισέρχονται σε έναν mpeg audio ή video κωδικοποιητή όπου το σήμα εξόδου του ονομάζεται στοιχειώδης συρμός (Elementary Stream ES). Τα ES είναι ένα συνεχές σήμα πραγματικού χρόνου τα οποία δομούνται σε blocks, με τη βοήθεια του πακετοποιητή (packetizer), δημιουργώντας έτσι πακεταρισμένο στοιχειώδη συρμό (Packetized ES, PES). Τα πακέτα αυτά πρέπει να έχουν επικεφαλίδα με πληροφορίες καθώς και χρονική σφραγίδα. Τα ES του ήχου και του video μπορούν να συνδυαστούν για να δώσουν ένα συρμό προγράμματος (Program Stream, PS). Αυτό για να συμβεί, απαιτεί τα σήματα να είναι συγχρονισμένα. Το PS έχει μεταβλητό μέγεθος πακέτων και επικεφαλίδας γι' αυτό και χρησιμοποιείται σε κανάλια χωρίς θόρυβο κυρίως για τοπική μετάδοση (σκληροί δίσκοι, dvd κλπ). Για μετάδοση και ψηφιακή ευρεία εκπομπή, πολλά προγράμματα και τα σχετικά PES μπορούν να πολυπλεχθούν σε ένα συρμό μεταφοράς Transport Stream (TS). Στο TS τα PES πακέτα κατακερματίζονται σε μικρά πακέτα, προκαθορισμένου μήκους, στα οποία μπορούμε να έχουμε και διαφορετικά ρολόγια συγχρονισμού, λόγω του μηχανισμού PCR (program clock reference). Το TS εκτός από video, ήχο και δεδομένα, περιέχει και πληροφορίες που περιγράφουν τη ροή των bit (PAT – Programm Association Table). Κάθε καταχώριση στο PAT υποδεικνύει ένα PMT (Programm Map Table) το οποίο ενημερώνει για το ποια ES αποτελούν την κάθε υπηρεσία. Το μέγεθος των πακέτων είναι 188 bytes και κάθε ένα πακέτο έχει ένα Program Identifier (PID). Πακέτα που ανήκουν στο ίδιο ES έχουν το ίδιο PID.

Οι δομές πολύπλεξης πακέτων MPEG-2 σχεδιάστηκαν στα μέτρα των αναγκών για ευρεία μετάδοση σημάτων video, ήχου και δεδομένων, με στόχο τη συμβατότητα με το ATM (Asynchronous Transfer Mode) το οποίο προυπήρχε και

ήτανε ήδη γνωστό. Το μέγεθος των πακέτων του συρμού μεταφοράς του MPEG-2 αποτελείται από 188 bytes που περιέχουν 4 bytes επικεφαλίδες και 184 bytes δεδομένων. Το μέγεθος των πακέτων MPEG-2 TS σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι δυνατόν να ενθυλακωθεί σε τέσσερα ATM πακέτα ( $4 \times 47 = 188$ ) αφήνοντας χώρο για 1 AAL byte για κάθε ATM πακέτο. Το MPEG-2 μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με μικρότερο overhead από ότι το ATM (MPEG-2 4 Bytes, ATM 6 Bytes overhead).

### 2.1.2. Επίπεδα και προφίλ του προτύπου MPEG-2

Το πρότυπο MPEG-2 υποστηρίζει έναν αριθμό από προφίλ (profiles) που στοχεύουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογών και καθορίζουν το σύνολο των εργαλείων συμπίεσης που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα, υποστηρίζονται τέσσερα προφίλ, εκ των οποίων το κύριο είναι για χρήση γενικού σκοπού, το απλό προφίλ είναι παρόμοιο με το κύριο, ενώ τα άλλα διαπραγματεύονται την επεκτασιμότητα (scalability) και την τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV). Τα προφίλ διαφέρουν όσον αφορά την παρουσία ή απουσία εικόνων B, την ανάλυση της χρωματικότητας καθώς και την επεκτασιμότητα ενός κωδικοποιημένου συρμού προς τα άλλα format εικόνων. Επιπροσθέτως, το πρότυπο MPEG-2 υποστηρίζει τέσσερα επίπεδα (levels) που ορίζουν την ανάλυση της εικόνας. Συγκεκριμένα, το χαμηλό επίπεδο (352 x 288) αντιστοιχεί στην προς τα πίσω συμβατότητα με το πρότυπο συμπίεσης MPEG-1 και στους video εγγραφείς (VCR), το κύριο επίπεδο (720 x 576) αντιστοιχεί στην τυποποιημένη ανάλυση για τη μετάδοση NTSC, το υψηλό-1440 επίπεδο (1440 x 1152) αποτελεί την HDTV και το υψηλό επίπεδο (1920 x 1152) βελτιστοποιεί την HDTV.

Levels	Profiles				
	Simple Main without B-frames 4:2:0	Main B-frames 4:2:0	SNR Scalability 4:2:0	Spatial Scalability 4:2:0	Professional 4:2:2
<b>High</b> 1920 x 1152	x	80 Mbit/s	x	x	100 Mbit/s
<b>High -1440</b> 1440 x 1152	x	60 Mbit/s	x	60 Mbit/s	80 Mbit/s
<b>Main</b> 720 x 576	15 Mbit/s	15 Mbit/s 90% of users	15 Mbit/s	x	20 Mbit/s
<b>Low</b> 352 x 288	x	4 Mbit/s	4 Mbit/s	x	x

**Πίνακας 2.2 Επίπεδα που ορίζουν την ανάλυση μιας εικόνας στο πρότυπο MPEG-2**

Το πρότυπο συμπίεσης MPEG-2 αποτελεί τη βάση των προτύπων που έχουν αναπτυχθεί για την μετάδοση ψηφιακής τηλεόρασης, σε παγκόσμιο επίπεδο. Αναφορά και μελέτη των προτύπων της ψηφιακής τηλεόρασης δίνεται στην ενότητα που ακολουθεί. [3]

## 2.2. Η Ψηφιακή τηλεόραση στην Ευρώπη και το πρότυπο DVB

### Γενικά

Τα τελευταία δέκα χρόνια του 20<sup>ου</sup> αιώνα η Αμερική (ATSC) και η Ιαπωνία (ISDB) αναπτύσσουν τη δική τους τεχνολογία πάνω στον τομέα της ψηφιακής τηλεόρασης. Παράλληλα οριοθετείται το 1991 η δημιουργία μίας Ευρωπαϊκής ομάδας ανάπτυξης, η οποία θα καταλήξει το 1992, στην δημιουργία ενός προτύπου το οποίο θα αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη της ψηφιακής τηλεόρασης στην Ευρώπη. Το 1993 ολοκληρώνεται η ιδέα, με την ίδρυση της οικογένειας προτύπων DVB (Digital Video Broadcasting). Η οικογένεια αυτή, είχε ως στόχο της την παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών ψηφιακής τηλεόρασης χρησιμοποιώντας δορυφορικά, καλωδιακά και επίγεια μέσα μετάδοσης. Υιοθετώντας την κωδικοποίηση κατά MPEG-2 σε όλα τα πρότυπα, έχει επιτευχθεί η ψηφιοποίηση προγραμμάτων εικόνας και ήχου, η μεταφορά δεδομένων με υψηλή ταχύτητα, καθώς και η πολυπλεξία τους.

Τα πιο γνωστά πρότυπα που απαρτίζουν την οικογένεια DVB, μέχρι σήμερα, είναι το DVB-S (Satellite) που υποστηρίζει τη δορυφορική μετάδοση, το DVB-C (Cable) το οποίο υποστηρίζει την καλωδιακή μετάδοση, το DVB-T (Terrestrial) το οποίο αναφέρεται στην αμφίδρομη επίγεια μετάδοση και τέλος ένα νέο πρότυπο, το DVB-H (Handhelds) το οποίο προσθέτει την έννοια του κίνητου χρήστη στην επίγεια ψηφιακή μετάδοση.

Το δορυφορικό σύστημα DVB-S είναι το παλαιότερο και πιο διαδεδομένο από την οικογένεια προτύπων DVB και έχει αδιαμφισβήτητα τύχει παγκόσμιας αποδοχής. Το DVB-S σχεδιάστηκε για να εκμεταλλεύεται πλήρως το εύρος ζώνης των δορυφορικών τηλεοπτικών αναμεταδοτών. Χρησιμοποιεί ρυθμό μεταφοράς των 54Mbps με διαμόρφωση QPSK σε συνδυασμό με ένα σχήμα διπλής κωδικοποίησης και διεμπλοκής (coding/interleaving). Είναι το μόνο πρότυπο από την οικογένεια DVB που έχει τύχει εμπορικής εφαρμογής και στη χώρα μας.

Το καλωδιακό σύστημα DVB-C έχει τεχνικά, αρκετές ομοιότητες με το DVB-S. Η διαφορά του έγκειται στο ότι χρησιμοποιεί την αποδοτικότερη (ως προς το εύρος ζώνης) αλλά και πιο ευαίσθητη σε παρεμβολές διαμόρφωση 64-QAM αντί για την QPSK. Έτσι, ένα καλωδιακό κανάλι των 8 MHz μπορεί να μεταφέρει 38.5Mbps. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί QAM λιγότερων ή περισσότερων επιπέδων. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ ταχύτητας και αξιοπιστίας.

Το επίγειο σύστημα DVB-T αποτελεί το τελευταίο χρονικά μέλος της οικογένειας DVB. Επιτυγχάνει ψηφιακή μετάδοση υψηλών ταχυτήτων πάνω από το "δύσκολο" επίγειο κανάλι, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων στο σχήμα της πολυπλεξίας με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Το σχήμα OFDM του DVB-T χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φερόντων (6817 ή 1704 για μετάδοση 8K και 2K αντίστοιχα), κάθε ένα από τα οποία διαμορφώνεται κατά QPSK, 16QAM ή 64QAM. Έτσι, η πληροφορία κατανέμεται ομοιόμορφα στο φάσμα και σε συνδυασμό με κωδικοποίηση και διεμπλοκή δύο στρωμάτων, το σήμα αποκτά μεγάλη ευρωστία ακόμη και σε περιβάλλοντα με ισχυρές διαλήψεις και φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath). [2], [20]

Το επίγειο σύστημα DVB-H, αποτελεί συνέχεια του DVB-T με τη διαφορά όμως ότι αναφέρεται σε κινητούς χρήστες. Το πρότυπο αυτό έχει προσαρμοστεί στις ιδιότητες που έχουν οι συσκευές κινητής πρόσβασης, όπως μέγεθος συσκευής και χωρητικότητα μνήμης, ανάγκη εύκολης πρόσβασης στο δίκτυο και εξοικονόμηση

ενέργειας. Στην ουσία δημιουργείται μια γέφυρα που ενώνει τα δίκτυα ευρυζωνικής εκπομπής με τον κόσμο των κυψελωτών ασυρμάτων δικτύων. [4]

### 2.3. Λειτουργία και εφαρμογή του προτύπου DVB-T

#### Γενικά

Το πρότυπο DVB-T είναι το πιο πρόσφατο και πιο εξελιγμένο τεχνολογικά πρότυπο. Η χρήση του στην επίγεια ψηφιακή μετάδοση, υλοποιείται σε όλο και περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Αναπτύχθηκε, όπως και τα υπόλοιπα προαναφερθέντα standards, από το DVB Forum και εγκρίθηκε από τον οργανισμό ETSI ως το βασικό πανευρωπαϊκό πρότυπο το 1997. Το πρώτο επίγειο πρόγραμμα σε ψηφιακή μορφή, ξεκίνησε στην Αγγλία ένα χρόνο αργότερα. Σήμερα, συστήματα DVB-T υλοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τη Ρωσία, την Ανατολική Ευρώπη, την Ινδία, την Σιγκαπούρη και την Αυστραλία. Το DVB-T προπορεύεται του αντίστοιχου αμερικανικού προτύπου ATSC, το οποίο και αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες, ως προς κάποια χαρακτηριστικά (κινητικότητα χρήστη, αντοχή σε multipath, δημιουργία SFN), ενώ το Ιαπωνικό πρότυπο ISDB-T βασίστηκε ουσιαστικά στη φιλοσοφία του DVB-T.

Οι προοπτικές χρήσης του για μετάδοση δεδομένων IP είναι πολυάριθμες. Σημαντικό πλεονέκτημα του επίγειου συστήματος είναι ότι δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό από πλευράς χρήστη (π.χ. δορυφορικό δέκτη ή καλωδιακή υποδομή) ενώ από την πλευρά του παροχέα, αποτελεί την πιο προσιτή και πιο ευέλικτη λύση σε σχέση με την ανάγκη δορυφορικής μετάδοσης ή τη χρήση καλωδιακού δικτύου. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου προτύπου, είναι η δυνατότητα προσθήκης ενός επίγειου ψηφιακού συστήματος σε περιοχές κάλυψης με κυψελωτή δομή. Προσφέρει υπηρεσίες και σε κινούμενους χρήστες, μια δυνατότητα που οι υπόλοιπες τεχνολογίες δεν είναι σε θέση να προσφέρουν ακόμα.

Καθώς το DVB-T ορίζει από μόνο του ένα σύστημα εκπομπής ευρείας κάλυψης (broadcasting) παραλείποντας τον ορισμό της τεχνολογίας επιστροφής (reverse path) και δεδομένου ότι η μορφή του σήματος βασικής ζώνης και ο αλγόριθμος συμπίεσης της εικόνας περιγράφεται στην προδιαγραφή MPEG-2, το πρότυπο DVB-T περιορίζεται αποκλειστικά στην περιγραφή των λειτουργιών του διαμορφωτή. Ο διαμορφωτής, δέχεται στην είσοδο του από τον πολυπλέκτη, ένα συρμό μεταφοράς MPEG-2, που περιέχει πολυπλεγμένες τις υπηρεσίες εικόνας, ήχου και δεδομένων υπό μορφή σήματος βασικής ζώνης και παράγει το RF σήμα το οποίο είναι έτοιμο προς αποστολή. Το τελευταίο έχει εύρος ζώνης 8MHz και τοποθετείται σε ένα από τα κανάλια 21-69 της μπάντας των UHF, όπως ακριβώς ένα αναλογικό τηλεοπτικό κανάλι.

Ο διαμορφωτής DVB-T χρησιμοποιεί σχήμα OFDM για να αντιμετωπίσει στη μετάδοση διαλήψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό του OFDM διευκολύνει πολύ τη λήψη δεδομένων ευρείας ζώνης και από κινητούς χρήστες. Στο χώρο μάλιστα των τεχνολογιών εκπομπής (broadcasting), το OFDM παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής δικτύων με διεσπαρμένους πομπούς που εκπέμπουν συγχρονισμένα τα ίδια δεδομένα στην ίδια συχνότητα χωρίς η συμβολή των σημάτων τους να επηρεάζει σημαντικά το δέκτη. Τέτοια δίκτυα ονομάζονται Single Frequency Networks (SFN) και μπορούν να αυξήσουν την συνολική χωρητικότητα του δικτύου σε ολόκληρη την γεωγραφική επικράτεια μέχρι και 45

φορές. Καθώς εξαλείφεται η ανάγκη να υπάρχουν ελεύθερα κανάλια σε ορισμένες περιοχές, αποφεύγονται παρεμβολές με γειτονικούς πομπούς.

Το πρότυπο DVB-T συνδυάζει το OFDM με σύνθετες τεχνικές ισοστάθμισης και κωδικοποίησης, εισάγοντας την τεχνολογία του κωδικοποιημένου OFDM (Coded OFDM- COFDM). Συνδυάζοντας κωδικοποίηση και διεμπλοκή δύο επιπέδων, η διαδικασία διαμόρφωσης καθιστά το σήμα ιδιαίτερα ανθεκτικό σε πολυδιαδρομική διάδοση και παρεμβολές. Η λειτουργία του διαμορφωτή είναι σχετικά σύνθετη. Προκειμένου να γίνει κατανοητή, θα αναφερθούν και θα αναλυθούν τα στάδια της ξεχωριστά. Οι λειτουργίες αυτές, με τη σειρά που εφαρμόζονται στο Ρεύμα Μεταφοράς, είναι οι εξής:

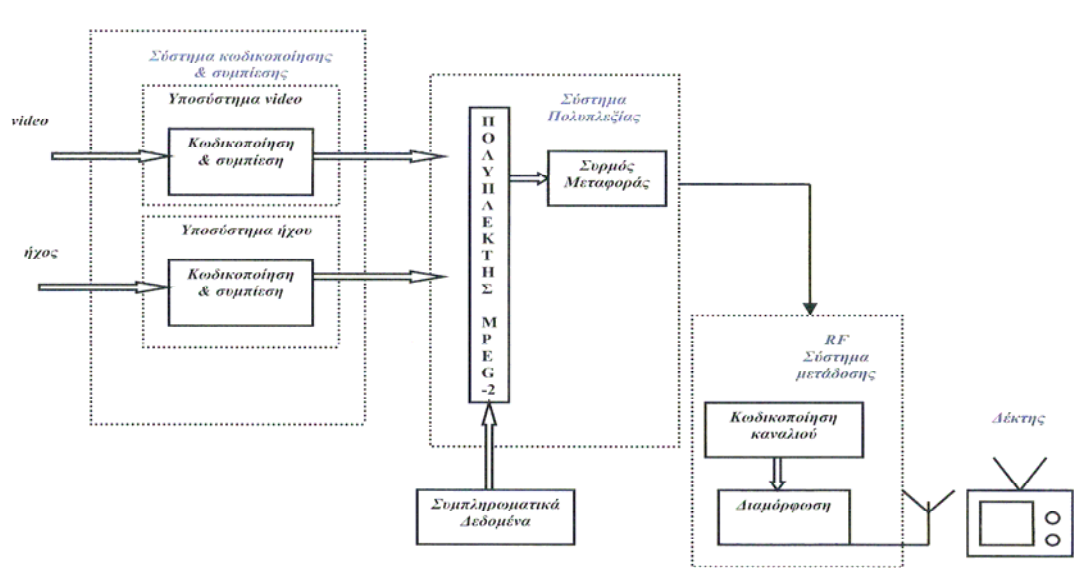
- Προσαρμογή MPEG-2 πακέτων και τυχαιοποίηση (randomization)
- Εξωτερική κωδικοποίηση (προστασία έναντι λαθών με κώδικα Reed-Solomon)
- Εξωτερική συνελκτική διεμπλοκή (convolutional interleaving)
- Εσωτερική κωδικοποίηση με διάτρητο συνελκτικό κώδικα (punctured convolutional code)
- Εσωτερική διεμπλοκή (inner interleaving) στον χρόνο και στη συχνότητα
- Αντιστοίχιση και διαμόρφωση των φερόντων
- Πολυπλεξία κατά OFDM με αντίστροφο ταχύ μετασχηματισμό Fourier (IFFT) και διαμόρφωση του φέροντος IF
- Άνω μετατροπή (up-conversion) στην τελική RF συχνότητα.

Η τελευταία λειτουργία δεν υποστηρίζεται εγγενώς από αρκετούς διαμορφωτές. Θα πρέπει να εισαγάγουμε μία πρόσθετη μονάδα για άνω μετατροπή.

Στην περίπτωση της ιεραρχικής διαμόρφωσης, το σήμα βασικής ζώνης προϋπάρχει διαιρεμένο σε δύο Ρεύματα Μεταφοράς: ένα υψηλής προτεραιότητας (high priority TS) και ένα χαμηλής (low priority TS). Τα δύο σήματα διαμορφώνονται ταυτόχρονα σε ένα ιεραρχικό QAM σήμα. Ως αποτέλεσμα, ένας δέκτης με κακές συνθήκες λήψης λαμβάνει μόνο τα δεδομένα υψηλής προτεραιότητας, ενώ ένας με καλύτερες λαμβάνει το σύνολο. Η λειτουργία ιεραρχικής διαμόρφωσης παρέχει σημαντική ευελιξία στο σύστημα, ιδίως όταν συνοδεύεται από κλιμακωτή κωδικοποίηση της κινούμενης εικόνας κατά MPEG-2 (scalable MPEG-2 encoding).

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος μετάδοσης των υπηρεσιών, περιγράφονται παρακάτω τα βήματα που ακολουθεί αυτή η ψηφιακή μετάδοση.

### **2.3.1. Μοντέλο εκπομπής ψηφιακού σήματος κατά ITU-R**



**Σχήμα 2.5 Μοντέλο εκπομπής ψηφιακού σήματος**

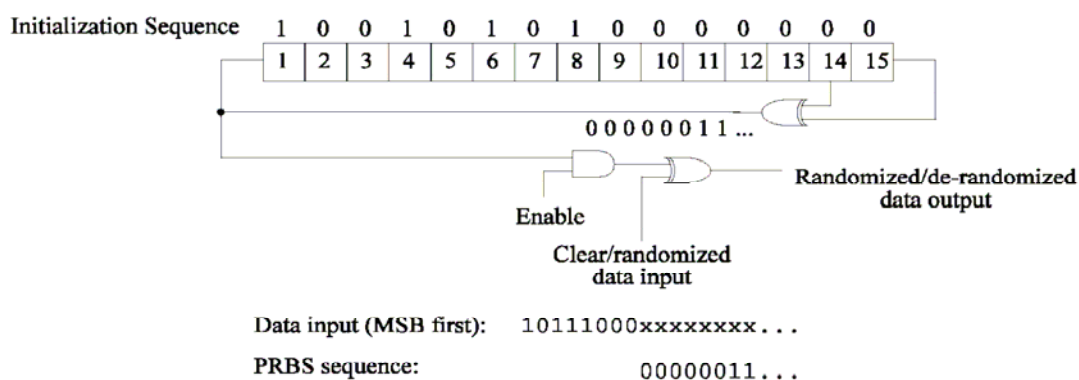
Για την κωδικοποίηση των τηλεοπτικών αλλά και των ηχητικών σημάτων καθώς και για την πολυπλεξία χρησιμοποιείται το MPEG-2. Απόλυτη ευκρίνεια και άριστος ήχος. Ένας συρμός μεταφοράς MPEG-2, μπορεί πρακτικά να μεταφέρει οτιδήποτε είναι δυνατό να ψηφιοποιηθεί. [2], [5], [20]

### 2.3.2. Στάδια διαμόρφωσης DVB-T

#### 2.3.2.1. Προσαρμογή MPEG-2 πακέτων και τυχαιοποίηση (randomization)

Το σήμα βασικής ζώνης που εισέρχεται στον διαμορφωτή είναι σταθερού ρυθμού (constant bit rate - CBR) και οργανωμένο σε πακέτα σταθερού μήκους των 188 bytes. Κάθε πακέτο ξεκινά με το byte συγχρονισμού, που είναι πάντα ίσο με 0x47. Προκειμένου να περιοριστεί το ενδεχόμενο να υπάρχουν μεγάλα διαστήματα χωρίς δυαδική μεταβολή (μακρίες ακολουθίες "0" ή "1" - κάτι που συμβαίνει π.χ. σε πακέτα κενού περιεχομένου που χρησιμοποιούνται μόνο για stuffing), ακολουθείται μια διαδικασία τυχαιοποίησης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Το πολυώνυμο για την γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας είναι:

$$1 + X^{14} + X^{15}$$



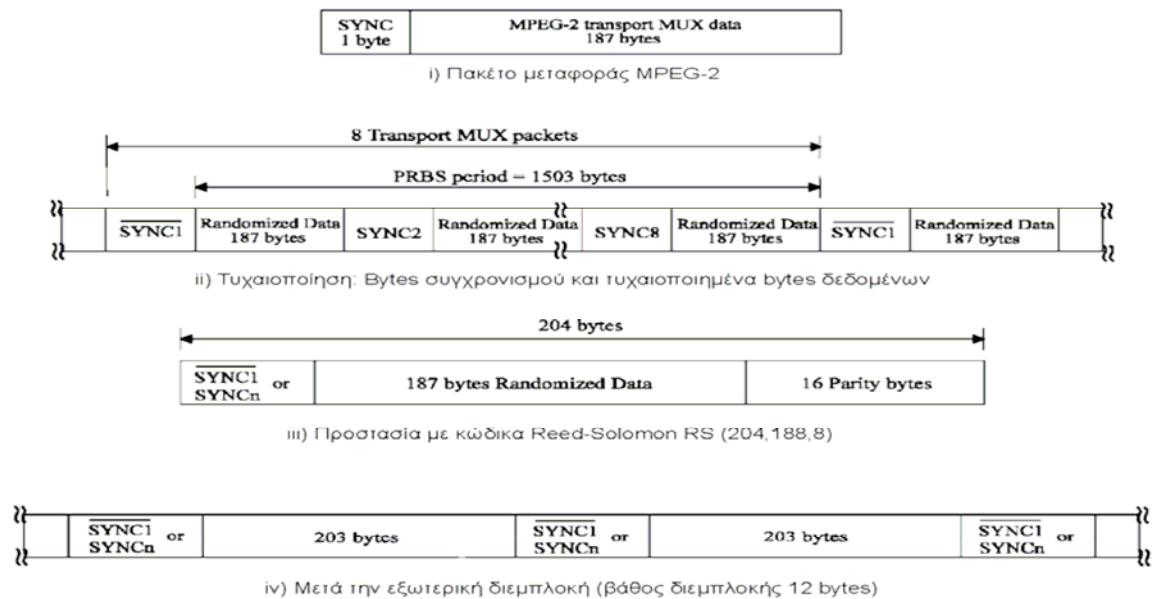
**Σχήμα 2.6 Διαδικασία τυχαιοποίησης εισερχόμενων δεδομένων κατά διαδικασία διαμόρφωσης στο πρότυπο MPEG-2**

### 2.3.2.2. Εξωτερική κωδικοποίηση και συνελκτική διεμπλοκή

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται εξωτερική κωδικοποίηση (outer coding) η οποία καλείται κωδικοποίηση Reed Solomon. Κατά τη διάρκεια της εξωτερικής κωδικοποίησης γίνεται χρήση μιας τεχνικής που ονομάζεται Εμπρόσθια Διόρθωση Σφαλμάτων, FEC (Forward Error Correction). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, σε κάθε πακέτο μεταφοράς των 188 bytes, προστίθενται 16 bytes πλεονασμού, οπότε προκύπτει ένα πακέτο προστατευμένο από σφάλματα, μήκους 204 bytes.

Ακολουθεί η τεχνική της συνελκτικής διεμπλοκής, σκοπός της οποίας είναι η αύξηση της απόδοσης της κωδικοποίησης Reed-Solomon. Ο λόγος για τον οποίο απαιτείται αποδοτικότερη προστασία έναντι στα σφάλματα, είναι ότι στα κανάλια μετάδοσης η ποιότητα των σημάτων μεταβάλλεται και είναι δυνατόν ένας μεγάλος αριθμός από δυαδικά ψηφία, ο οποίος υπερβαίνει την δυνατότητα διόρθωσης της κωδικοποίησης RS, να αλλοιωθεί (από πιθανό χτύπημα κεραυνού ή από παρεμβολές ηλεκτρικών συσκευών). Η προστασία κάθε πακέτου μετάδοσης από τέτοιου είδους αλλοιώσεις δεν είναι ιδιαίτερα οικονομική. Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται συνελκτική διεμπλοκή, σύμφωνα με την οποία τα δεδομένα αφού κωδικοποιηθούν με την Εμπρόσθια Διόρθωση Σφαλμάτων, τροφοδοτούνται σε μια μνήμη RAM και μεταδίδονται αναδιατεταγμένα (μια πιθανή εκδοχή είναι τα δεδομένα να εισέρχονται στη RAM σε γραμμές και να εξέρχονται σε στήλες). Με τη χρήση μιας δεύτερης RAM κατά τη λήψη, τα δεδομένα τοποθετούνται στην αρχική τους δομή. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας της διεμπλοκής είναι ότι το συσσωμάτωμα των δυαδικών ψηφίων που έχουν υποστεί σφάλμα μετατρέπεται σε ένα μεγάλο αριθμό ενιαίων εσφαλμένων συμβόλων, τα οποία είναι εύκολα διορθώσιμα.





**Σχήμα 2.7** Μορφή δεδομένων μετά την διαδικασία προσαρμογής, τυχαίωσης, κωδικοποίησης και διεμπλοκής

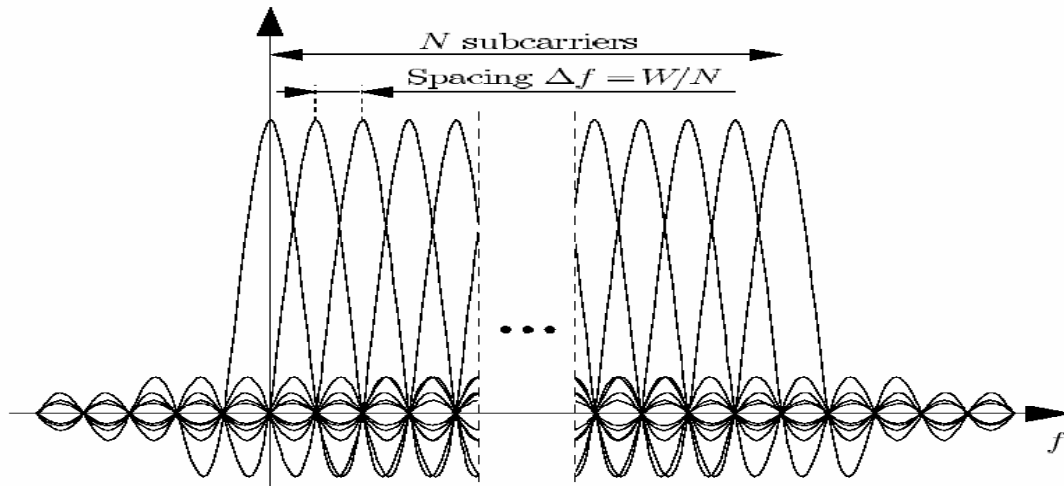
### 2.3.2.3.Εσωτερική κωδικοποίηση και διεμπλοκή

Η εσωτερική κωδικοποίηση ακολουθεί τη συνελκτική διεμπλοκή και τη συμπληρώνει αποδοτικά καθώς διορθώνει άλλου είδους σφάλματα. Ο ισχυρός πλεονασμός που εισάγεται από αυτή (100%, καθώς ο συνελκτικός κωδικοποιητής παράγει δύο ροές εξόδου, καθεμιά με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης όπως η ροή εισόδου) επιτρέπει μια πολύ ισχυρή διόρθωση λαθών. Αυτό μπορεί να είναι αναγκαίο για σήματα με πολύ χαμηλό λόγο σήματος-προς-θόρυβο (SNR, signal-to-noise ratio) στην είσοδο του δέκτη, αλλά έχει ως αποτέλεσμα τον υποδιπλασιασμό της φασματικής απόδοσης του καναλιού. Ωστόσο, αυτού του τύπου η συνελκτική κωδικοποίηση, επιτρέπει ο πλεονασμός που εισάγεται, να μειωθεί διαμέσου της διάτρησης (puncturing) της εξόδου του συνελκτικού κωδικοποιητή. Αυτός καθιστά δυνατή τη μη λήψη όλων των διαδοχικών bits των ακολουθιών εξόδου, αλλά μόνο ένα από τα δύο ταυτόχρονα bits με ένα συγκεκριμένο λόγο διάτρησης (puncturing ratio). Με αυτό τον τρόπο, είναι πιθανό να επιτευχθούν οι ρυθμοί κώδικα διάτρησης (punctured code rates) που καθορίζονται από το στάνταρ DVB (2/3, 3/4, 5/6 ή 7/8), που εκφράζουν το λόγο της εισόδου προς τον εκπεμπόμενο ρυθμό (στην έξοδο). Δεδομένης της ισχύος του αναμεταδότη και του μεγέθους της κεραίας λήψης, ο ρυθμός κώδικα που επιλέγεται από το σταθμό εκπομπής θα αποτελεί ένα συμβιβασμό μεταξύ ενός επιθυμητού ρυθμού μετάδοσης και του τύπου της παρεχόμενης υπηρεσίας.

### 2.3.2.4.Διαμόρφωση και μετάδοση

Η διαδικασία της εσωτερικής διεμπλοκής παράγει μια ακολουθία από bits ήδη οργανωμένη σε σύμβολα QAM. Όπως προαναφέρθηκε, τα δυνατά σχήματα διαμόρφωσης είναι: QPSK (2 bits/symbol), 16QAM (4 bits/symbol) και 64QAM (6 bits/symbol). Τα διαγράμματα αστερισμού (constellation maps) για κάθε τύπο

διαμόρφωσης περιγράφονται αναλυτικά στην προδιαγραφή. Τα σύμβολα ομαδοποιούνται και μεταδίδονται ταυτόχρονα με τη χρήση πολυπλεξίας OFDM. Κάθε σύμβολο OFDM αποτελείται από ένα σύνολο  $N=6817$  ("8k mode") ή  $1705$  ("2k mode") φερόντων και μεταδίδεται με διάρκεια  $T_s=896\mu\text{sec}$  και  $T_s=224\mu\text{sec}$  αντίστοιχα. Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών φερόντων είναι  $\Delta f=1116\text{Hz}$  και  $\Delta f=4464\text{Hz}$  για τις δύο καταστάσεις λειτουργίας αντίστοιχα. Η ορθογωνιότητα μεταξύ των φερόντων εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι  $\Delta f=1/T_s$  πάντα. Με τη συνθήκη αυτή, η διάταξη των φερόντων αποκτά τη μορφή του παρακάτω σχήματος.:



Σχήμα 2.8 Διάταξη των φερόντων κατά την διάρκεια διαμόρφωσης ενός σήματος

Το συνολικό εύρος ζώνης του σήματος DVB-T ανέρχεται στα  $7.61\text{MHz}$  για ονομαστική κατάσταση λειτουργίας  $8\text{MHz}$ , ενώ προβλέπονται και καταστάσεις λειτουργίας των  $7$  και  $6\text{MHz}$ . Το κάθε σύμβολο OFDM αποτελείται από δύο μέρη: ένα ωφέλιμο τμήμα με διάρκεια  $T_U$  και ένα διάστημα φρούρησης (guard interval), με διάρκεια  $D$ . Το διάστημα φρούρησης αποτελείται από μια κυκλική επανάληψη του ωφέλιμου τμήματος, και εισάγεται πριν από αυτό.  $68$  διαδοχικά σύμβολα OFDM αποτελούν ένα πλαίσιο OFDM (OFDM frame), ενώ τέσσερα διαδοχικά πλαίσια αποτελούν ένα υπέρ-πλαίσιο (OFDM super-frame). Μέσα σε κάθε σύμβολο OFDM, οι πληροφορίες που μεταφέρονται από τα φέροντα μπορεί να είναι είτε δεδομένα είτε πληροφορίες συγχρονισμού και γενικώς δεδομένα χρήσιμα για την καλή λειτουργία του δέκτη. Τα φέροντα που δεν φέρουν πληροφορία διακρίνονται σε:

- Διεσπαρμένα φέροντα-πλότους (pilot carriers). Αυτά εκπέμπουν εκ περιτροπής ένα δεδομένο σήμα, το οποίο γνωρίζει ο δέκτης. Μετρώντας την ισχύ των φερόντων αυτών, ο δέκτης μπορεί ανά πάσα στιγμή να σχηματίσει μια εκτίμηση της απόκρισης συχνότητας (frequency response) του καναλιού.
- Σταθερά φέροντα-πλότους. Αυτά κατέχουν σταθερή θέση μέσα στο σύμβολο.
- Φέροντα σηματοδότησης παραμέτρων μετάδοσης (TPS -Transmission Parameter Signalling carriers). Αυτά κατέχουν επίσης σταθερή θέση μέσα στο σύμβολο, και πληροφορούν το δέκτη για τις παραμέτρους που

χρησιμοποιούνται στη μετάδοση (ρυθμός κωδικοποίησης, διάρκεια διαστήματος φρούρησης, τύπος διαμόρφωσης), ούτως ώστε ο δέκτης να μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα.

### 2.3.2.5. Ωφέλιμο bit rate

Η τιμή που περισσότερο ίσως ενδιαφέρει τον παροχέα DVB-T είναι το ωφέλιμο bit rate που μπορεί να μεταφερθεί από το ψηφιακό σήμα, δηλαδή ο ρυθμός του Ρεύματος Μεταφοράς MPEG-2 που μεταδίδεται. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τη διάρκεια του διαστήματος φρούρησης, τον ρυθμό κωδικοποίησης και τον τύπο της διαμόρφωσης, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα (τιμές σε Mb/s).

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

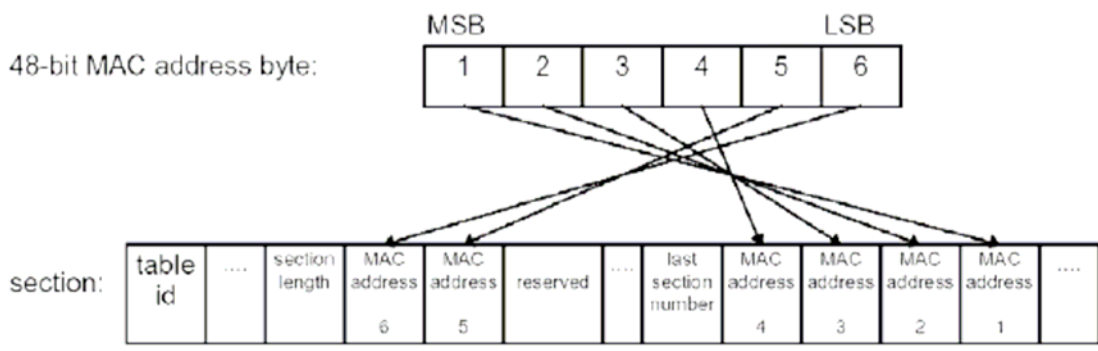
Πίνακας 2.3 Ωφέλιμο bit rate στις διαμορφώσεις QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Ο συνδυασμός των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν βρίσκεται στην επιλογή του χρήστη. Γενικά πάντως ισχύει ότι όσο αυξάνει ο ωφέλιμος ρυθμός, τόσο πιο ευάλωτο γίνεται το σήμα σε φαινόμενα διαλείψεων και πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath). Απαιτείται δηλαδή να γίνει ένας συμβιβασμός (trade-off) από την πλευρά του παροχέα μεταξύ χωρητικότητας και ανθεκτικότητας του σήματος.

### 2.3.3. Μετάδοση IP δεδομένων πάνω από το κανάλι DVB-T

Με την εξασφάλιση της αξιόπιστης μετάδοσης του Ρεύματος Μεταφοράς MPEG-2 πάνω από το κανάλι DVB-T, απομένει να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο τα πακέτα IP ενθυλακώνονται (encapsulate) πάνω στα πακέτα μεταφοράς. Τα τελευταία έχουν σταθερό μήκος 188 bytes, εκ των οποίων τα 4 είναι η επικεφαλίδα (header). Προκειμένου λοιπόν τα IP πακέτα αφενός να ενσωματωθούν στο ρεύμα μεταφοράς και αφετέρου να διακρίνονται σαφώς από τα πακέτα που μεταφέρουν τα προγράμματα ψηφιακής τηλεόρασης, πρέπει να υιοθετηθεί μια διαδικασία που να εκτελεί λειτουργίες αντιστοίχισης (mapping), προσαρμογής (adaptation) και κατακερματισμού (segmentation). Οι λειτουργίες αυτές ορίζονται από το πρότυπο ETSI EN 301 192. Το πρότυπο αυτό ορίζει τέσσερις διαφορετικές τεχνικές ενθυλάκωσης:

- Διοχέτευση δεδομένων (data riping). Στη μέθοδο αυτή, τα δεδομένα των IP πακέτων ενσωματώνονται απευθείας ως φορτίο (payload) στα πακέτα μεταφοράς MPEG-2.
- Ροή δεδομένων (data streaming). Η μέθοδος αυτή είναι πιο κατάλληλη για υπηρεσίες streaming over DVB. Το data stream διαμορφώνεται σε μία συμβατή Στοιχειώδη Ροή MPEG-2 (Elementary Stream), η οποία με τη σειρά της οργανώνεται σε πακέτα, κατά τη δομή του PES (Packetized Elementary Stream). Τέλος, τα πακέτα PES κατακερματίζονται και διανέμονται στο φορτίο των MPEG-2 transport packets.
- Ενθυλάκωση πολλαπλών πρωτοκόλλων (Multiprotocol Encapsulation - MPE). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για να μεταφέρονται πακέτα διάφορων πρωτοκόλλων (π.χ. TCP/IP) πάνω από το κανάλι DVB. Τα πακέτα πληροφορίας ενσωματώνονται σε data sections, όπως αυτά ορίζονται στο πρότυπο MPEG-2 DSM-CC. Με τη σειρά τους, τα data sections είναι πλήρως συμβατά με τη δομή private\_section που ορίζεται στο MPEG-2 Systems (ISO/IEC 13818-1) και ενσωματώνονται απευθείας στο Ρεύμα Μεταφοράς όπως ορίζει η παραπάνω προδιαγραφή. Από την πλευρά του χρήστη, τα πακέτα που προορίζονται γι' αυτόν διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα δεδομένα με κριτήριο το αναγνωριστικό πακέτου (PID), στη συνέχεια το πεδίο MAC (που αποθηκεύεται στα αντίστοιχα πεδία του section header, όπως δείχνει το σχήμα) και τέλος τη διεύθυνση IP προορισμού, αν πρόκειται για πακέτα IP. Η τεχνική του Multiprotocol encapsulation είναι αυτή που χρησιμοποιείται στη μελέτη αυτή και η οποία εξάλλου αποτελεί και τον πιο διαδεδομένο τρόπο ενθυλάκωσης, παρέχοντας μεταξύ των άλλων και δυνατότητες κρυπτογράφησης. Είναι βέβαια γεγονός ότι η MPE εισάγει λόγω της ενθυλάκωσης πολλαπλών επιπέδων αρκετή πλεονάζουσα πληροφορία (overhead) για πλαισίωση και σηματοδότηση με αποτέλεσμα να μην προσφέρει τη βέλτιστη λύση για την περίπτωση του IP. Για τον λόγο αυτό βρίσκεται υπό εξέταση μια πιο «ελαφριά» έκδοση, με το όνομα ULE (Ultra-Light Encapsulation) που είναι ειδικά σχεδιασμένη για δεδομένα IP. Η ULE αναμένεται να προτυποποιηθεί στα επόμενα δύο χρόνια.



**Σχήμα 2.9 Ενσωμάτωση της MAC address στο section header**

- Περιοδική εκπομπή δεδομένων (data carousel). Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για μετάδοση δεδομένων χωρίς διαδραστικότητα (interaction). Τα

προς αποστολή δεδομένα - που αφορούν κυρίως μεγάλες ομάδες χρηστών παρά μεμονωμένους χρήστες - οργανώνονται σε ομάδες (groups) και εκπέμπονται κυκλικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να είναι προσπελάσιμα από τον καθένα.

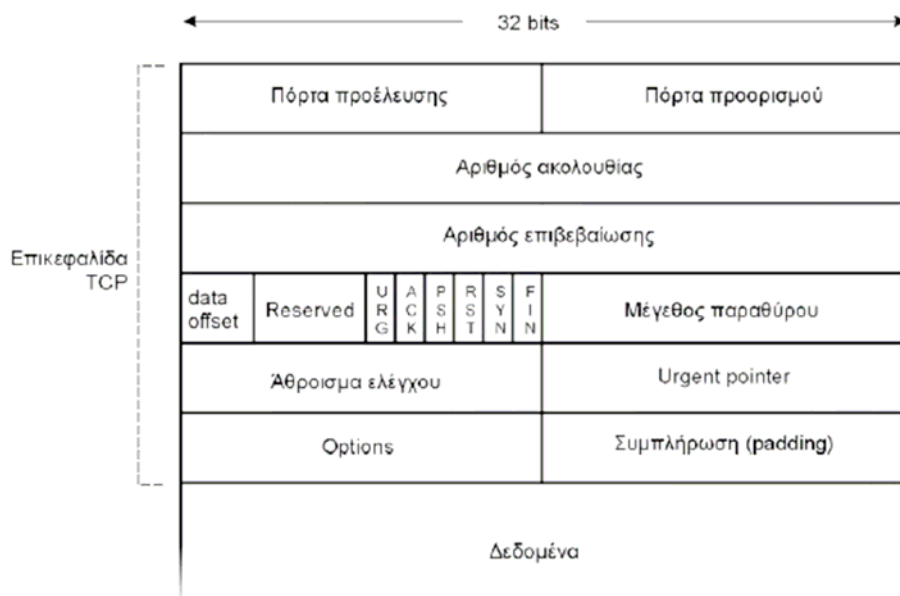
- Περιοδική εκπομπή Αντικειμένων (Object carousel). Η περιοδική εκπομπή αντικειμένων χρησιμοποιείται για να μεταφέρει δομημένα αντικείμενα από τον παροχέα ευρυεκπομπής στο δέκτη, χρησιμοποιώντας αντικείμενα καταλόγων, αρχείων, ή συρμών. Η περιοδική εκπομπή αντικειμένων προσφέρει στο χρήστη τον τρόπο να έχει πρόσβαση σε μια εφαρμογή στην οποία δεν απαιτείται κανάλι επιστροφής. [2], [4], [10], [20]

## 2.4. Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων

### 2.4.1. Το πρωτόκολλο TCP και η σημασία του

Το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP (Transmission Control Protocol) είναι σήμερα το πιο δημοφιλές ίσως πρότυπο στις επικοινωνίες δεδομένων μέσω του Internet και όχι μόνο. Σχεδιάστηκε για πρώτη φορά το 1981 για χρήση στο αμερικανικό DARPA για να εξασφαλίσει αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών. Από τότε, έχει γίνει αντικείμενο πάμπολλων ερευνητικών προσπαθειών και έχει υποστεί πολλές προσθήκες και βελτιώσεις. Πολλές από τις βελτιώσεις αυτές θα υιοθετηθούν στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής για να μεγιστοποιηθεί η επίδοση του TCP σε ασύμμετρα δίκτυα DVB-T.

Το TCP παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με σύνδεση (connection-oriented) και έλεγχο ροής (flow control) χρησιμοποιώντας το IP ως επίπεδο δικτύου. Οργανώνει τα δεδομένα σε τμήματα (segments) με επικεφαλίδα, της οποίας τα πεδία διευκολύνουν τις λειτουργίες ελέγχου ροής και αποφυγής λαθών, όπως φαίνεται και από το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 2.10 Η επικεφαλίδα TCP

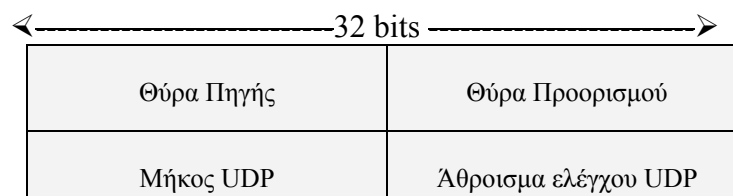
Πολλές νοητές παράλληλες συνδέσεις μπορούν να εγκατασταθούν στην ίδια φυσική διαδρομή IP χάρη στις νοητές «πόρτες» (ports) των οποίων οι αριθμοί δηλώνονται στην αρχή της κεφαλίδας. Για ανίχνευση χαμένων πακέτων, το κάθε τμήμα αριθμείται με έναν συγκεκριμένο αριθμό ακολουθίας (sequence number) τον οποίο κάθε φορά ο αποστολέας αυξάνει κατά τον αριθμό των bytes που έχουν ως τώρα σταλεί επιτυχώς. Ο παραλήπτης απαντά δηλώνοντας στο πεδίο του αριθμού επιβεβαίωσης (acknowledgment number) τον αριθμό ακολουθίας του επόμενου τμήματος που αναμένει. Τμήματα για τα οποία η επιβεβαίωση καθυστερεί περισσότερο από ένα χρονικό διάστημα RTO (Retransmission TimeOut) επανεκπέμπονται.

Προκειμένου να μην καθυστερείται η ανταλλαγή δεδομένων από τη φυσική καθυστέρηση του καναλιού, το TCP επιχειρεί να στείλει έναν συγκεκριμένο όγκο δεδομένων χωρίς να περιμένει την επιβεβαίωση για το πρώτο τμήμα. Ο όγκος αυτός των δεδομένων που ανα πάσα στιγμή βρίσκονται ανεπιβεβαίωτα στο δίκτυο λέγεται παράθυρο (TCP window) ή παράθυρο συμφόρησης (congestion window). Το παράθυρο συμφόρησης αρχίζει με την τιμή του ενός τμήματος και αυξάνεται με κάθε επιτυχή επιβεβαίωση, αυξάνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης. Η αύξηση είναι αρχικά εκθετική (διαδικασία αργής εκκίνησης - «slow start») και αργότερα γραμμική (διαδικασία αποφυγής συμφόρησης - «congestion avoidance»). Το παράθυρο που χρησιμοποιεί ο αποστολέας δεν μπορεί να υπερβεί την ονομαστική τιμή (receiver advertised window) που δηλώνει ο παραλήπτης σε κάθε επιβεβαίωση χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο πεδίο της επικεφαλίδας. Σε περίπτωση απώλειας πακέτου, ο αποστολέας μειώνει το παράθυρο συμφόρησης στο ήμισυ της προηγούμενης τιμής του, με αποτέλεσμα να μειώνεται αντίστοιχα και η ταχύτητα αποστολής.

Είναι γεγονός ότι το TCP είναι το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο στις διαδικτυακές συνδέσεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 95% των bytes, το 90% των πακέτων και το 75% των συνδέσεων στο Internet σήμερα χρησιμοποιούν το TCP. [2], [6], [7], [20]

#### 2.4.2. Το πρωτόκολλο UDP και η σημασία του

Η στοίβα πρωτοκόλλων του Internet υποστηρίζει επίσης ένα πρωτόκολλο μεταφοράς πληροφοριών χωρίς σύνδεση, το Πρωτόκολλο Δεδομενογραφημάτων Χρήστη UDP (User Datagram Protocol). Το UDP προσφέρει έναν τρόπο για να στέλνουν οι εφαρμογές ενθυλακωμένα ακατέργαστα δεδομενογραφήματα IP χωρίς να πρέπει να εγκαταστήσουν μια σύνδεση. Πολλές εφαρμογές πελάτη-εξυπηρετητή, που έχουν μία αίτηση και μία απόκριση, προτιμούν να χρησιμοποιήσουν το UDP παρά να μπουν στον κόπο να εγκαταστήσουν και κατόπιν να απολύσουν μια σύνδεση.



**Σχήμα 2.11 Η επικεφαλίδα UDP**

Ένα τεμάχιο UDP αποτελείται από μια επικεφαλίδα των 8 byte (64 bit), ακολουθούμενη από δεδομένα. Η επικεφαλίδα φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Οι δύο

θύρες εξυπηρετούν την ίδια λειτουργία όπως και στο TCP: την αναγνώριση των ακραίων σημείων στα μηχανήματα πηγής και προορισμού. Το πεδίο Μήκος UDP (UDP length) αφορά στην επικεφαλίδα 8 byte και στα δεδομένα. Το πεδίο Άθροισμα ελέγχου UDP (UDP checksum) περιλαμβάνει την ίδια ψευδο-εποκεφαλίδα με το TCP, την επικεφαλίδα UDP και τα δεδομένα UDP, συμπληρωμένα ώστε να σχηματίζουν έναν άρτιο αριθμό, αν χρειασθεί. Το Άθροισμα ελέγχου UDP είναι προαιρετικό και καταχωρείται ως 0 όταν δεν υπολογίζεται. (Το πραγματικά υπολογισμένο 0 καταχωρείται μ' όλα τα bit ίσα με 1, που είναι το ίδιο σε συμπλήρωμα ως προς 1). Το να μην χρησιμοποιηθεί είναι ανόητο, εκτός εάν η ποιότητα των δεδομένων δεν έχει μεγάλη σημασία (π.χ. η ψηφιοποιημένη φωνή).

Το UDP είναι ένα μη αξιόπιστο πρωτόκολλο, για εφαρμογές που δεν θέλουν τον έλεγχο της ακολουθίας ή της ροής του TCP και επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν δικό τους. Επίσης χρησιμοποιείται ευρέως σε γρήγορες εφαρμογές και ερωταποκρίσεις, τύπου πελάτη-εξυπηρετητή, όπου η άμεση παράδοση είναι σπουδαιότερη από τη σωστή παράδοση, όπως π.χ. είναι η μετάδοση φωνής ή βίντεο. [6], [8]

## 2.5. Τεχνική υλοποίησης καναλιού εκπομπής

### 2.5.1. Χρήση του φάσματος συχνοτήτων UHF

Η υλοποίηση του καναλιού εκπομπής μιας διαδραστικής υπηρεσίας πραγματοποιείται με την χρήση της UHF (κανάλι 29) κατανομής του φάσματος συχνοτήτων. Στην περίπτωση αυτή όλο το σύστημα βρίσκεται υπό τον έλεγχο του φορέα ευρυεκπομπής, ενώ είναι δυνατή η υποστήριξη σταθερών και κινητών χρηστών.

Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου περιβάλλοντος συνένωσης, υλοποιώντας στην πράξη τις δυνατότητες του Digital Switchover καθιστά δυνατή:

- την παροχή ετερογενών υπηρεσιών, καθεμία εκ των οποίων παρέχεται με διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης, όπως ψηφιακή τηλεόραση (MPEG2), ψηφιακή δικτυακή τηλεόραση (IP TV), πρόσβαση στο Διαδίκτυο, μεταφορά και λήψη e-mail και πολυμεσικών υπηρεσιών είτε κατ' απαίτηση είτε σε μορφή πολυεκπομπής (multicast)
- τη δημιουργία μιας υποδομής ευρυζωνικής πρόσβασης με δυνατότητες υποστήριξης ετερογενών υπηρεσιών, ικανής να διασυνδέει IP κόμβους στην πόλη του Ηρακλείου (και/ή μεμονωμένους χρήστες), καθώς και δυνατότητες υποστήριξης υπηρεσιών ευρυεκπομπής (ψηφιακών τηλεοπτικών προγραμμάτων)
- την ανάπτυξη μιας υποδομής την οποία συνεκμεταλλεύονται broadcasters και τηλεπικοινωνιακοί φορείς 3ης και 4ης γενιάς, οι οποίοι έχουν ξεχωριστούς επιχειρηματικούς στόχους και διαφορετικούς χρήστες/πελάτες
- την υλοποίηση του ενεργού χρήστη (MPEG-21 χρήστης), ο οποίος «φιλοξενείται» από ένα δίκτυο πρόσβασης που του δίνει τη δυνατότητα όχι μόνο να λαμβάνει αλλά και να διανέμει τις δικές του υπηρεσίες/εφαρμογές σε ολόκληρη την πόλη του Ηρακλείου
- τη δυνατότητα δημιουργίας σημείων ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης (WLAN Hot-Spot) το περιεχόμενο των οποίων περέχεται μέσω του καναλιού τηλεοπτικής εκπομπής
- την παροχή των βασικών υπηρεσιών της Κοινωνίας της Πληροφορίας

(Internet και e-mail) σε παθητικούς χρήστες, οι οποίοι έχουν πρόσβαση στην προαναφερθείσα υποδομή διαμέσου μιας κοινής τηλεφωνικής σύνδεσης (PSTN)

Όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών, σε μια τέτοια αρχιτεκτονική, προστίθενται επιπλέον κελιά, χωρίς το γεγονός αυτό να επηρεάζει τους ήδη υπάρχοντες χρήστες. Σε ένα τέτοιο ιδιαίτερα ευέλικτο σύστημα, κελιά αρχικού μεγέθους 75 χλμ. θα μπορούσαν βαθμιαία να αντικατασταθούν από μικρότερα κελιά μήκους κάτω του 1.15 χλμ. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, έχοντας τον περιορισμό μόνο τα γειτονικά κελιά να εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες. [9]

## **2.6. Τεχνικές υλοποίησης καναλιού επιστροφής**

Η υλοποίηση μιας πραγματικά διαδραστικής υπηρεσίας είναι αρκετά σύνθετη. Δεδομένου ότι απαιτείται να προστεθούν επιπλέον χαρακτηριστικά τόσο στον εξοπλισμό των χρηστών όσο και σε αυτόν των φορέων ευρυεκπομπής. Προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη τεχνολογία για την υλοποίηση του καναλιού επιστροφής παρέχονται διάφορες εναλλακτικές τεχνολογίες, οι οποίες λαμβάνουν υπ' όψιν ένα πλήθος παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν κυρίως στις απαιτούμενες δυνατότητες της τεχνολογίας του καναλιού επιστροφής (υποστήριξη κινητής λήψης, διαθέσιμο εύρος ζώνης κ.ά.), στις δαπάνες χρήσης του καναλιού, στο κόστος εξοπλισμού από την πλευρά του χρήστη και στην υποδομή του περιβάλλοντος ευρυεκπομπής, δεδομένου ότι η χρήση της ήδη υπάρχουσας υποδομής καθιστά την υλοποίηση του καναλιού επιστροφής πιο εύκολη και συμφέρουσα. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα χρηστών, όπου πιθανόν να υπάρχει ανάγκη για επιπλέον τοπικά σημεία διανομής γεγονός το οποίο συνεπάγεται αύξηση των απαιτήσεων και του κόστους υλοποίησης. Προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στην υλοποίηση του καναλιού επιστροφής μιας διαδραστικής υπηρεσίας, έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών.

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται περιγραφή κάποιων αντιπροσωπευτικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης μετάδοσης μέσω των WLAN συχνοτήτων, καθώς επίσης και της προτεινόμενης, από την συγκεκριμένη πτυχιακή, ενσύρματης τεχνολογίας του PSTN.

### **2.6.1. PSTN (Public Switched Telephone Network)**

Η υλοποίηση του καναλιού επιστροφής μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής (Public Switched Telephone Network – PSTN) παρέχει μια οικονομικά αλλά και τεχνικά προσιτή λύση για οικιακούς κυρίως χρήστες. Μία κοινή dial-up σύνδεση μπορεί να παρουσιάσει αύξηση ταχύτητας μέχρι και 40 φορές, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη εξεζητημένων λύσεων που είναι μεταξύ άλλων και δύσκολοι στην υλοποίηση (π.χ. δορυφορική πρόσβαση βασισμένη στο DVB-S).

Ο ETSI έχει τυποποιήσει τη χρήση τηλεφωνικών διαποδιαμορφωτών (modems) για την εφαρμογή υπηρεσιών. Η συγκεκριμένη υλοποίηση απαιτεί ελάχιστο εξοπλισμό από την πλευρά του χρήστη και του παροχέα της υπηρεσίας, ενώ το κόστος που απαιτείται είναι πολύ περιορισμένο εφόσον οι τηλεφωνικές γραμμές είναι πλέον εγκατεστημένες παντού. Το κανάλι επιστροφής έχει αρκετά μεγάλο εύρος

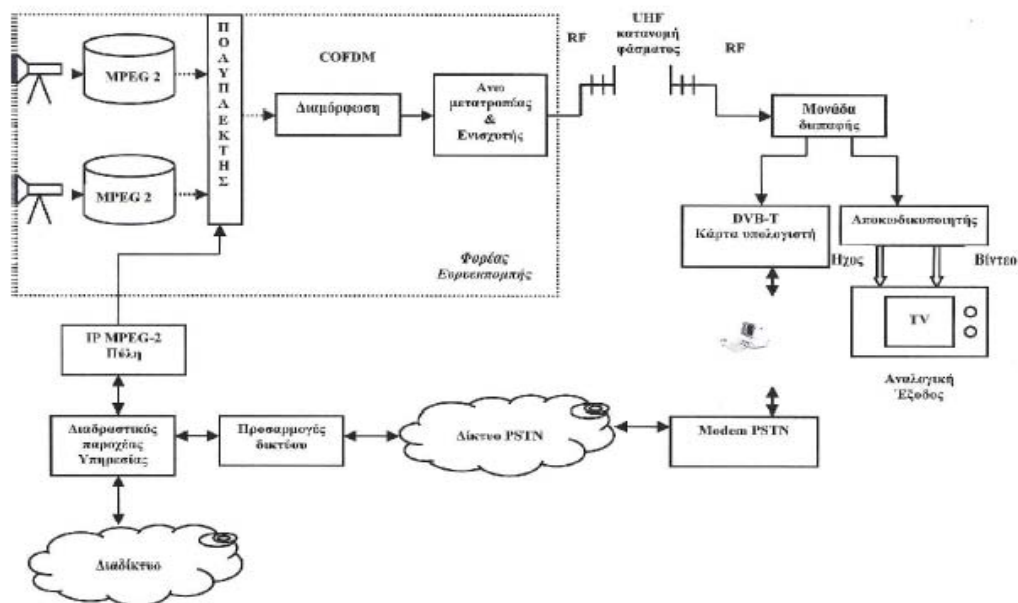


ζώνης (όσον αφορά τον ρυθμό επιβεβαιώσεων στο κανάλι ανόδου) και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να επιτύχει κανείς κάνοντας χρήση αυτού είναι της τάξης των 56 kbit/sec. Το σύστημα που προκύπτει είναι ασύμμετρο ως προς την υφή των καναλιών που το συνθέτουν, εφόσον το κανάλι προώθησης είναι ασύρματο σε αντίθεση με το κανάλι επιστροφής. Η έννοια της συμμετρίας και της ασυμμετρίας στα δίκτυα επικοινωνιών επεκτείνεται και όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης των δυο καναλιών, οπότε και σε αυτήν την περίπτωση το περιγραφόμενο δίκτυο είναι ασύμμετρο.

Το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων PSTN χρησιμοποιείται για την ταχύτατη μεταφορά δεδομένων. Τα δεδομένα διασπώνται σε πακέτα και αποστέλλονται μέσω σταθμών του δικτύου. Η συνοχή των πακέτων αυτών δεν είναι απαραίτητη, καθώς η διαδρομή που θα ακολουθήσουν εξαρτάται από το φόρτο του δικτύου. Όταν φτάσουν στον προορισμό τους, ενοποιούνται ανακτώντας την αρχική μορφή τους.

Η διαμόρφωση όμως ενός τέτοιου καναλιού αμφίδρομης επικοινωνίας παρουσιάζει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, συχνά παρουσιάζονται δυσκολίες κατά την πραγματοποίηση φυσικής σύνδεσης μεταξύ του αποκωδικοποιητή και της τηλεφωνικής γραμμής, ενώ απαιτείται η παρουσία του χρήστη κοντά σε σημείο πρόσβασης (access point) του τηλεφωνικού δικτύου για την επίτευξη της αμφίδρομης επικοινωνίας. Ένα πρόσθετο μειονέκτημα παρουσιάζεται λόγω της τηλεφωνικής χρέωσης του χρήστη της υπηρεσίας και της κατάληψης της τηλεφωνικής γραμμής αυτού, το χρόνο που κάνει χρήση του καναλιού. Σημαντική τέλος μειονεξία αφορά στο γεγονός ότι ο φορέας που επωφελείται από τα οικονομικά κέρδη της διαδραστικής επικοινωνίας είναι ο οργανισμός που έχει αναλάβει τις τηλεφωνικές συνδέσεις και όχι ο αντίστοιχος φορέας ευρυεκπομπής. [2], [11], [20]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα διαδραστικού συστήματος DVB-Terrestrial το οποίο κάνει χρήση της τεχνολογίας PSTN στο κανάλι επιστροφής επιδुकνείται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 2.12 Διαδραστικό σύστημα DVB-Terrestrial το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνολογία PSTN στο κανάλι επιστροφής**

## 2.6.2. Wireless LAN

Η επόμενη ασύρματη τεχνολογία, που θα μελετηθεί για την υλοποίηση του καναλιού επιστροφής προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια πλήρως διαδραστική υπηρεσία είναι η τεχνολογία του 802.11 το οποίο αποτελεί το όνομα του project της ομάδας εργασίας του IEEE για τα ασύρματα δίκτυα. Το IEEE 802.11 υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 2Mbps, ενώ η έκδοση IEEE 802.11b (γνωστή ως 802.11 High Rate ή Wi-Fi) υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι και 11Mbps. Στην οικογένεια των προτύπων IEEE 802.11xx ανήκουν δύο ακόμα πρότυπα τα IEEE 802.11a και IEEE 802.11g (54Mbps). Τμήμα του 802.11b αποτελεί το WEP (Wired Equivalent Privacy, μυστικότητα αντίστοιχη με τα καλωδιωμένα δίκτυα), το οποίο κάνει χρήση του αλγορίθμου RC4 προσφέροντας δυνατότητα εξουσιοδότησης κάθε κόμβου και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Οι προδιαγραφές για τη ραδιομετάδοση καθορίζουν λειτουργία μέσα στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific, Medical). Τόσο το IEEE 802.11 όσο και το IEEE 802.11b χρησιμοποιούν ραδιοκυματικές τεχνικές ευρέως φάσματος (spread spectrum), οι οποίες αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος, προωθούν το ρυθμό απόδοσης του δικτύου και περιορίζουν τις παρεμβολές. Η χρήση του προτύπου 802.11 ή του 802.11b για την υλοποίηση μιας αμφίδρομης επικοινωνίας καθιστά το χρήστη ικανό να έχει ευρυζωνική πρόσβαση στις διαδραστικές υπηρεσίες που επιθυμεί, ακόμα και όταν βρίσκεται σε κίνηση. Επιπροσθέτως, τα χαρακτηριστικά (υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και χρήση τεχνικών spread spectrum) των προτύπων 802.11 και 802.11b δημιουργούν ένα δίκτυο στο οποίο το κανάλι επιστροφής έχει συγκρίσιμη απόδοση με το ευρυζωνικό κανάλι προώθησης. [2], [12], [20]

## 2.7. Τεχνική υλοποίησης δικτύου πρόσβασης

### 2.7.1. Τεχνολογία ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

Το DSL (Digital Subscriber Line) είναι μια νέα τεχνολογία που συνδέει το χρήστη με το κεντρικό γραφείο της εταιρείας παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών και επιτρέπει υψηλής ταχύτητας διασύνδεση με το Internet, χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή των χάλκινων τηλεφωνικών γραμμών. Στην οικογένεια των τεχνολογιών, μία βασική κατηγορία με κωδικό xDSL είναι το ADSL.

Το ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ονομάζεται ασύμμετρο, γιατί η ταχύτητα με την οποία λαμβάνουμε (κατεβάζουμε) δεδομένα είναι μεγαλύτερη από αυτή με την οποία στέλνουμε (ανεβάζουμε). Η τεχνολογία αυτή είναι ελκυστική για σπίτια ή μικρές επιχειρήσεις, όπου η ταχύτητα αποστολής δεν έχει και τόσο μεγάλη σημασία. Ενδεικτικές τιμές για την ταχύτητα λήψης είναι 1.544Mbps, ενώ για την ταχύτητα αποστολής 16Kbps.

Μια θέση κλειδί σε ολόκληρη την αρχιτεκτονική του δικτύου ADSL καταλαμβάνει η συσκευή DSLAM. Όλη η κίνηση μεταξύ χρηστών και εξυπηρετητών, του δικτύου, διεκπεραιώνεται μέσω του DSLAM. Το DSLAM εκτελεί λειτουργίες ολοκλήρωσης της ADSL κίνησης ανεξάρτητα από τον τύπο δεδομένων που μεταφέρει, είτε πρόκειται για δεδομένα είτε για φωνή.

Τέλος η τεχνολογία DSL απαιτεί ο χρήστης να βρίσκεται μέσα σε μια ζώνη ακτίνας 5-6 χιλιομέτρων. [13]

### **3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΜΦΙΔΡΟΜΩΝ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ**

#### **Εισαγωγή**

Μια πλατφόρμα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι δυνατόν να παρέχει εκτός από ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα (MPEG-2) και υπηρεσίες IP. Το ενδογενές αυτό χαρακτηριστικό σε συνδυασμό με την ύπαρξη καναλιών επιστροφής (Reverse Path), επιτρέπει την υλοποίηση ευρυζωνικών υποδομών για την παροχή αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση ενός προτεινόμενου δικτύου στο κανάλι επιστροφής του οποίου, υλοποιείται η τεχνολογία PSTN. Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα DVB-T της συγκεκριμένης πτυχιακής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο περιοχές:

- Διαδραστική Εκπομπή – Interactive Broadcasting. Περιλαμβάνει πραγματικά αμφίδρομες υπηρεσίες που συνδέονται ή είναι τελείως ανεξάρτητες με άλλες, broadcast υπηρεσίες. Απαιτείται κανάλι επιστροφής.
- Πρόσβαση στο Internet – Internet Access. Αυτή η περιοχή εστιάζεται στην παροχή πρόσβασης στο Internet μέσω μιας πλατφόρμας DVB.

#### **3.1. Μελέτη δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN**

##### **Γενικά**

Όπως έχει τυποποιηθεί, ένα αμφίδρομο δίκτυο DVB αποτελείται από δύο διακριτά μέρη: το Κανάλι Εκπομπής (Broadcast Channel) και το Κανάλι Επιστροφής ή Αμφιδρομότητας (Interaction Channel). Το γενικό αυτό μοντέλο μπορεί να περιλάβει την περίπτωση του δικτύου παροχής αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών, οπότε οι κινήσεις TCP/IP ή UDP/IP που μεταφέρονται από το κανάλι εκπομπής ενθυλακώνονται σε ένα MPEG-2 Κανάλι Μεταφοράς με την τεχνική MPE (Multi Protocol Encapsulation). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από μια μονάδα που δρα ως “Πύλη IP/DVB” (IP-to-DVB Gateway). Η έξοδος της Πύλης σε μορφή σήματος βασικής ζώνης οδηγείται στον διαμορφωτή COFDM που παράγει και το προς εκπομπή RF σήμα σύμφωνα με την προδιαγραφή ETS 300 744.

Τα εκπεμπόμενα δεδομένα λαμβάνονται στη μεριά του ενδιάμεσου κόμβου διανομής (CMN) και προωθούνται στον τελικό χρήστη. Εκείνος με τη σειρά του στέλνει την δικτυακή του κίνηση πίσω, προς τον CMN. Ο ενδιάμεσος κόμβος διανομής αποστέλλει δεδομένα μέσω του καναλιού επιστροφής.

Το δίκτυο του παροχέα είναι επίσης εξοπλισμένο με μία διεπαφή για το δίκτυο επιστροφής και η τοπολογία κορμού του μαζί με τις μονάδες μεταγωγής IP πακέτων (routers, switches κτλ.) πρέπει να έχουν ρυθμιστεί ούτως ώστε να εξασφαλίζουν ασύμμετρη ροή πακέτων.

##### **3.1.1. Χαρακτηριστικά ηλεκτρονικών υπολογιστών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του δικτύου**

Στην εργαστηριακή υλοποίηση που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή εργασία, ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη περιλαμβάνει ένα laptop Pentium 4/ 3.20 GHz με

704MB RAM βασισμένο στα Windows XP Professional. Ο ενδιάμεσος κόμβος διανομής που επικοινωνεί με τον Server, στη unicast κίνηση, είναι ένας υπολογιστής AMD 64bit / 2GHz με μνήμη RAM 512MB και ο ενδιάμεσος κόμβος διανομής που επικοινωνεί με τον Client και στα δύο είδη κινήσεων, είναι ένας υπολογιστής Pentium 4/ 3GHz με 1GB RAM. Στο δίκτυο του παροχέα, στη unicast κίνηση, ένας Linux server-laptop (Gentoo σε έναν AMD Turion 64bit / 1.8GHz με 512MB RAM ) πραγματοποιεί την αποστολή των δεδομένων, ενώ στη multicast κίνηση είναι ένας υπολογιστής AMD 64bit / 2GHz με μνήμη RAM 512MB.

### 3.1.2. Ρυθμίσεις της πλατφόρμας DVB-T

Ο πομπός DVB-T (COFDM) ρυθμίστηκε σε διαμόρφωση 16QAM, ρυθμό κώδικα 7/8 και διάστημα φύλαξης (guard interval) ίσο με το 1/32 του μήκους συμβόλου. Οι παράμετροι αυτές αντιστοιχούν σε ωφέλιμο ρυθμό δεδομένων ίσο με 21.11Mbps. Επίσης ως φέροντα σήματα δηλώνονται 8K . Η συχνότητα του σήματος εκπομπής είναι στα 538MHz (κανάλι 29) με επίπεδο δύναμης (power level) 0dBm και το συγκεκριμένο κανάλι έχει εύρος 8MHz.

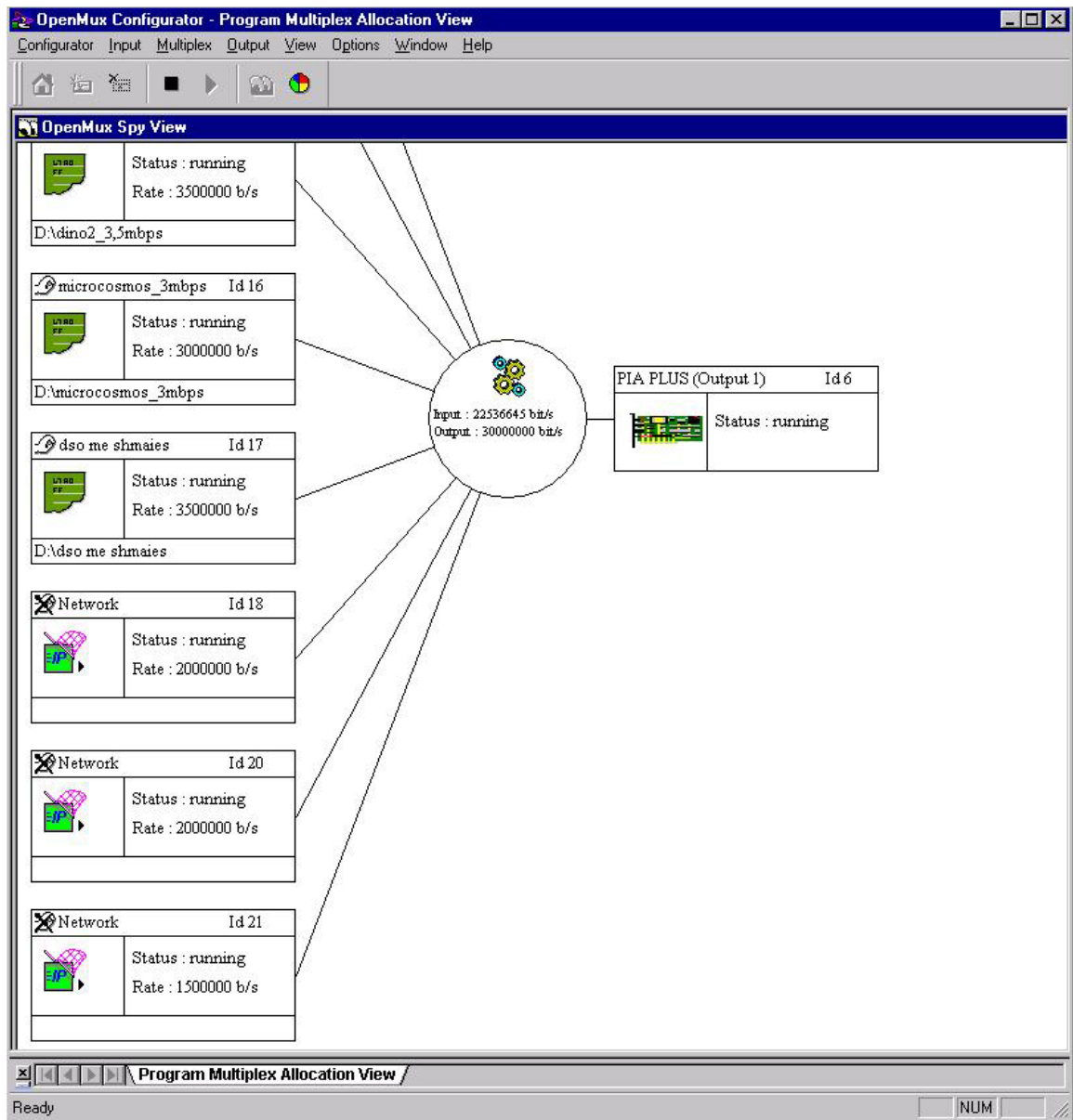


Σχήμα 3.1 Ο διαμορφωτής COFDM που παρουσιάζει τα στοιχεία της διαμόρφωσης

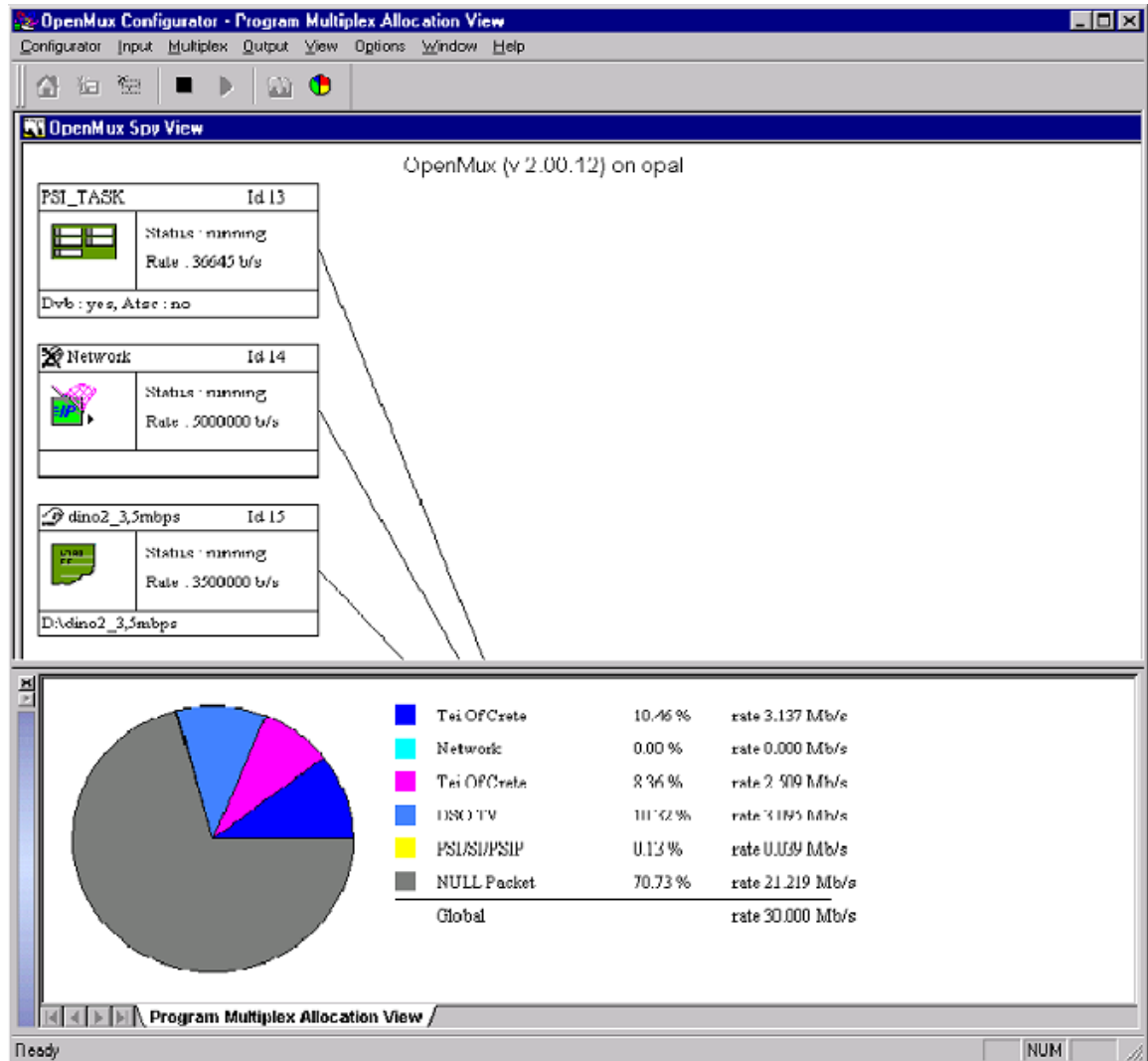


**Σχήμα 3.2 Ο διαμορφωτής COFDM που παρέχει το DVB-T stream στο κανάλι 29 σε επίπεδο δύναμης 0dBm**

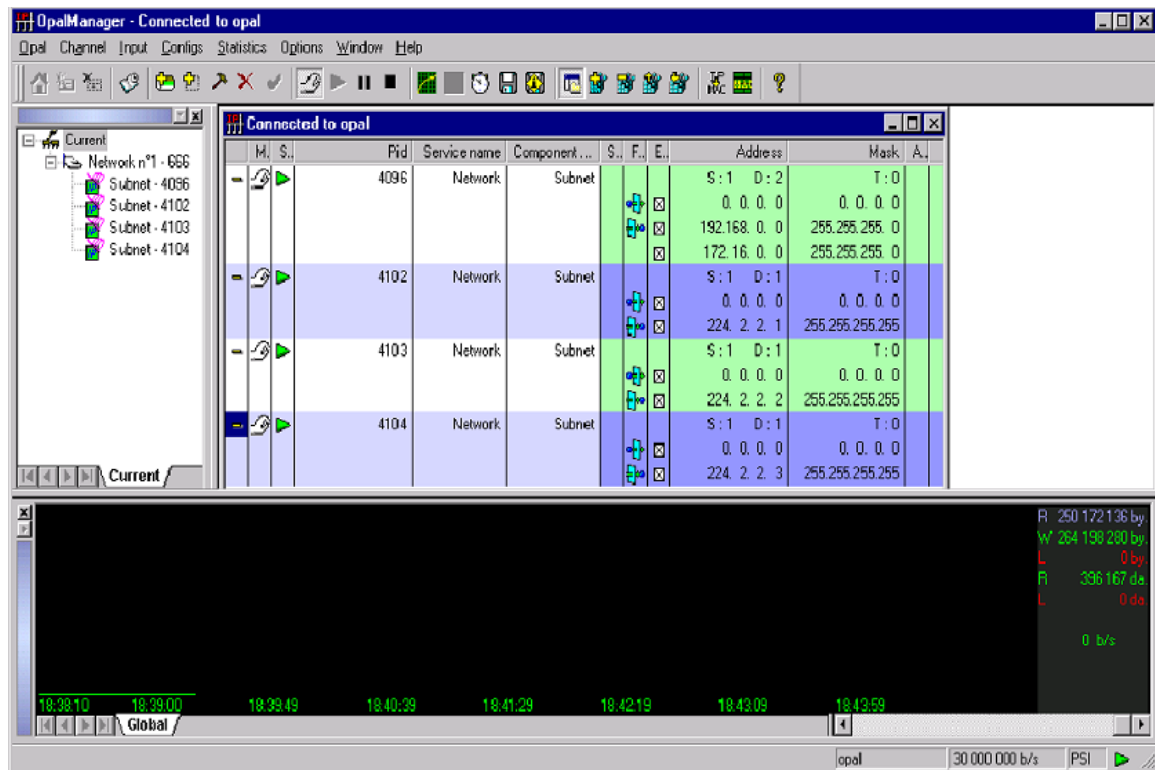
Στον συμπιεστή και πολυπλέκτη (IP encapsulator and remultiplexer - OPAL) ρυθμίζονται τρία ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα των 3.5, 3.5 και 3Mbps αντίστοιχα, με συνολικό εύρος 10Mbps. Επίσης καθορίζεται ένα πρόγραμμα υπηρεσιών διαδικτύου (internet) των 5Mbps και τρία προγράμματα υπηρεσιών IPTV των 2, 2 και 1.5Mbps αντίστοιχα, με συνολικό εύρος 5.5Mbps. Άρα το τελικό απαιτούμενο εύρος του OPAL είναι 20.5Mbps (< 21.11 Mbps).



Σχήμα 3.3 Ρυθμίσεις προγραμμάτων στον OPAL (καθορισμός εισόδων - εξόδου) (1)



Σχήμα 3.4 Ρυθμίσεις προγραμμάτων στον OPAL (καθορισμός εισόδων - εξόδου) (2)



Σχήμα 3.5 Ρυθμίσεις στον OPAL για την δικτυακή κίνηση

### 3.1.3. Υλοποίηση με PSTN Κανάλι Επιστροφής

Η υλοποίηση του καναλιού επιστροφής μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής (Public Switched Telephone Network – PSTN) εξυπηρετεί κατά κανόνα τους οικιακούς χρήστες, διότι παρέχονται προσιτές λύσεις επικοινωνίας όπως περιγράφηκαν και στην παράγραφο 2.6.1.

Ως Μονάδα Διεπαφής χρησιμοποιείται ένα απλό PSTN modem και τα δεδομένα που προορίζονται για τον παροχέα διοχετεύονται μέσω του νοητού κυκλώματος στον Προσαρμογέα Δικτύου, που στην περίπτωση αυτή είναι ένας PSTN dial-up server.

Όσον αφορά τη διεθυνσιοδότηση, ο PSTN dial-up server έχει IP Διεύθυνση την 10.0.67.85.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μετά τον Προσαρμογέα Δικτύου ακολουθεί ένας δρομολογητής cisco router που έχει τον ρόλο του firewall, καθώς εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρχει ροή δεδομένων προς το χρήστη μέσω του καναλιού επιστροφής.

Σε περίπτωση που το δίκτυο συνδέεται στο Internet για παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών, χρησιμοποιείται ένας διακομιστής μεσολάβησης (proxy server) που αναλαμβάνει και τη μετατροπή των ιδιωτικών IP διευθύνσεων σε δημόσιες (public) με έναν μηχανισμό μετάφρασης διευθύνσεων (Network Address Translation – NAT).

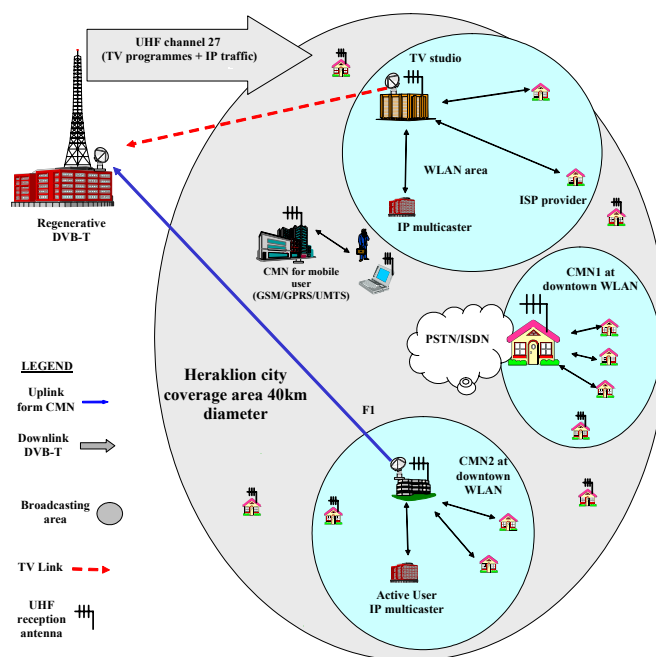
## 3.2. Το δίκτυο ATHENA

Λαμβάνοντας υπ' όψιν την τοπική και δικτυακή διάσταση της νέας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T), το Ευρωπαϊκό ερευνητικό έργο ATHENA IST FP6-



507312 ( [www.ist-athena.org](http://www.ist-athena.org) ) προτείνει την υιοθέτηση της ψηφιακής μετάβασης στα UHF αξιοποιώντας τη ροή του DVB-T σε αναγεννητικούς σχηματισμούς για την υλοποίηση μίας ευρυζωνικής υποδομής πρόσβασης και τη δημιουργία ενός κοινού καναλιού μεταφοράς κίνησης IP διαθέσιμο σε όλη την περιοχή ευρυεκπομπής. Η πρόσβαση σε αυτό το δίκτυο, επιτυγχάνεται με τη χρήση ενδιάμεσων κόμβων διανομής (Cell Main Nodes – CMN). Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ATHENA έχει υλοποιηθεί ένα κανάλι στα UHF στην πόλη του Ηρακλείου Κρήτης, το οποίο διασυνδέει μερικούς ενδιάμεσους κόμβους διανομής δίνοντας τη δυνατότητα στους τελικούς χρήστες όχι μόνο να λαμβάνουν αλλά και να διανέμουν υπηρεσίες πολυμέσων από το δικό τους χώρο με τη χρήση ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων (Σχήμα 3.6). Αυτό το κανάλι των UHF λειτουργεί σε εικοσιτετράωρη βάση και:

- εκπέμπει ένα μπουκέτο τριών τηλεοπτικών προγραμμάτων, ένα από αυτά είναι δορυφορικό τηλεοπτικό πρόγραμμα της ERTSat με αναμετάδοση σε πραγματικό χρόνο μετά από ειδική άδεια του Ελληνικού Εθνικού Ραδιοτηλεοπτικού Φορέα (ΕΡΤ), ένα άλλο είναι τηλεοπτικό πρόγραμμα από ένα τοπικό σταθμό και το τρίτο περιέχει τηλεοπτικό υλικό από συνεργάτη του προγράμματος ATHENA, ο οποίος είναι τηλεοπτικός φορέας στη Γερμανία και έχει τα Πνευματικά Δικαιώματα Ιδιοκτησίας.
- δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε βασικές υπηρεσίες της Κοινωνίας της Πληροφορίας (Διαδίκτυο και e-mail) που προσφέρονται από έναν ενεργό χρήστη (ISP στο Σχήμα 3.6).
- δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε υπηρεσίες βίντεο και ήχου κατά παραγγελία που παρέχονται από κάποιον ενεργό χρήστη (παροχέας υπηρεσιών VoD/AoD στο Σχήμα 3.6).
- παρέχει πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυεκπομπής διαδικτυακής τηλεόρασης και ραδιοφώνου που προέρχονται από άλλο ενεργό χρήστη (IP multicaster στο Σχήμα 3.6).



### Σχήμα 3.6 Γενική αρχιτεκτονική ATHENA IST FP6-507312

Η χρήση της αναγεννητικής διάταξης του DVB-T σε συνδιασμό με την ύπαρξη ενδιάμεσων κόμβων διανομής που κάνουν χρήση ευρυζωνικών ανερχόμενων ζεύξεων (uplink), συνθέτει μια υποδομή ευρυζωνικής πρόσβασης που μπορεί να εξυπηρετεί τους ενεργούς χρήστες/πολίτες και συγκεκριμένα αυτούς που διαχειρίζονται και διανέμουν τις υπηρεσίες τους σε ολόκληρο το δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση κάθε CMN αποτελεί τη φυσική διεπαφή στο δίκτυο κορμού Ethernet, του:

- Παροχέα υπηρεσιών/περιεχομένου: Οι χρήστες/πολίτες ενός τοπικού δικτύου (intranet) που έχουν πρόσβαση σε ολόκληρο το δίκτυο μέσω του αντίστοιχου CMN. Το intranet αυτό, μπορεί να καλύπτει κάποιο τμήμα της πόλης (π.χ. γειτονιά, προάστια, βιομηχανική ζώνη, κ.ά.) ή να αποτελεί το τοπικό δίκτυο μιας εταιρείας, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία IEEE 802.11x.
- Πελάτη ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας 3ης ή 4ης γενιάς (π.χ. UMTS) Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται συγκεκριμένη τεχνική μεταγωγής. Όταν ένας κινητός χρήστης κάνει αίτηση για IP δεδομένα, η αίτησή του προωθείται μέσω του UMTS δικτύου στον UMTS εξυπηρετητή, ο οποίος αναλαμβάνει τη δημιουργία των απαραίτητων απαντήσεων. Οι απαντήσεις προωθούνται στο αναγεννητικό DVB-T μέσω της ανερχόμενης ζεύξης. Τελικά τα δεδομένα των αιτούμενων υπηρεσιών που προορίζονται για τον κινούμενο χρήστη, μεταφέρονται μέσω της κοινής DVB-T κατερχόμενης ζεύξης (downlink) (η επικοινωνιακή διαδρομή από το RDVB-T μέχρι τον DVB-T δέκτη).
- Ξεχωριστούς ενεργούς χρήστες και ενδεχόμενους Service Providers που έχουν πρόσβαση στο δίκτυο κορμού μέσω του αντίστοιχου CMN προκειμένου να δημιουργούν, να διαχειρίζονται και να διανέμουν τα περιεχόμενα σε ολόκληρο το δίκτυο (επίσης μεμονωμένοι παθητικοί χρήστες οι οποίοι κάνουν αίτηση προκαθορισμένου περιεχομένου/υπηρεσιών διαμέσω κοινών γραμμών PSTN/ISDN/xDSL και λαμβάνουν το περιεχόμενο μέσω ενός UHF καναλιού)

Ο CMN γενικότερα παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός ευρυζωνικού δικτύου εφόσον βοηθάει στην αποκέντρωσή του. Έτσι, αντί να επικοινωνεί κάθε χρήστης ξεχωριστά, με τον Dial-up Server και να απαιτείται αρκετό υλικό για την υλοποίηση του δικτύου (πράγμα ακατόρθωτο), χρησιμοποιούνται ενδιάμεσοι κόμβοι διανομής που συγκεντρώνουν όλη τη δικτυακή κίνηση και την προωθούν προς την πλατφόρμα DVB-T. Αποτέλεσμα αυτής της αποκεντρωτικής αρχιτεκτονικής είναι η αποδοτικότερη λειτουργία του δικτύου. [14]

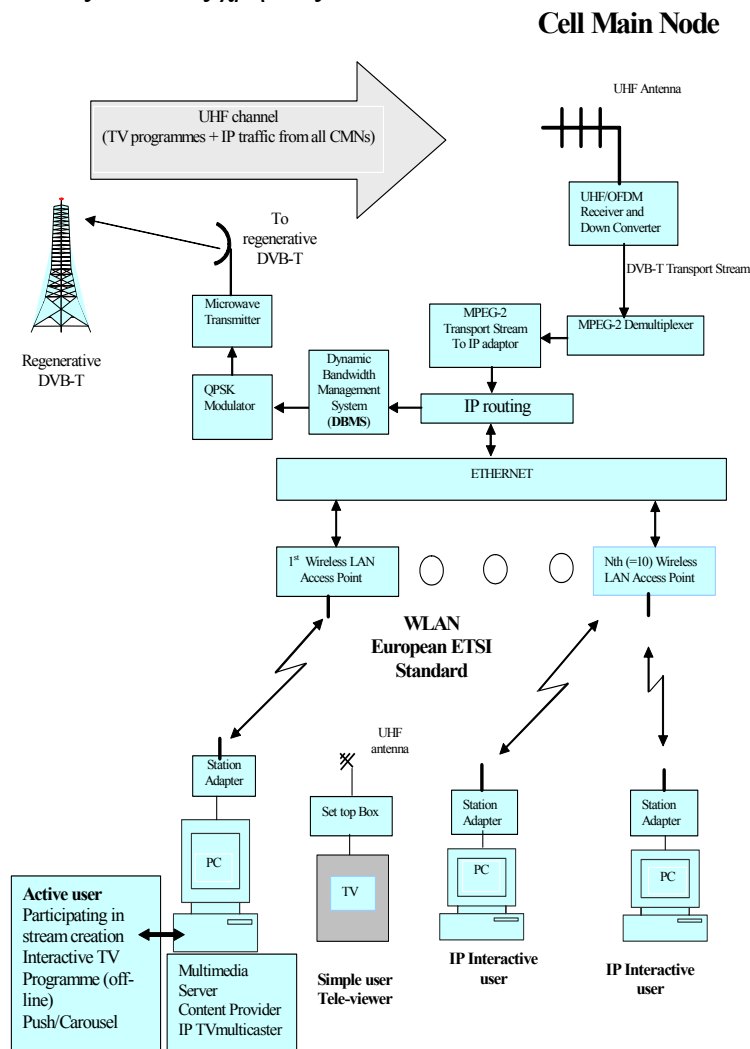
### 3.3. Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (Cell Main Node)

Κάθε CMN καθιστά δυνατή την πρόσβαση από έναν αριθμό τελικών χρηστών (οι οποίοι βρίσκονται γεωγραφικά κοντά στο CMN) σε IP υπηρεσίες που παρέχονται από το δίκτυο. Η επικοινωνία ανάμεσα στους χρήστες και στον αντίστοιχο κόμβο επιτυγχάνεται με την χρήση ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης, όπως WLAN. Κάθε κεντρικός κόμβος συγκεντρώνει όλη την IP κίνηση, η οποία προέρχεται από τους χρήστες του, και την προωθεί στο κεντρικό σημείο ευρυεκπομπής (regenerative DVB-T) με τη χρήση point-to-point ζεύξεων (uplinks). Η IP κίνηση που προέρχεται από κάθε CMN, λαμβάνεται από το κεντρικό σημείο ευρυεκπομπής, όπου φιλτράρεται, αναγεννάται και πολυπλέκεται με ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα (που προέρχονται από τους φορείς ευρυεκπομπής – TV Studio), σε μία κοινή ροή

μεταφοράς (Transport Stream), η οποία αποτελεί το τελικό μπουκέτο DVB-T (DVB-T bouquet). Η αναγεννημένη κίνηση εκπέμπεται σε ένα κανάλι UHF (π.χ. κανάλι 29 - Σχήμα 3.6), σύμφωνα με το πρότυπο DVB-T. Κάθε χρήστης λαμβάνει τις κατάλληλες IP απαντήσεις (replies) μέσω του αντίστοιχου CMN, ενώ λαμβάνει τα ψηφιακά τηλεοπτικά προγράμματα απευθείας μέσω του καναλιού UHF.

Η κυβελωτή προσέγγιση η οποία έχει υιοθετηθεί, χρησιμοποιεί το DVB-T κανάλι μεταφοράς ως δικτυακό κορμό backbone, ο οποίος διασυνδέει όλους τους κόμβους διανομής (CMN) που βρίσκονται μέσα στην περιοχή ευρυεκπομπής (broadcasting area). Έτσι, δημιουργείται ένας μοναδικός κορμός Ethernet, που είναι διαθέσιμος στους τελικούς χρήστες (μέσω του κατάλληλου κόμβου – CMN). Η IP κίνηση του δικτύου Ethernet παρέχεται μέσω του συρμού DVB-T.

Η γενική αρχιτεκτονική ενός CMN που χρησιμοποιεί την WLAN τεχνολογία για την υλοποίηση του καναλιού επιστροφής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.7. Το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου υλοποιεί το δίκτυο πρόσβασης σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11b, κάνοντας χρήση τεχνικών ευρέου φάσματος (Spread Spectrum). Ένα τέτοιο δίκτυο επιτρέπει την point-to-multipoint επικοινωνία ανάμεσα στο CMN και στους τελικούς χρήστες.



Σχήμα 3.7 Αρχιτεκτονική CMN

Οι ενεργοί και διαδραστικοί χρήστες δημιουργούν κίνηση IP, η οποία μεταφέρεται μέσω του αντίστοιχου κόμβου στο κεντρικό σημείο ευρυεκπομπής

(regenerative DVB-T) και από εκεί σε όλη την πόλη μέσω του καναλιού των UHF.  
[15]

### 3.3.1. Ανάλυση Ενδιάμεσου Κόμβου Διανομής Απαιτήσεις Υλικού (Hardware Requirements)

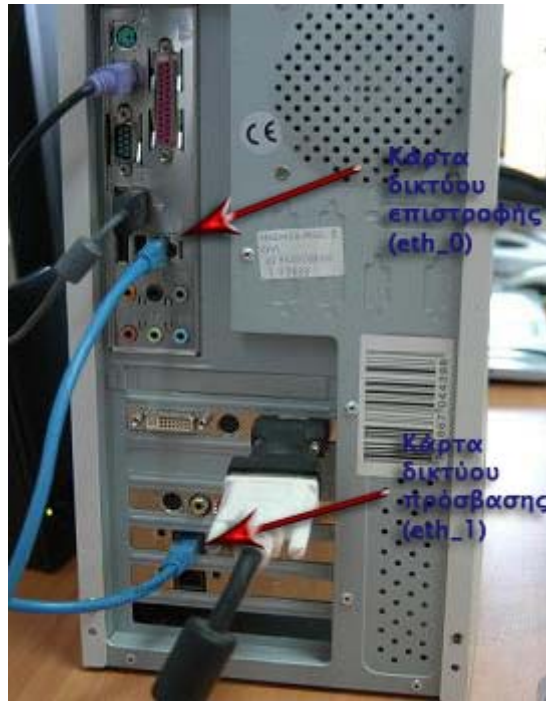
Ο ενδιάμεσος κόμβος διανομής (CMN) που χρησιμοποιείται στο δίκτυο της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης έχει υλοποιηθεί με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και των κατάλληλων μονάδων hardware και software. Ο Η/Υ απαιτεί ως ελάχιστα τεχνικά χαρακτηριστικά έναν επεξεργαστή Pentium 3, ένα σκληρό δίσκο χωρητικότητας 10GB και μία μνήμη RAM 256MB. Ο κόμβος για την σωστή λειτουργία του απαιτεί επίσης τρία δικτυακά interfaces τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

Η πλατφόρμα DVB-T εκπέμπει μία κοινή ροή μεταφοράς πακέτων MPEG-2 TS μέσα στην οποία έχει ενθυλακωθεί Διαδικτυακή κίνηση πακέτων IP στο κανάλι 29 της μπάντας συχνοτήτων UHF. Η συγκεκριμένη ροή μεταφοράς λαμβάνεται από την κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης που έχει τοποθετηθεί στον ενδιάμεσο κόμβο διανομής και έτσι με αυτόν το τρόπο υπάρχει η δυνατότητα λήψης της κίνησης πακέτων IP από το interface του DVB-T.

Η κάρτα αυτή διαδοχικά προωθεί τα πακέτα προς την κάρτα Ethernet του δικτύου πρόσβασης των τελικών χρηστών, όπου απορρίπτονται όσα πακέτα δεν αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο υποδίκτυο. Η βασική λειτουργία της κάρτας δικτύου πρόσβασης είναι να προωθεί την κίνηση προς τους τελικούς χρήστες μέσω ενός δικτύου Ethernet. Με αυτόν τον τρόπο οι τελικοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να λάβουν τα πακέτα και να στείλουν τις επιβεβαιώσεις (ACKs) της συγκεκριμένης κίνησης μέσω του δικτύου πρόσβασης και του δικτύου επιστροφής. Η κίνηση των πακέτων αυτών προωθείται μέσω της κάρτας του δικτύου πρόσβασης στην κάρτα του δικτύου επιστροφής που διασυνδέει τον ενδιάμεσο κόμβο διανομής με το κεντρικό σημείο εκπομπής.



Σχήμα 3.8 Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (CMN), κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης, κεραία λήψης



**Σχήμα 3.9** Ενδιάμεσος Κόμβος Διανομής (CMN), Δίκτυο Πρόσβασης, Δίκτυο Επιστροφής

Το interface της λήψης αποτελεί μία κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T που τοποθετήθηκε στον ενδιάμεσο κόμβο διανομής. Το μοντέλο της κάρτας αυτής είναι η WinTV-NOVA-T-USB-2 (Σχήμα 3.10) που υποστηρίζεται από τον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος Linux που εγκαταστάθηκε στον Η/Υ. Η κάρτα αυτή ονομάστηκε `dnb_0` και χρησιμοποιείται για τη λήψη της κίνησης που εκπέμπεται από το κεντρικό σημείο εκπομπής και περιέχει τις IP απαντήσεις για τους τελικούς χρήστες. Απαραίτητη για τη λήψη είναι η χρήση μίας κεραίας UHF εσωτερικού χώρου.



**Σχήμα 3.10.** Κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης WinTV-NOVA-T-USB-2

Το interface του δικτύου πρόσβασης υλοποιείται με τη χρήση μίας κάρτας δικτύου, eth\_1, τύπου Intel(R) Pro/100 s Desktop Adapter (Σχήμα 3.11) η οποία λαμβάνει την προωθημένη Διαδικτυακή κίνηση από την κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και την προωθεί στους τελικούς χρήστες του υποδικτύου. Η κάρτα αυτή επίσης συγκεντρώνει όλη την IP κίνηση, που προέρχεται από τους τελικούς χρήστες του CMN και την προωθεί προς την άλλη κάρτα δικτύου eth\_0.

Το τρίτο interface του ενδιάμεσου κόμβου διανομής υλοποιείται με τη χρήση μίας κάρτας δικτύου, τύπου Intel(R) Pro/100 s Desktop Adapter (Σχήμα 3.11) η οποία έχει ονομαστεί eth\_0. Η κάρτα αυτή προωθεί τη Διαδικτυακή κίνηση (ACKs, Requests), που προέρχεται από την κάρτα eth\_1 προς το κεντρικό σημείο εκπομπής με τη χρήση κάποιου κατάλληλου μονόδρομου καναλιού επιστροφής.



**Σχήμα 3.11 Κάρτα Δικτύου, Intel(R) Pro/100 s Desktop Adapter**

### **3.3.2. Ανάλυση Ενδιάμεσου Κόμβου Διανομής Απαιτήσεις Λογισμικού (Software Requirements)**

Ο ενδιάμεσος κόμβος διανομής έχει υλοποιηθεί με βάση το λειτουργικό σύστημα των Linux το οποίο είναι ένα ελεύθερου "τύπου-Unix" λειτουργικό σύστημα και αποτελεί μία ανεξάρτητη POSIX υλοποίηση (συλλογικό όνομα μιας οικογένειας σχετικών προτύπων που διευκρινίζονται από το IEEE για να καθορίσουν τη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογής (API) για λογισμικό συμβατό με τις παραλλαγές του λειτουργικού συστήματος Unix). Στα χαρακτηριστικά του συμπεριλαμβάνει πολλαπλές διεργασίες, πραγματικό πολυχρηστικό περιβάλλον, εικονική μνήμη, κοινές βιβλιοθήκες, φόρτωση απαιτήσεων, δικτύωση TCP/IP και πολλά άλλα χαρακτηριστικά που δικαιολογούν τον τίτλο "τύπου-Unix". Ο πηγαίος κώδικας του λειτουργικού συστήματος Linux είναι διαθέσιμος σε όλους τους χρήστες ενώ για τη συγκεκριμένη υλοποίηση του ενδιάμεσου κόμβου διανομής χρησιμοποιήθηκε η έκδοση Debian ETCHE.

Πριν την εγκατάσταση των εντολών για τη σωστή δρομολόγηση των πακέτων IP έπρεπε να δοθούν οι IP διευθύνσεις των τριών δικτυακών interfaces (dwb\_0, eth\_1 και eth\_0).

Στην κάρτα dwb\_0, η οποία λαμβάνει τη ροή μεταφοράς MPEG-2 TS που εκπέμπεται από το κεντρικό σημείο εκπομπής που περιέχει τις Διαδικτυακές και πολυμεσικές υπηρεσίες για τους τελικούς χρήστες, τέθηκε η διεύθυνση IP 0.0.0.0 και αυτό έγινε γιατί δε χρειάζεται να έχουμε κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση σε αυτό το interface.

Το interface του δικτύου πρόσβασης υλοποιήθηκε με την κάρτα eth\_1. Το συγκεκριμένο interface λαμβάνει την προωθημένη κίνηση με τις δικτυακές υπηρεσίες από την κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης και την προωθεί έπειτα στους τελικούς χρήστες του υποδικτύου που υλοποιείται με κάποια τεχνολογία δικτύου πρόσβασης. Το συγκεκριμένο interface συγκεντρώνει επίσης όλη την IP κίνηση (αιτήσεις, επιβεβαιώσεις) που προέρχεται από τους τελικούς χρήστες του CMN και την προωθεί προς την άλλη κάρτα δικτύου eth\_0. Έτσι τέθηκε ως διεύθυνση IP η 192.168.0.1 και ως Subnet Mask η 255.255.255.0 ανάλογα με το υποδίκτυο των τελικών χρηστών. Πρέπει να σημειωθεί ότι δε χρειάζεται να δοθεί συγκεκριμένη Gateway διεύθυνση και αυτό γιατί η κίνηση των πακέτων δρομολογείται με βάση συγκεκριμένων εντολών δρομολόγησης (rooting commands).

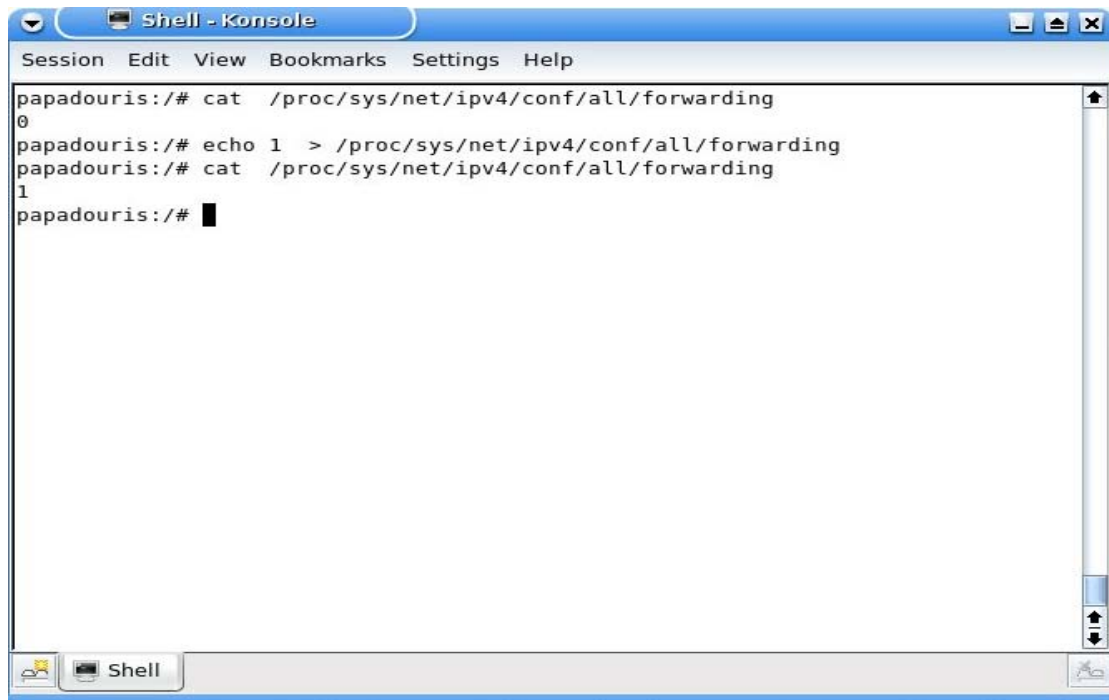
Το τρίτο interface έχει υλοποιηθεί με την κάρτα eth\_0 η οποία προωθεί όλη την IP κίνηση (αιτήσεις, επιβεβαιώσεις) που προέρχεται από την κάρτα eth\_1 προς το κεντρικό σημείο εκπομπής. Σε αυτήν την κάρτα τέθηκε ως IP διεύθυνση η 10.0.67.68, ως Subnet Mask η 255.255.255.0 και ως Default Gateway η 10.0.67.1 η οποία αποτελεί την IP διεύθυνση του Cisco router (firewall) που βρίσκεται στο κεντρικό σημείο εκπομπής της πλατφόρμας DVB-T.

### 3.3.3. Η συμπεριφορά του CMN σε δικτυακή κίνηση

Στα πλαίσια της υλοποίησης του ενδιάμεσου κόμβου διανομής πρέπει να προηγηθεί η εκτέλεση κάποιων εντολών που θα βοηθήσουν στην δρομολόγηση των πακέτων IP έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή μεταφορά της Διαδικτυακής κίνησης του δικτύου.

#### 3.3.3.1. Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast)

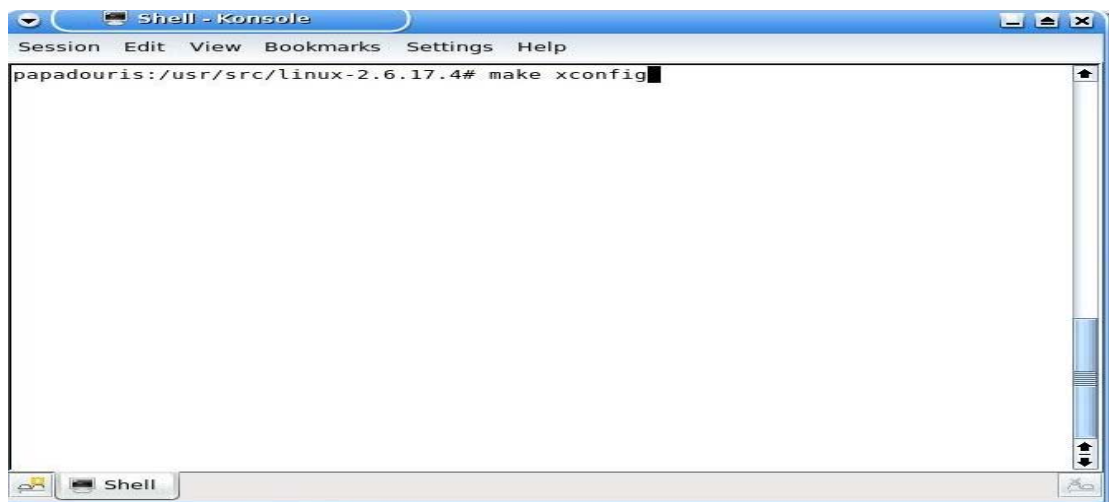
Για να μπορέσουν να οριστούν οι εντολές δρομολόγησης (routes), βασική προϋπόθεση είναι να ενεργοποιηθεί το **ip\_forwarding**, το οποίο είναι μία εφαρμογή που προωθεί τα πακέτα μεταξύ διαφορετικών interfaces (dvb\_0 → eth\_1 και eth\_1 → eth\_0). Πρώτα, πρέπει να γίνει ο έλεγχος για το αν έχει ενεργοποιηθεί η συγκεκριμένη εντολή, πληκτρολογώντας την σε ένα terminal των linux. Εφόσον το αποτέλεσμα της είναι 0, όπως φαίνεται στην πρώτη εντολή του screenshot στο σχήμα 3.12, στο terminal, τότε είναι απενεργοποιημένη. Αν το αποτέλεσμα είναι 1 τότε είναι ενεργοποιημένη και την αφήνουμε ως έχει. Για την ενεργοποίησή της πρέπει να πληκτρολογηθεί η δεύτερη εντολή που φαίνεται στο screenshot του ίδιου σχήματος. Τέλος, επαναλαμβάνεται ο έλεγχος, όπου φαίνεται πως ενεργοποιήθηκε κι έγινε 1.



```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/# cat /proc/sys/net/ipv4/conf/all/forwarding
0
papadouris:/# echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/conf/all/forwarding
papadouris:/# cat /proc/sys/net/ipv4/conf/all/forwarding
1
papadouris:/#
```

Σχήμα 3.12 Εντολή ip\_forwarding

Άλλη εντολή που χρησιμοποιείται είναι η εντολή **xconfig** που παριστάνει μια γραφική προσομοίωση του πυρήνα του λειτουργικού συστήματος και παρουσιάζει όλα τα στοιχεία του. Αρχικά, πρέπει να γίνει είσοδος στο CMN ως root στο φάκελο με τον πηγαίο κώδικα του πυρήνα μας. Έπειτα πληκτρολογείται η αντίστοιχη εντολή ώστε να ενεργοποιηθεί η xconfig εφαρμογή όπως φαίνεται παρακάτω.



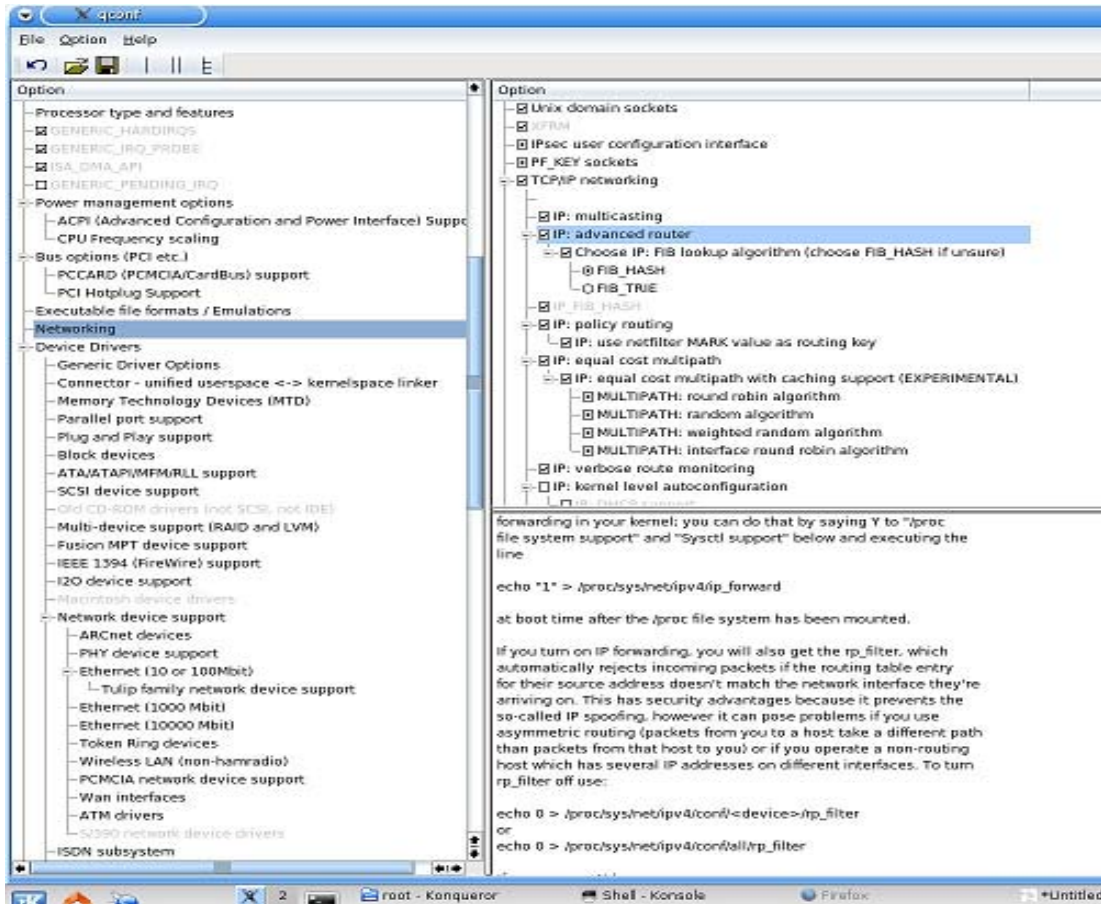
```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/usr/src/linux-2.6.17.4# make xconfig
```

Σχήμα 3.13 Εντολή xconfig

Όταν ανοίξει η εφαρμογή πρέπει να ενεργοποιηθούν οι παρακάτω επιλογές στο menu Networking.

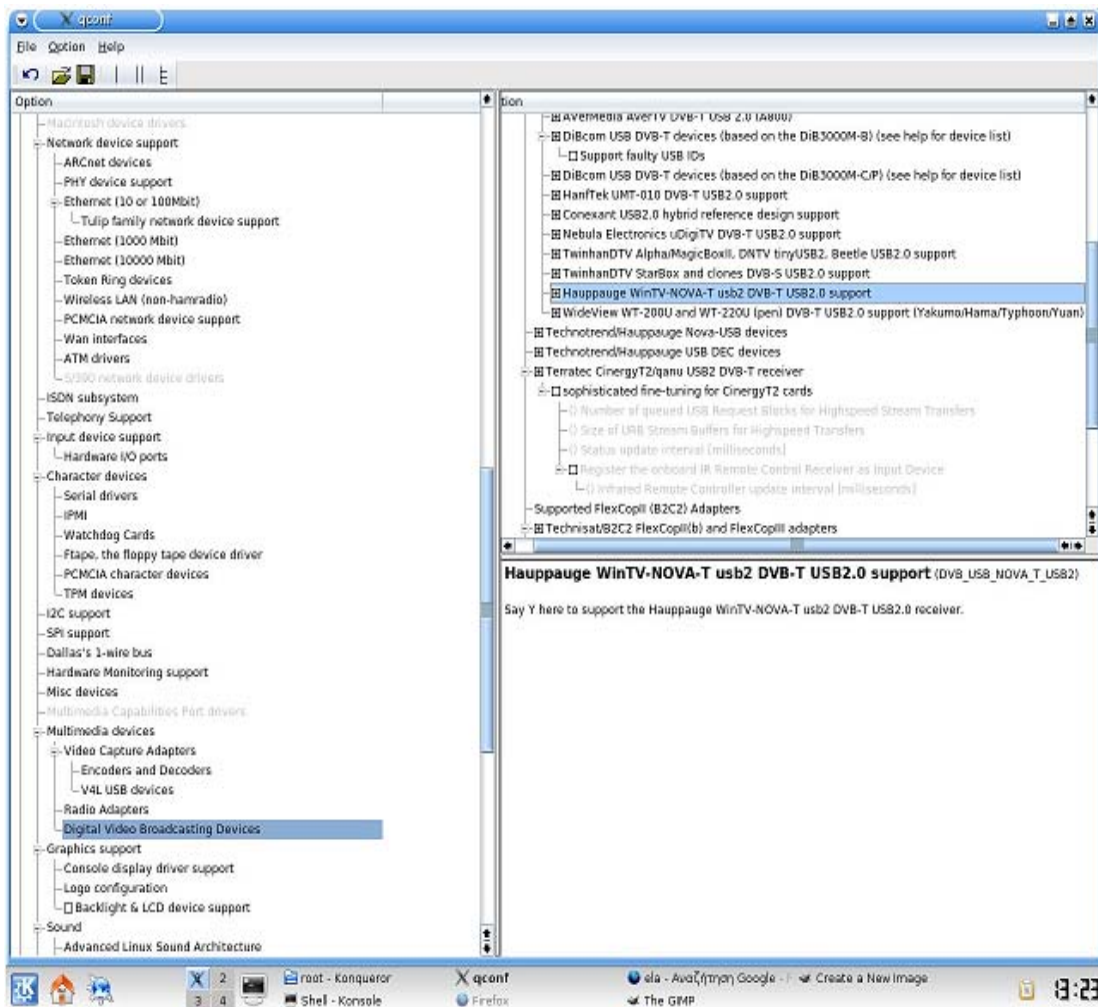
Networking → tcp/ip networking → Ip:advanced router, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 3.14 που ακολουθεί.





Σχήμα 3.14 Εφαρμογή xconfig

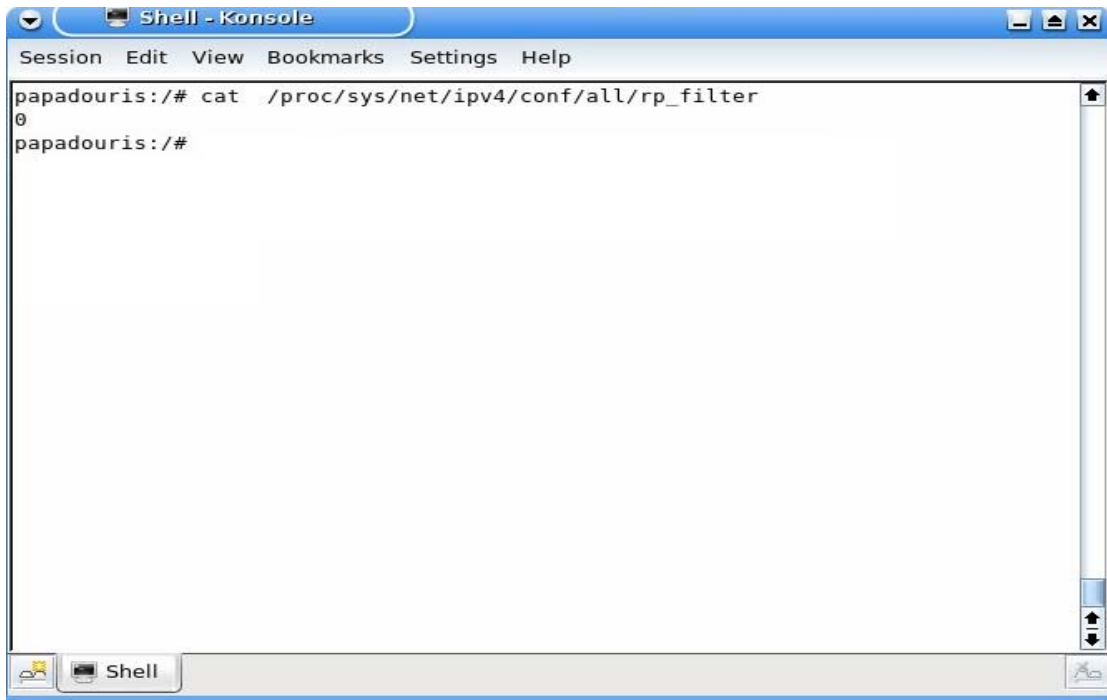
Για να ενεργοποιηθεί η κάρτα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης πρέπει στην ίδια εφαρμογή να βρεθεί και να επιλεγεί, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 3.15 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.15 Επιλογή κάρτας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης

Επίσης στον ενδιάμεσο κόμβο διανομής χρησιμοποιείται η εντολή **rp-filter**, η οποία χρησιμοποιείται για να εξασφαλιστεί η αποδοχή των πακέτων μόνο από τα δικτυακά interfaces στα οποία απευθύνονται τα πακέτα IP. Ακόμα δίνει τη δυνατότητα σε αυτά τα interfaces αυτόματα να απορρίπτουν εισερχόμενα πακέτα των οποίων ο πίνακας διευθύνσεων δεν ταιριάζει με τις δικές τους διευθύνσεις.

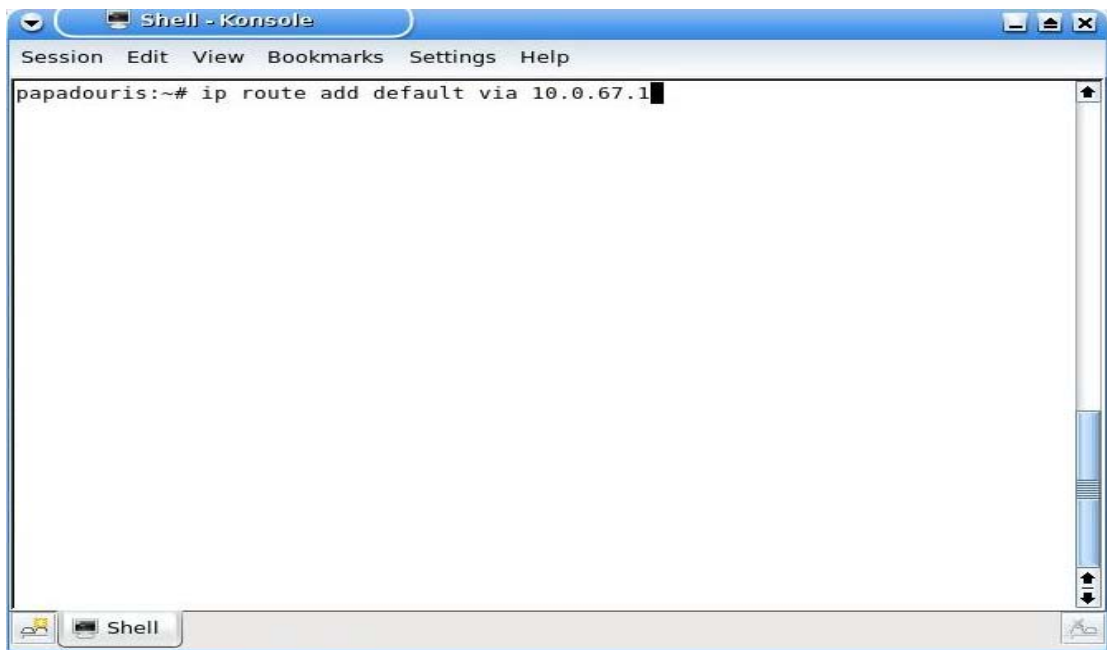
Ο έλεγχος για το αν έχει ενεργοποιηθεί η συγκεκριμένη εντολή γίνεται πληκτρολογώντας την σε ένα terminal των linux. Εφόσον το αποτέλεσμα της είναι 0, όπως φαίνεται στην εντολή του screenshot στο σχήμα 3.16, στο terminal, τότε είναι ενεργοποιημένη. Αν είναι 1, τότε είναι απενεργοποιημένη και κόβει όλα τα πακέτα που έρχονται από ένα interface και φεύγουν από άλλο. Έτσι πρέπει να πληκτρολογηθεί η αντίστοιχη εντολή με την `ip_forwarding`, αλλά αυτή τη φορά θα έχουμε `“echo 0 > proc/sys/net/ipv4/conf/all/rp_filter”` .



```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/# cat /proc/sys/net/ipv4/conf/all/rp_filter
0
papadouris:/#
```

Σχήμα 3.16 Εντολή rp-filter

Σημαντική εντολή είναι η **ip-route** με την η οποία δίνεται η δυνατότητα να δηλωθούν default εντολές δρομολόγησης της κίνησης, μέσα στον CMN. Έτσι από το screenshot που ακολουθεί βλέπουμε ότι μέσω της εντολής ip-route προωθούνται οποιαδήποτε IP πακέτα που προέρχονται από του χρήστες, στην eth\_1 κι από 'κει στην eth\_0 , έχοντας ως τελικό προορισμό την πλατφόρμα.

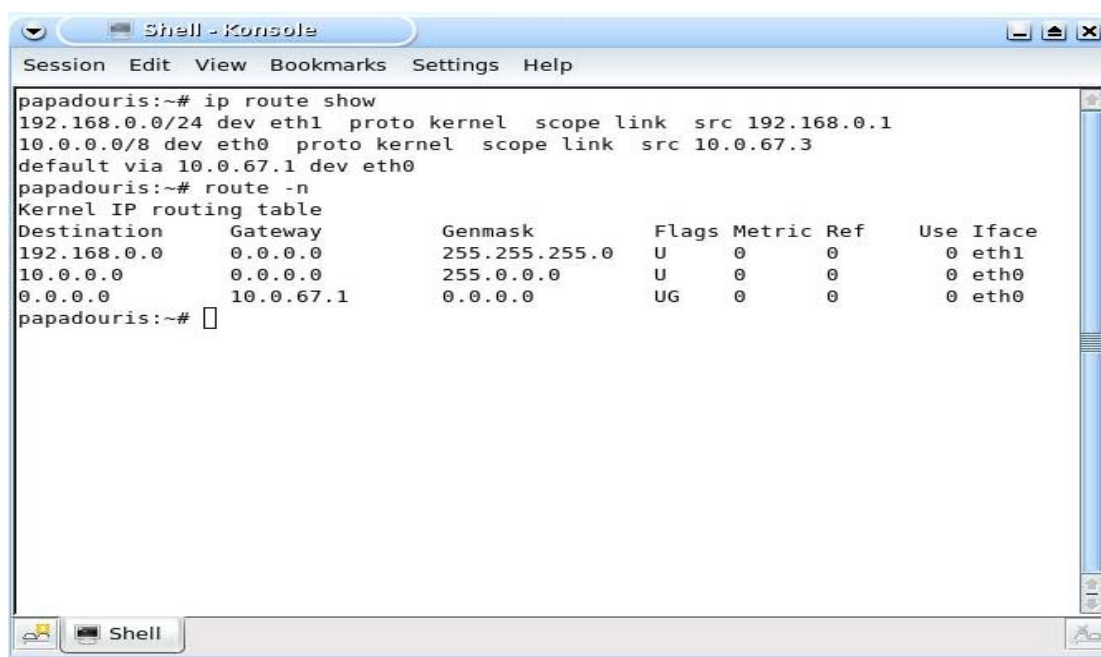


```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:~# ip route add default via 10.0.67.1
```

Σχήμα 3.17 Εντολή ip-route για την δρομολόγηση της κίνησης από την eth\_1 προς την eth\_0

Ενώ αντίθετα η δρομολόγηση της κίνησης που έρχεται από την κάρτα ψηφιακής τηλεόρασης `dvb_0` και προωθείται προς την κάρτα δικτύου `eth_1` ενεργοποιείται αυτόματα, με τον καθορισμό της IP Address της κάρτας δικτύου `eth_1`.

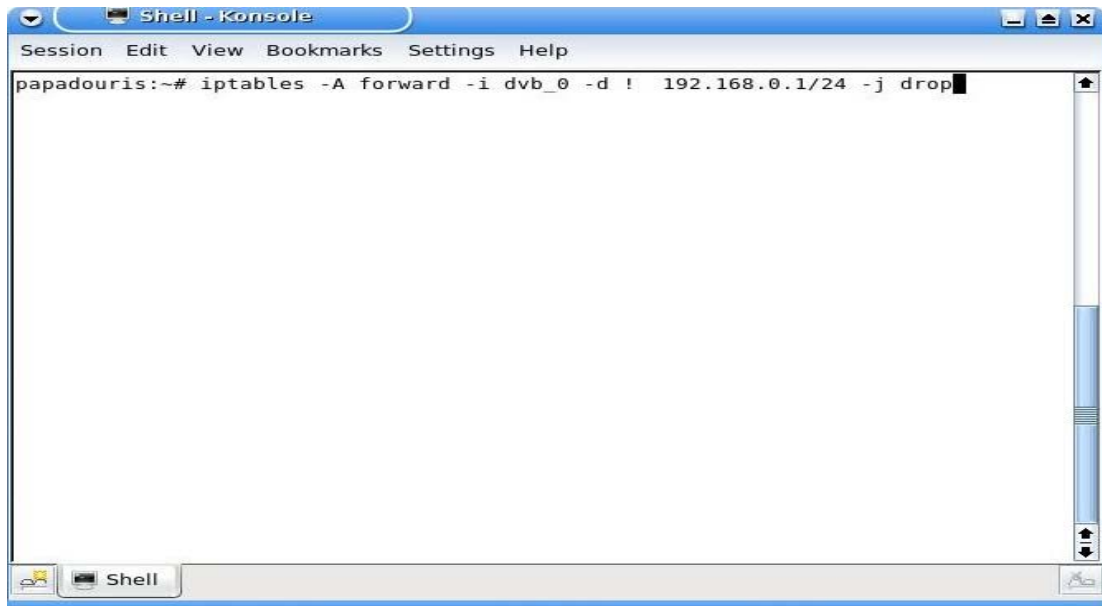
Ακολουθούν οι δρομολογήσεις των κινήσεων μέσα στον ενδιάμεσο κόμβο διανομής ( CMN ) και οι οποίες παρουσιάζονται με δύο τρόπους. Είτε με την εντολή “`ip route show`” είτε με την εντολή “`route -n`”.



```
papadouris:~# ip route show
192.168.0.0/24 dev eth1 proto kernel scope link src 192.168.0.1
10.0.0.0/8 dev eth0 proto kernel scope link src 10.0.67.3
default via 10.0.67.1 dev eth0
papadouris:~# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway         Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
192.168.0.0      0.0.0.0        255.255.255.0   U        0      0      0 eth1
10.0.0.0         0.0.0.0        255.0.0.0       U        0      0      0 eth0
0.0.0.0         10.0.67.1     0.0.0.0         UG       0      0      0 eth0
papadouris:~#
```

Σχήμα 3.18 Δρομολόγηση των κινήσεων μέσα στον CMN

Στο συγκεκριμένο δίκτυο υπάρχει μία προεπιλογή η οποία πρέπει να αποκλειστεί. Πρόκειται για την περίπτωση που φτάσουν στον ενδιάμεσο κόμβο διανομής IP πακέτα μέσω της `dvb_0` τα οποία δεν προορίζονται για αυτόν. Το αποτέλεσμα είναι να στέλνονται πίσω στον αποστολέα με αποτέλεσμα να φορτώνεται το δίκτυο με επιπλέον κίνηση. Έτσι λοιπόν για την αποφυγή τέτοιου είδους προβλημάτων χρησιμοποιείται ένα φίλτρο που «κόβει» την κίνηση η οποία φτάνει στην κάρτα `dvb_0` και δεν προορίζεται για το υποδίκτυό μας. Η εντολή για την ενεργοποίηση του φίλτρου είναι η **iptables** που παρουσιάζεται στο screenshot του σχήματος 3.19 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.19 Εντολή iptables

### 3.3.3.2. Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast)

Η συγκεκριμένη κίνηση δημιουργείται από έναν εξουσιοδοτημένο χρήστη (active user) ο οποίος έχοντας τον κατάλληλο εξοπλισμό, κάμερα και μικρόφωνο, δημιουργεί δεδομένα ψηφιακής μορφής. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά με τη χρήση του προγράμματος VLC (multicast εφαρμογή) κωδικοποιούνται και μετατρέπονται σε μία ροή πακέτων UDP. Ο ενεργός χρήστης δηλώνει μία multicast διεύθυνση στα πακέτα αυτά (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234). Η ροή των πακέτων αυτών αποστέλλεται μέσω του χρήστη στο κεντρικό σημείο εκπομπής και από εκεί εκπέμπεται σε όλη την περιοχή εκπομπής όπου υπάρχει η δυνατότητα λήψης από τους ενδιαμέσους κόμβους διανομής.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσει ο κόμβος να δεχτεί και να προωθήσει τα multicast πακέτα στους τελικούς χρήστες, είναι να εκτελείται σε αυτόν μια υπηρεσία που υποστηρίζει multicast εφαρμογές και υλοποιείται από το πρόγραμμα "DEAMON".

Όπως παρατηρείτε στο screenshot του σχήματος 3.20 που ακολουθεί πρέπει να ενεργοποιηθεί αυτό το πρόγραμμα και να εκτελεστεί η εντολή για την αποστολή των multicast πακέτων από τον ενεργό χρήστη. Όταν τελειώσει αυτή η διαδικασία, σταματάμε την εκτέλεση του προγράμματος "DEAMON".

```

papadouris:~# smcroute -d
papadouris:~# smcroute -a dvb0_0 10.0.67.55 224.2.2.1 eth1
papadouris:~# smcroute -k
papadouris:~# █

```

Σχήμα 3.20 Εντολές του "DEAMON"

Τέλος στην multicast εφαρμογή πρέπει να οριστεί ο συντελεστής time-to-live ο οποίος πρέπει να είναι τέτοιος ο αριθμός του ώστε να μην φτάσει στο μηδέν πριν τελειώσει η επικοινωνία. Αυτός ο αριθμός εξαρτάται από το πόσους routers ή hops έχουμε στο δίκτυο μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη.

Όταν ολοκληρωθούν όλες οι παραπάνω διαδικασίες, πρέπει να γίνει στον κόμβο ο εντοπισμός των τηλεοπτικών προγραμμάτων που εκπέμπονται από το κεντρικό σημείο εκπομπής. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιείται ένα αρχείο που έχουμε ονομάσει «athena» το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία του modulator της πλατφόρμας DVB-T. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

```

Carrier      8k
Code rate    1/2
Guard interval 1/8
Constellation 64 QAM
Frequency    538 Mhz

```

και τα έχουμε καθορίσει εμείς και στον modulator αλλά και στον ίδιο τον CMN. Τα παραπάνω στοιχεία φαίνονται και από το screenshot που ακολουθεί στο σχήμα 3.21.

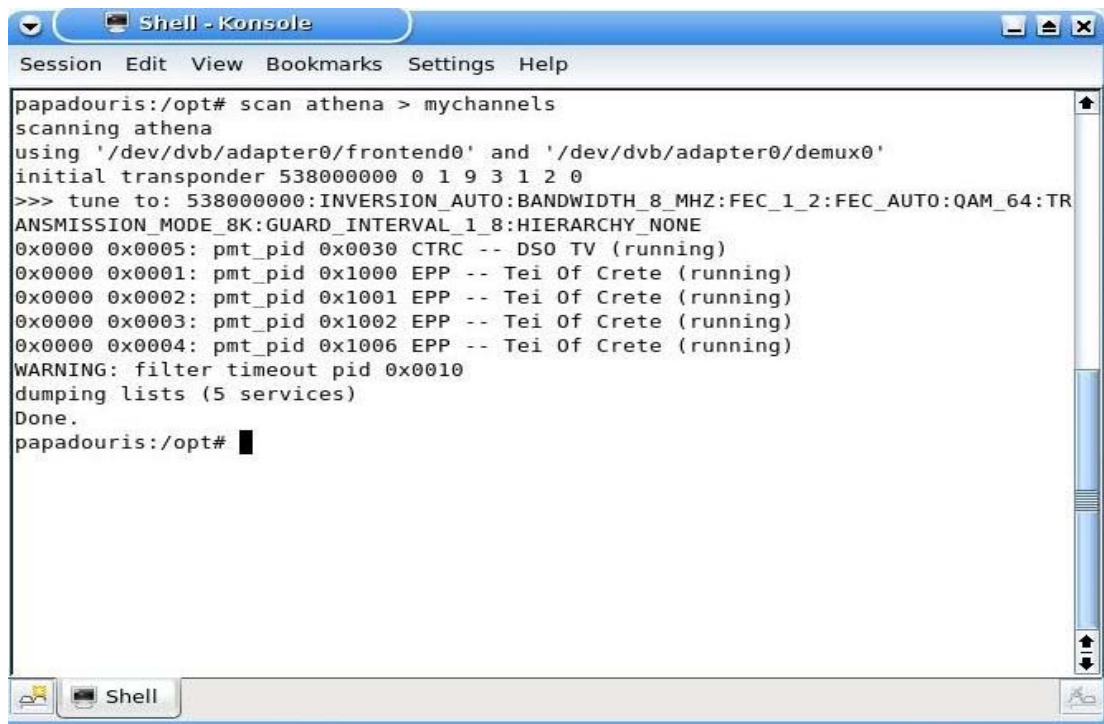
```

# DVB-T athena
# T freq bw fec_hi fec_lo mod transmission-mode guard-interval hierarchy
T 538000000 8MHz 1/2 NONE QAM64 8k 1/8 NONE # ard / rbb
#T 570000000 8MHz 2/3 NONE QAM16 8k 1/8 NONE # zdf
#T 658000000 8MHz 2/3 NONE QAM16 8k 1/8 NONE # t-systems
(END)

```

Σχήμα 3.21 Αρχείο "athena"

Με την εντολή **scan** εντοπίζονται όλα τα τηλεοπτικά κανάλια που εκπέμπονται από την πλατφόρμα DVB-T, όπως φαίνεται και στο παρακάτω screenshot στο σχήμα 3.22. Παρατηρείται ότι ανιχνεύονται 5 τηλεοπτικά προγράμματα τα οποία αποθηκεύονται στη συνέχεια σε ένα αρχείο που το ονομάζουμε mychannels.



```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/opt# scan athena > mychannels
scanning athena
using '/dev/dvb/adapter0/frontend0' and '/dev/dvb/adapter0/demux0'
initial transponder 538000000 0 1 9 3 1 2 0
>>> tune to: 538000000:INVERSION_AUTO:BANDWIDTH_8_MHZ:FEC_1_2:FEC_AUTO:QAM_64:TR
ANSMISSION_MODE_8K:GUARD_INTERVAL_1_8:HIERARCHY_NONE
0x0000 0x0005: pmt_pid 0x0030 CTCR -- DSO TV (running)
0x0000 0x0001: pmt_pid 0x1000 EPP -- Tei Of Crete (running)
0x0000 0x0002: pmt_pid 0x1001 EPP -- Tei Of Crete (running)
0x0000 0x0003: pmt_pid 0x1002 EPP -- Tei Of Crete (running)
0x0000 0x0004: pmt_pid 0x1006 EPP -- Tei Of Crete (running)
WARNING: filter timeout pid 0x0010
dumping lists (5 services)
Done.
papadouris:/opt#
```

Σχήμα 3.22 Διαθέσιμα τηλεοπτικά προγράμματα

Τέλος, με την εντολή **tzap**, παρέχεται η δυνατότητα για συντονισμό σε κάποιο από τα ανιχνεύσιμα προγράμματα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, όπως παρατηρείται και από το screenshot στο σχήμα 3.23.

```
papadouris:/opt# tzap -c mychannels 'DSO TV'
using '/dev/dvb/adapter0/frontend0' and '/dev/dvb/adapter0/demux0'
tuning to 538000000 Hz
video pid 0x00a5, audio pid 0x0164
status 03 | signal f70e | snr 0001 | ber 001fffff | unc 0000ffff |
status 1f | signal f70d | snr 0001 | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
status 1f | signal 0000 | snr ffff | ber 00000000 | unc 00000000 | FE_HAS_LOCK
```

Σχήμα 3.23 Συντονισμός στο τηλεοπτικό πρόγραμμα “DSO TV”

Αυτή ήταν και η διαδικασία υλοποίησης ενός ενδιάμεσου κόμβου διανομής (CMN) με σκοπό την εξυπηρέτηση των ενεργών χρηστών-πολιτών, παροχέχοντάς τους πρόσβαση στο ευρυζωνικό δίκτυο της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

### 3.4. Αρχιτεκτονική δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN

#### 3.4.1. Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast)

Ο όρος **unicast** αναφέρεται στην σημείο-προς-σημείο επικοινωνία, όπου τα δεδομένα στέλνονται από έναν αποστολέα σε έναν αποδέκτη πάνω από ένα IP δίκτυο. Στο συγκεκριμένο σενάριο ο αποδέκτης «ζητάει» υπηρεσίες διαδικτύου (internet) από τον αποστολέα κι εκείνος του αποστέλει δεδομένα TCP. Ο OPAL παρέχει μόνο υπηρεσίες internet (5Mbps) και «κόβει» τα υπόλοιπα προγράμματα.

Συγκεκριμένα έχουμε έναν τελικό χρήστη (Client – IP Address: 192.168.0.45) ο οποίος συνδέεται μ'έναν απλό δρομολογητή κι εκείνος με τη σειρά του με μια συσκευή DSLAM (Πρόκειται για εξοπλισμό ο οποίος συνδέει τους χρήστες των υπηρεσιών DSL με ένα δίκτυο μετάδοσης δεδομένων ATM. Βρίσκεται εγκατεστημένος στο κέντρο του τηλεπικοινωνιακού παρόχου (π.χ. ΟΤΕ) - IP Address: 192.168.0.2). Το DSLAM δίνει upstream 512kbps και downstream 8160kbps. Επομένως ο τελικός χρήστης του δικτύου χρησιμοποιεί ένα ADSL δίκτυο για να επικοινωνήσει αμφίδρομα με τον ενδιάμεσο κόμβο διανομής (CMN - IP Address: 192.168.0.1). Η δικτυακή κίνηση στη συνέχεια στέλνεται από τον CMN, μέσω του καναλιού επιστροφής που είναι ένα PSTN δίκτυο, στον Dial-up Server κι από κει στην πλατφόρμα DVB-T.

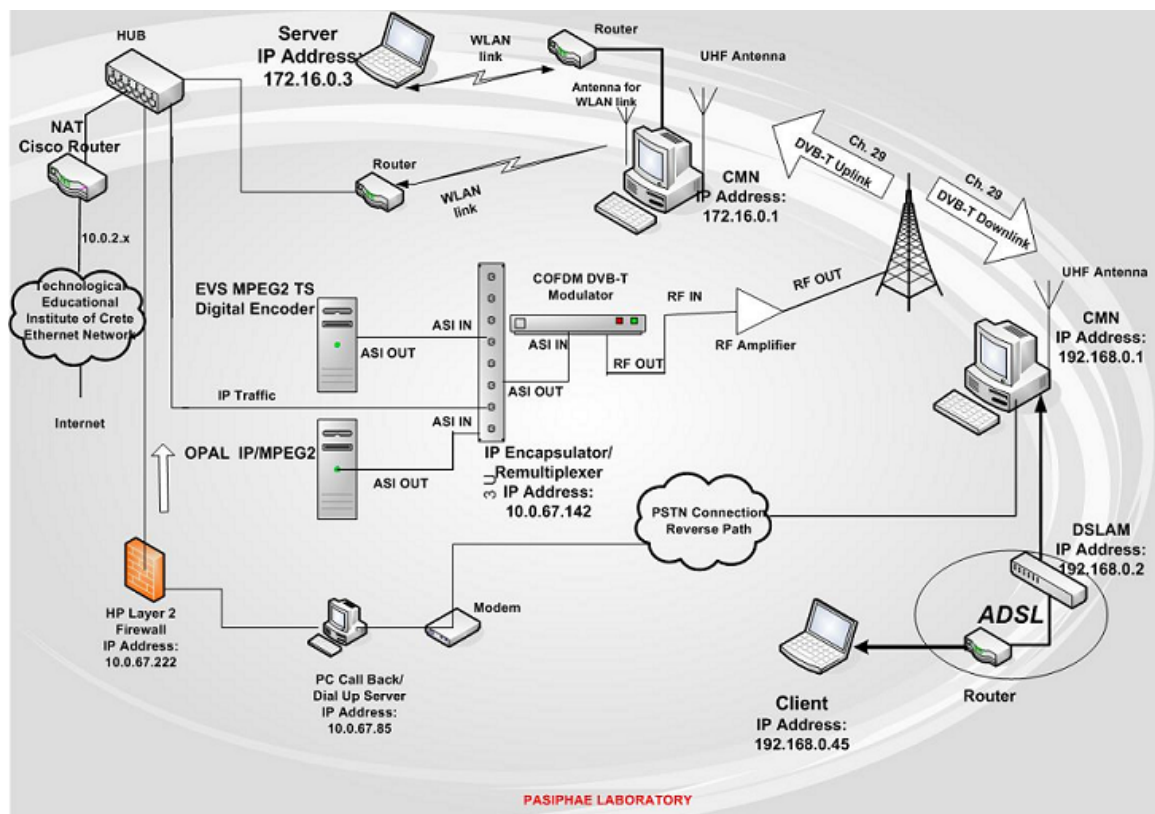


Στην πλατφόρμα θα υποστεί την ανάλογη κωδικοποίηση και διαμόρφωση έτσι ώστε να σταλεί μέσω των UHF συχνοτήτων στον CMN (IP Address: 172.16.0.1) που επικοινωνεί με τον Server (IP Address: 172.16.0.3).

Ο CMN θα πάρει την κίνηση και μέσω ενός δρομολογητή θα την στείλει ασύρματα στον εξυπηρετητή του δικτύου. Οι δρομολογητές που εξασφαλίζουν ασύρματη σύνδεση μεταξύ του Server και του αντίστοιχου CMN, όπως και του CMN με την πλατφόρμα DVB-T είναι της τάξης των 54 Mbps. Ο Server επικοινωνεί αμφίδρομα με τον CMN, με αποτέλεσμα όταν απαντήσει, η δικτυακή του κίνηση να περάσει πάλι από τον δρομολογητή και να φτάσει ξανά πίσω στον CMN. Ακολουθεί μια ασύρματη σύνδεση που θα οδηγήσει την κίνηση προς την DVB-T πλατφόρμα για να κωδικοποιηθεί και διαμορφωθεί ούτως ώστε να σταλεί από την μπάντα των UHF συχνοτήτων (κανάλι 29) στον CMN του τελικού χρήστη. Εκείνος επικοινωνεί με το τερματικό του Client κι έτσι θα του προωθήσει τις απαντήσεις, του Server.

Παρατηρούμε ότι με βάση αυτή την αρχιτεκτονική του δικτύου, δίνεται η δυνατότητα στον πελάτη Client να επικοινωνήσει με τον εξυπηρετητή Server, και για την ακρίβεια να του ζητήσει TCP δεδομένα που του χρειάζονται. Ο Server, με τη σειρά του θα απαντήσει και θα πάρει πίσω τις επιβεβαιώσεις από τον Client. Έτσι δημιουργείται μια TCP δικτυακή κίνηση (παροχής υπηρεσιών internet), ανάμεσα σ'έναν πελάτη κι έναν εξυπηρετητή με τη βοήθεια ενδιάμεσων κόμβων διανομής (CMNs) που έχουν τον ρόλο του «πυρήνα» στις κυψέλες του δικτύου, που έχουν δημιουργηθεί.

Η τοπολογία του συγκεκριμένου δικτύου δίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



### Σχήμα 3.24 Αρχιτεκτονική δικτύου αμφίδρομης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με παραγωγή unicast δικτυακής κίνησης και κανάλι επιστροφής PSTN

#### 3.4.2. Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast)

Με τον όρο multicasting εννοείται ένας αποδοτικός μηχανισμός για την εξοικονόμηση εύρους ζώνης διαχέοντας τα δεδομένα από μία πηγή σε πολλούς παραλήπτες παράλληλα.

Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική δημιουργείται κίνηση από έναν εξουσιοδοτημένο χρήστη-εξυπηρετητή (Server- IP Address: 10.0.2.65) προς όλη την περιοχή εκπομπής της DVB-T πλατφόρμας. Ο OPAL παρέχει μόνο ένα από τα πολυμεσικά προγράμματα IPTV (1.5Mbps) και «κόβει» τα υπόλοιπα προγράμματα.

Ο τελικός χρήστης (Client- IP Address: 192.168.0.45) συνδέεται μ'έναν απλό δρομολογητή κι εκείνος με τη σειρά του με μια συσκευή DSLAM (IP Address: 192.168.0.2). Το DSLAM δίνει upstream 512kbps και downstream 8160kbps. Επομένως ο τελικός χρήστης του δικτύου χρησιμοποιεί ένα ADSL δίκτυο για να επικοινωνήσει αμφίδρομα με τον ενδιάμεσο κόμβο διανομής (CMN - IP Address: 192.168.0.1).

Ο Client «ζητάει» ένα πολυμεσικό πρόγραμμα και η δικτυακή κίνηση κατευθύνεται προς τον CMN. Από τον CMN, μέσω του καναλιού επιστροφής που είναι ένα PSTN δίκτυο, η κίνηση στέλνεται προς τον Dial-up Server κι από κει στον εξουσιοδοτημένο χρήστη, εφόσον επικοινωνούν μέσω ενός hub.

Ο εξυπηρετητής δημιουργεί δεδομένα ψηφιακής μορφής. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά με τη χρήση του προγράμματος VLC (multicast εφαρμογή) κωδικοποιούνται και μετατρέπονται σε μία ροή πακέτων UDP. Ο ενεργός χρήστης δηλώνει μία multicast διεύθυνση στα πακέτα αυτά (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234).

Η ροή των πακέτων αποστέλλεται μέσω του Server στο κεντρικό σημείο εκπομπής και από εκεί εκπέμπεται μέσω των UHF συχνοτήτων (κανάλι 29) σε όλη την περιοχή εκπομπής όπου υπάρχει η δυνατότητα λήψης από τον ενδιάμεσο κόμβο διανομής (CMN).

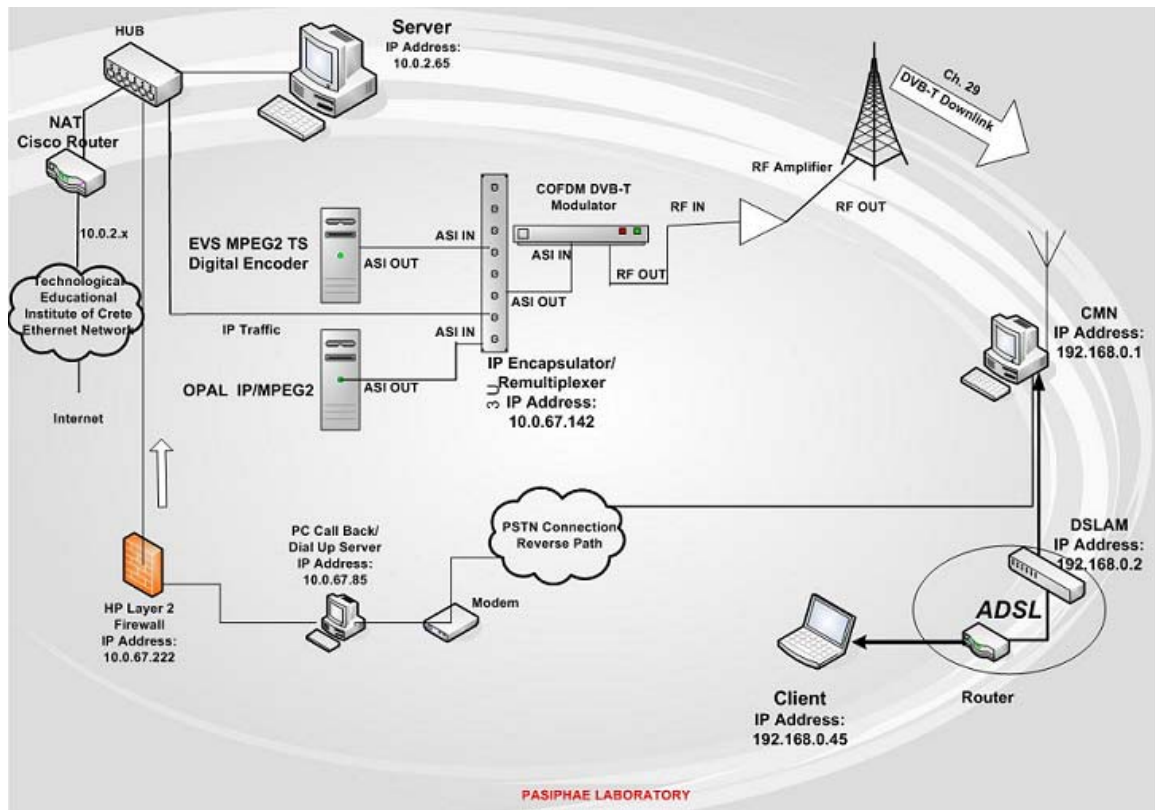
Ο CMN με τη σειρά του λαμβάνει την κίνηση και την προωθεί στον τελικό χρήστη.

Παρατηρούμε ότι με βάση αυτή την αρχιτεκτονική του δικτύου, δίνεται η δυνατότητα στον εξυπηρετητή-Server να παρέχει πολυμεσικές υπηρεσίες (IPTV) στον πελάτη-Client.

Έτσι δημιουργείται μια UDP δικτυακή κίνηση (IPTV) μεταξύ τους, με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου κόμβου διανομής (CMN) που έχει τον ρόλο του «πυρήνα» στην κυνέλη του δικτύου, που έχει δημιουργηθεί.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διεξαγωγή της μέτρησης, η επικοινωνία μεταξύ των Server και Client ήταν αρκετά καλή χωρίς να υπάρχουν ιδιαίτερες καθυστερήσεις, και απώλειες κατά την προβολή του πολυμεσικού προγράμματος.

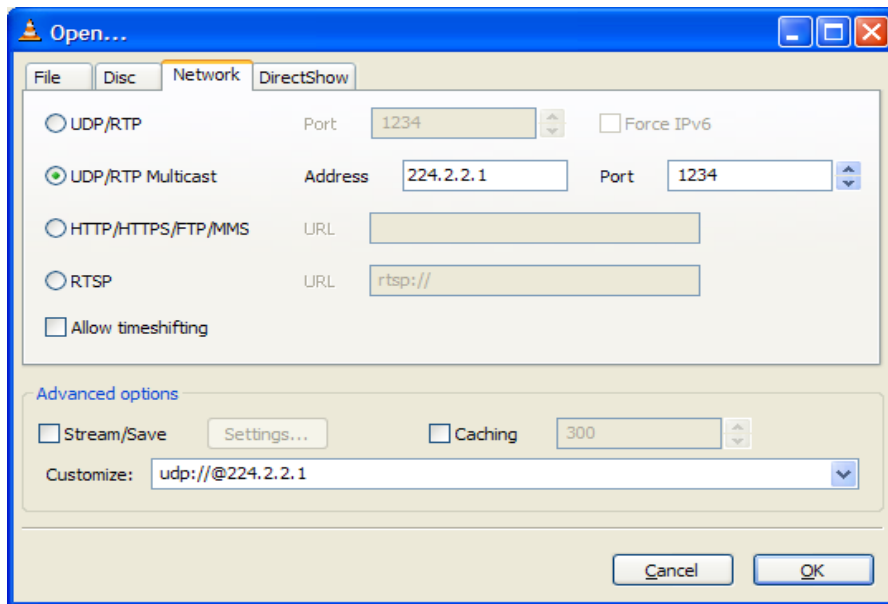
Η τοπολογία του συγκεκριμένου δικτύου δίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



**Σχήμα 3.25 Αρχιτεκτονική δικτύου αμφίδρομης επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με παραγωγή multicast δικτυακής κίνησης και κανάλι επιστροφής PSTN**

Ακολουθούν οι ενέργειες που έγιναν από την πλευρά του Client και του Server ούτως ώστε να επικοινωνήσουν:

Ο Client ενεργοποιεί το πρόγραμμα VLC και κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις, δηλώνοντας την multicast διεύθυνση των UDP πακέτων που θα πάρει από τον Server (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234) (Σχήμα 3.26).



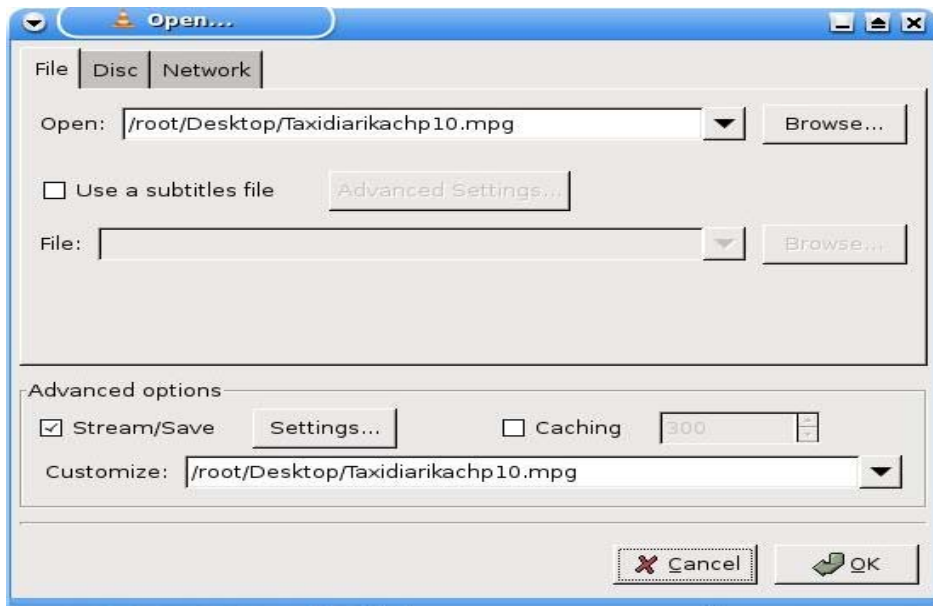
**Σχήμα 3.26** Ο Client δηλώνει την multicast διεύθυνση των πακέτων (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234)

Στη συνέχεια είναι έτοιμος να δεχτεί το πολυμεσικό πρόγραμμα που θα του αποστείλει ο Server (Σχήμα 3.27).

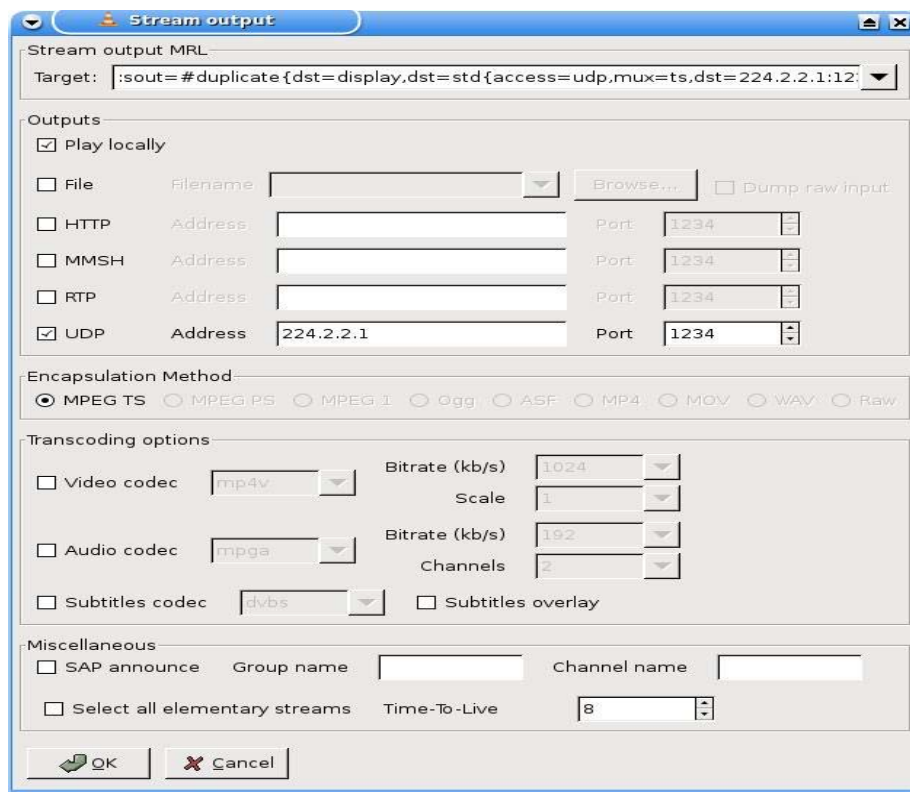


**Σχήμα 3.27** Ο Client είναι έτοιμος να λάβει την δικτυακή κίνηση

Ο Server από την άλλη πλευρά, καθορίζει στο VLC τα ψηφιακά δεδομένα (ταινία) που θα εκπέμψει (Σχήμα 3.28) και δηλώνει την multicast διεύθυνση στα UDP πακέτα που θα αποστείλει (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234) (Σχήμα 3.29).



**Σχήμα 3.28** Ο Server καθορίζει στο VLC τα ψηφιακά δεδομένα (ταινία) που θα εκπέμψει



**Σχήμα 3.29** Ο Server δηλώνει μία multicast διεύθυνση στα πακέτα (224.2.2.1) καθώς και το port επικοινωνίας (1234)

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας ο Server στέλνει πολυμεσική δικτυακή κίνηση (μια ταινία), μέσω της πλατφόρμας DVB-T, προς όλες τις κατευθύνσεις και ο Client λαμβάνει.

## 4. ΣΤΟΙΧΕΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Κύριος σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η αξιολόγηση των επιδόσεων του δικτύου που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες πειραματικές μετρήσεις μέσω των οποίων θα γίνει τελικά η αξιολόγηση του δικτύου.

Πριν την περιγραφή των μετρήσεων αυτών, θα παρατεθεί μια λεπτομερή αναφορά πειραματικών μετρήσεων μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών, βασισμένη στη διαδικασία με την οποία εκτελούνται και αναλύονται οι πειραματικές μετρήσεις σε ένα δίκτυο. Επίσης, θα δοθεί μια περιγραφή των προγραμμάτων που χρειάζονται για την παραπάνω διεργασία. Οι μετρήσεις έγιναν στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων (ΠΑΣΙΦΑΗ) του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, προσπαθούν να καλύψουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου. Γι' αυτόν το λόγο έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης του δικτύου. Τα κριτήρια λοιπόν τα οποία σε κάθε μέτρηση έκριναν τις επιδόσεις των δύο δικτύων είναι:

Για την μέτρηση δικτυακής κίνησης από σημείο σε σημείο:

- 1) Η μέση καθυστέρηση του δικτύου (TCP\_DELAY).
- 2) Οι απώλειες και αναμεταδόσεις πακέτων (LOSSES AND RETRANSMISSIONS).
- 3) Η μέση χρήση-φόρτος του δικτύου, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, αλλά και ανά δευτερόλεπτο, οι οποίες όμως χαρακτηρίζουν σε μεγάλο βαθμό, τη συνολική χρήση του δικτύου (THROUGHPUT).

Και για την μέτρηση δικτυακής κίνησης από σημείο σε πολλαπλά σημεία:

- 1) Η καθυστέρηση που είχαμε μεταξύ των πακέτων (Packet\_to\_Packet\_Delay).
- 2) Η διακύμανση της καθυστέρησης (JITTER).

### 4.1. Προγράμματα δημιουργίας και ανάλυσης της κίνησης ενός δικτύου

#### 4.1.1. Δημιουργία κίνησης

##### 4.1.1.1. Πρόγραμμα Iperf

Το Iperf είναι μια εναλλακτική λύση για τη δημιουργία TCP και UDP κίνησης καθώς και για τη μέτρηση της απόδοσης του εύρους ζώνης ενός δικτύου με TCP ή UDP κίνηση. Η εφαρμογή αυτή εφαρμόζεται τόσο σε Unix λειτουργικά όσο και σε Windows.

Επιτρέπει το συντονισμό διαφόρων παραμέτρων, μεγεθών και χαρακτηριστικών όπως μέτρηση εύρους ζώνης, απώλεια πακέτων, διακύμανση καθυστέρησης (jitter), μέγεθος αναφορών MSS/MTU και μεγέθη διαβασμένων παρατηρήσεων. Υποστηρίζει TCP window size μέσω των socket buffers, πολλαπλές ταυτόχρονες συνδέσεις μεταξύ server και client, δημιουργία UDP κίνησης με διευκρινισμένο εύρος ζώνης, multicast κίνηση και ικανότητα IPv6. Όλες οι παράμετροι πρέπει να διευκρινιστούν με το K (kilo-) και το M (mega-).

Σε καθορισμένο χρόνο μεταφοράς μπορεί να τρέξει περισσότερα από ένα σύνολα στοιχείων, επιλέγει τις καλύτερες μονάδες για τα μεγέθη της αναφοράς, και χρειάζεται πολλές περισσότερες συνδέσεις για τον server, ο οποίος μπορεί να οργανωθεί και ως daemon. Τυπώνει κατά περιόδους το μέσο εύρος ζώνης, το jitter, και τις απώλειες αναφοράς σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Τέλος, χρησιμοποιεί αντιπροσωπευτικά streams που εξετάζουν πώς η συμπίεση στο στρώμα συνδέσεων έχει επιπτώσεις στο εύρος ζώνης του δικτύου. [16]

#### 4.1.1.2. Πρόγραμμα Multi-Generator (MGEN)

Το πρόγραμμα MGEN είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα, και αποτελεί δημιουργία του Εργαστηρίου Έρευνας Naval (NRL) και συγκεκριμένα της ερευνητικής ομάδας που ασχολείται με τα πρωτόκολλα προηγμένων δικτύων.

Το MGEN παρέχει τη δυνατότητα να εκτελεστούν μετρήσεις για την απόδοση δικτύων που παρέχουν IP υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας UDP/IP κίνηση.

Το σύνολο των εργαλείων του, δημιουργεί κίνηση σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε το δίκτυο να μπορεί να φορτωθεί με ποικίλους τρόπους. Η κίνηση που δημιουργείται μπορεί επίσης να παραληφθεί και να καταγραφεί για τις αναλύσεις.

Χρησιμοποιούνται script αρχεία, για να καθοδηγήσουν τα αρχεία που δημιουργούνται, φορτώνοντας patterns καθ'όλη τη διάρκεια της κίνησης. Αυτά τα scripts χρειάζονται για την προσομοίωση unicast ή και multicast εφαρμογών UDP/IP.

Τα log στοιχεία του MGEN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τις στατιστικές απόδοσης όσον αφορά το throughput, τα packet loss rates, το communication delay, τα ποσοστά απώλειας πακέτων, την καθυστέρηση επικοινωνίας και άλλα.

Το MGEN αυτή την περίοδο εκτελείται τόσο σε διάφορα λειτουργικά τύπου Unix όσο και σε πλατφόρμες WIN32. Τέλος, κάποιες εκδόσεις του MGEN υποστηρίζουν graphical user interface. [17]

### 4.1.2. Ανάλυση κίνησης

#### 4.1.2.1. Πρόγραμμα Tcpdump

Το Tcpdump είναι μια εύχρηστη εφαρμογή ανάλυσης της κίνησης ενός δικτύου και εκτελείται σε γραμμή εντολών. Επιτρέπει στους χρήστες να ανιχνεύσουν και να εμφανίσουν κάθε είδους κίνηση, στον υπολογιστή που είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα, καθώς επίσης και την κίνηση πακέτων από άλλα υποδίκτυα.

Το Tcpdump έχει γραφτεί από τους Van Jacobson, Craig Leres και Steven McCanne. Συνεργάζεται με τις πιο πολλές Unix εφαρμογές όπως είναι οι Linux, Solaris, BSD, Mac OS X, HP-UX και AIX. Σε τέτοια συστήματα το tcpdump βασίζεται στην libpcap, η οποία είναι μια βιβλιοθήκη που περιέχει τις απαραίτητες ρουτίνες για να χρησιμοποιηθεί σαν φίλτρο πακέτων.

Σε Windows λειτουργικά η αντίστοιχη εφαρμογή είναι η **WinDump**. [18]

#### 4.1.2.2. Πρόγραμμα Tcptrace

Το Tcptrace είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, γραμμένο από τον Shawn Ostermann στο Ohio University, και χρησιμοποιείται για την ανάλυση TCP dump αρχείων. Δέχεται πακέτα που έχουν δημιουργηθεί από διάφορα packet-capture προγράμματα

όπως είναι το tcpdump, snoop, etherpeek, HP Net Metrix, και WinDump. Το tcptrace μπορεί να παράγει αρχεία τα οποία περιέχουν διαφόρους τύπους πληροφοριών για κάθε υπαρκτή κίνηση. Όπως για παράδειγμα χρόνος εξομοίωσης, bytes που έχουν σταλεί και παραληφθεί, retransmissions, round trip times, window advertisements, throughput, και άλλα . Μπορεί επίσης να παράγει γραφικές παραστάσεις για κάθε μια από τις παραπάνω πληροφορίες, για περαιτέρω ανάλυση. [18]

#### **4.1.2.3.Πρόγραμμα Xpl2gpl**

Το xpl2gpl είναι ένα AWK script που μετατρέπει τα αρχεία που προκύπτουν από το tcptrace και είναι τύπου .xpl σε αρχεία τύπου .gpl. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε τα παραγόμενα .gpl αρχεία στο Excel και να δημιουργήσουμε τις γραφικές παραστάσεις τους. [19]

#### **4.1.2.4.Προγράμματα της γλώσσας προγραμματισμού Perl**

Η Perl είναι μια πρακτική και δυναμική, ταυτόχρονα γλώσσα προγραμματισμού που δανείζεται τα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα από τη C, τη shell scripting (sh), AWK, sed, Lisp, και από πολλές άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Προγράμματα, που ο αλγόριθμός τους είναι δομημένος με βάση τη γλώσσα αυτή, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της διακύμανσης της καθυστέρησης των πακέτων ( jitter ) .

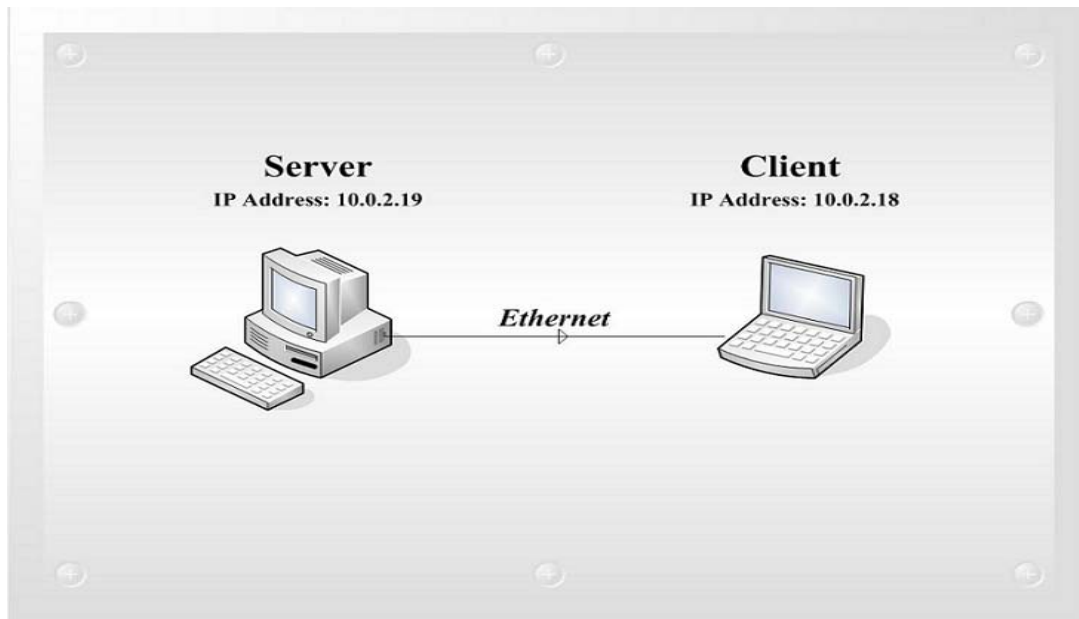
### **4.2. Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών**

Για να γίνει κατανοητή η χρήση και η λειτουργία των παραπάνω προγραμμάτων ακολουθεί ένα σενάριο δημιουργίας και ανάλυσης της δικτυακής κίνησης ενός δικτύου, μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Όπως βλέπουμε κι από το σχήμα 4.1, πρόκειται για ένα δίκτυο Ethernet όπου υπάρχει ένας υπολογιστής που έχει τον ρόλο του Server κι ένας άλλος που έχει τον ρόλο του Client. Έχουν συνδεθεί με ένα απλό UTP καλώδιο και επικοινωνούν. Ο Server, που πρόκειται για έναν σταθερό υπολογιστή (AMD 64bit / 2GHz με 512MB RAM), έχει υλοποιηθεί με βάση το λειτουργικό σύστημα των Linux, (έκδοση Debian ETCHE). Ενώ ο Client που είναι κινητός υπολογιστής (laptop Pentium 4/ 3.20 GHz με 704MB RAM) έχει υλοποιηθεί με βάση το λειτουργικό σύστημα των Windows, (έκδοση Windows XP Professional).

Ο Server παίρνει ως IP διεύθυνση την 10.0.2.19, ως Subnet Mask την 255.255.255.0 και ως Default Gateway την 10.0.2.1. Ομοίως και ο Client παίρνει ως IP διεύθυνση την 10.0.2.18, ως Subnet Mask την 255.255.255.0 και ως Default Gateway την 10.0.2.1. Πρέπει και οι δύο υπολογιστές να έχουν αποθηκευμένα τα προγράμματα που έχουν αναφερθεί παραπάνω για να επιτευχθεί η δημιουργία και η ανάλυση της δικτυακής κίνησης. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το Window Size του Client είναι 262144.





Σχήμα 4.1 Δίκτυο Ethernet

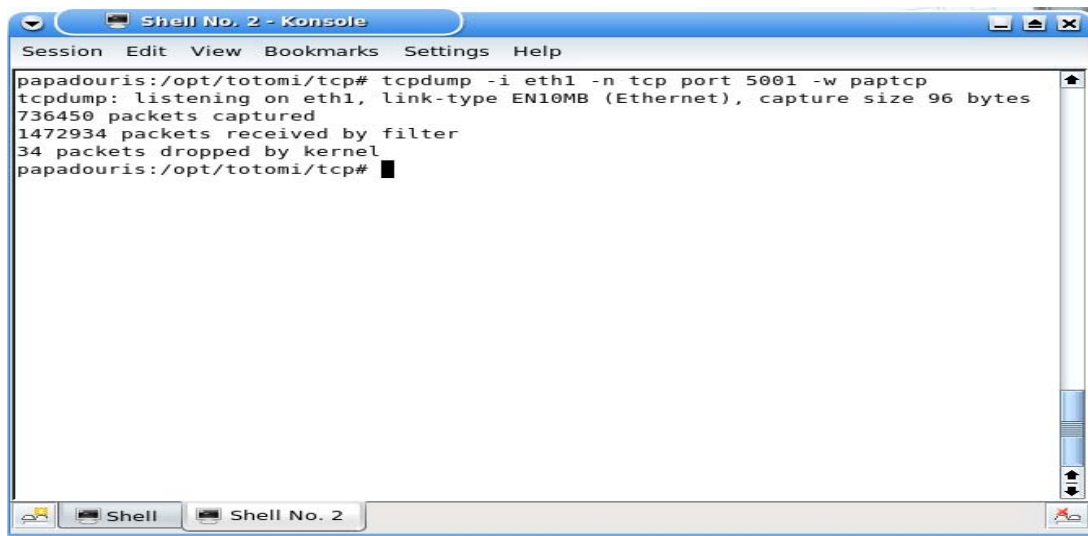
Η δικτυακή κίνηση του δικτύου που υλοποιήθηκε μπορεί να είναι είτε **unicast** (point-to-point) είτε **multicast** (point-to-multipoint).

#### 4.2.1. Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast)

##### 4.2.1.1. Δημιουργία δικτυακής κίνησης TCP

Ο όρος **unicast** αναφέρεται στην σημείο-προς-σημείο επικοινωνία, όπου τα δεδομένα στέλνονται από έναν αποστολέα σε έναν αποδέκτη πάνω από ένα IP δίκτυο. Για να δημιουργηθεί αυτή η δικτυακή κίνηση χρειάζεται όπως είδαμε και παραπάνω το πρόγραμμα `iperf`. Και για να ανιχνευθεί και να εμφανιστεί χρειάζεται το πρόγραμμα `tcpdump` στον Server και `windump` αντίστοιχα στον Client.

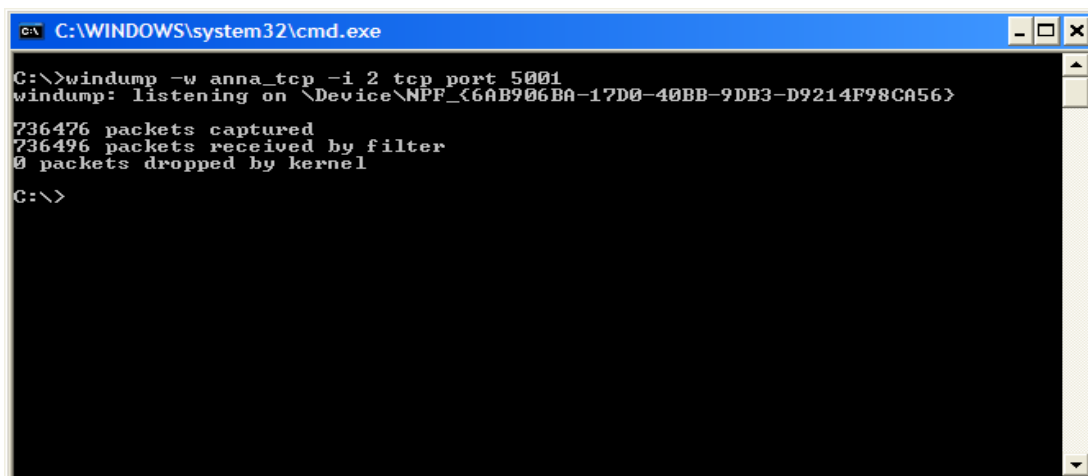
Αρχικά πρέπει ο Server, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.2, να εκτελέσει την εντολή του `tcpdump`, για να μπορεί να ανιχνεύσει όλη την κίνηση (sniffing), πριν αρχίσει η ροή της. Τα στοιχεία της κίνησης αυτής θα καταχωρούνται στο αρχείο με το όνομα `partcp`.



```
Shell No. 2 - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/opt/totomi/tcp# tcpdump -i eth1 -n tcp port 5001 -w paptcp
tcpdump: listening on eth1, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes
736450 packets captured
1472934 packets received by filter
34 packets dropped by kernel
papadouris:/opt/totomi/tcp#
```

**Σχήμα 4.2 Εντολή tcpdump (Δικτυακή κίνηση TCP)**

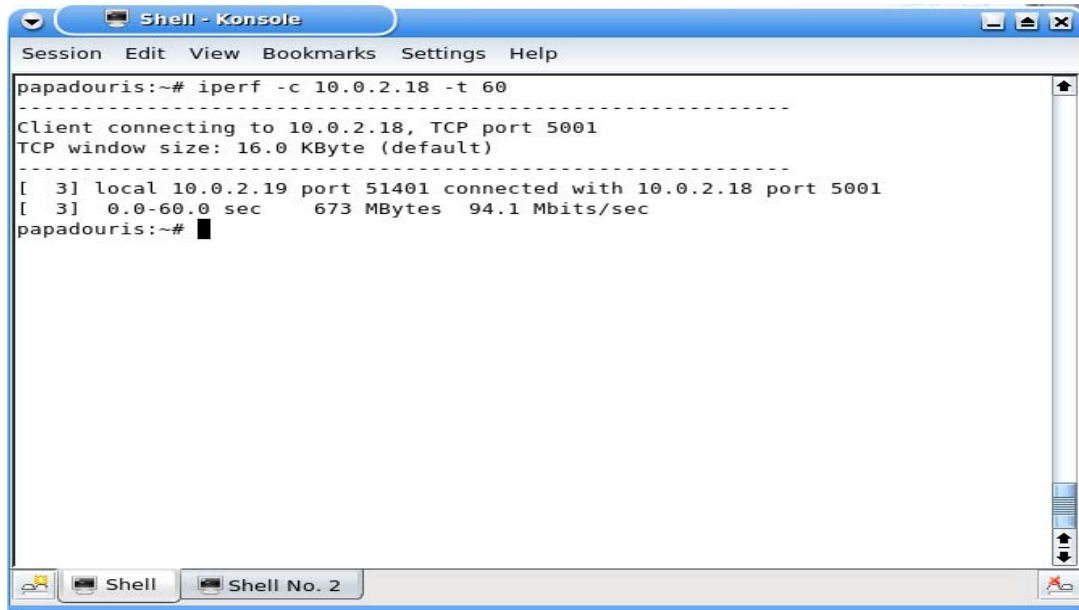
Αντίστοιχα και ο Client, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.3, εκτελεί την εντολή του windump, για να μπορεί να ανιχνεύσει όλη την κίνηση (sniffing), πριν αρχίσει η ροή της. Τα στοιχεία της κίνησης αυτής θα καταχωρούνται στο αρχείο με το όνομα `anna_tcp`.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>windump -w anna_tcp -i 2 tcp port 5001
windump: listening on \Device\NPF_{6AB906BA-17D0-40BB-9DB3-D9214F98CA56}
736476 packets captured
736496 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
C:\>
```

**Σχήμα 4.3 Εντολή windump (Δικτυακή κίνηση TCP)**

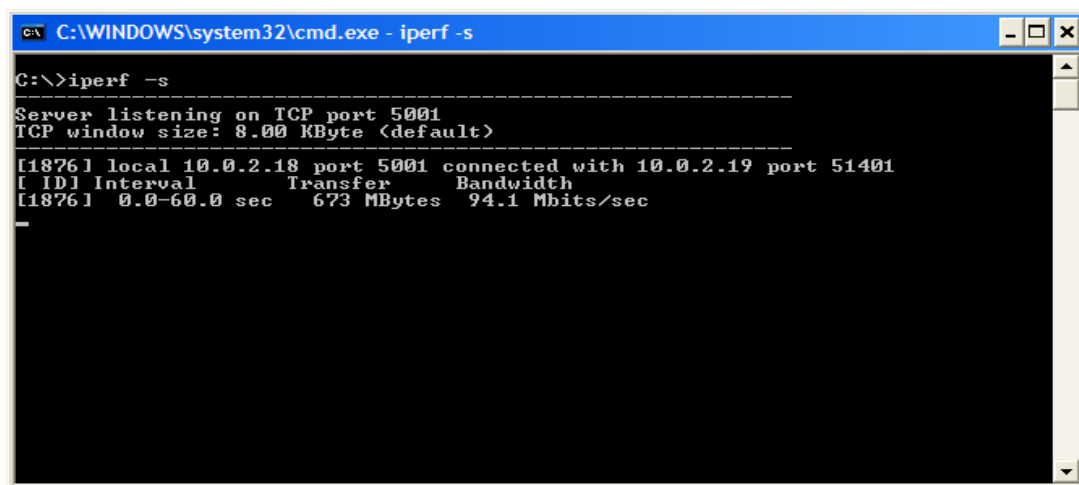
Κι αφού τώρα είναι έτοιμα τα φίλτρα της κίνησης, μπορούμε να δημιουργήσουμε την ροή της. Έτσι στον Server, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.4, εκτελείται η εντολή του `iperf` για να δημιουργήσει δικτυακή κίνηση προς τον Client για χρονικό διάστημα 60 sec.



```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:~# iperf -c 10.0.2.18 -t 60
-----
Client connecting to 10.0.2.18, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[  3] local 10.0.2.19 port 51401 connected with 10.0.2.18 port 5001
[  3] 0.0-60.0 sec  673 MBytes  94.1 Mbits/sec
papadouris:~#
```

**Σχήμα 4.4 Εντολή iperf στον Server (Δικτυακή κίνηση TCP)**

Ομοίως και στον Client, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.5, εκτελείται η εντολή του iperf για να δεχτεί την δικτυακή κίνηση από τον Server.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - iperf -s
C:\>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[1876] local 10.0.2.18 port 5001 connected with 10.0.2.19 port 51401
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[1876] 0.0-60.0 sec  673 MBytes  94.1 Mbits/sec
-----
```

**Σχήμα 4.5 Εντολή iperf στον Client (Δικτυακή κίνηση TCP)**

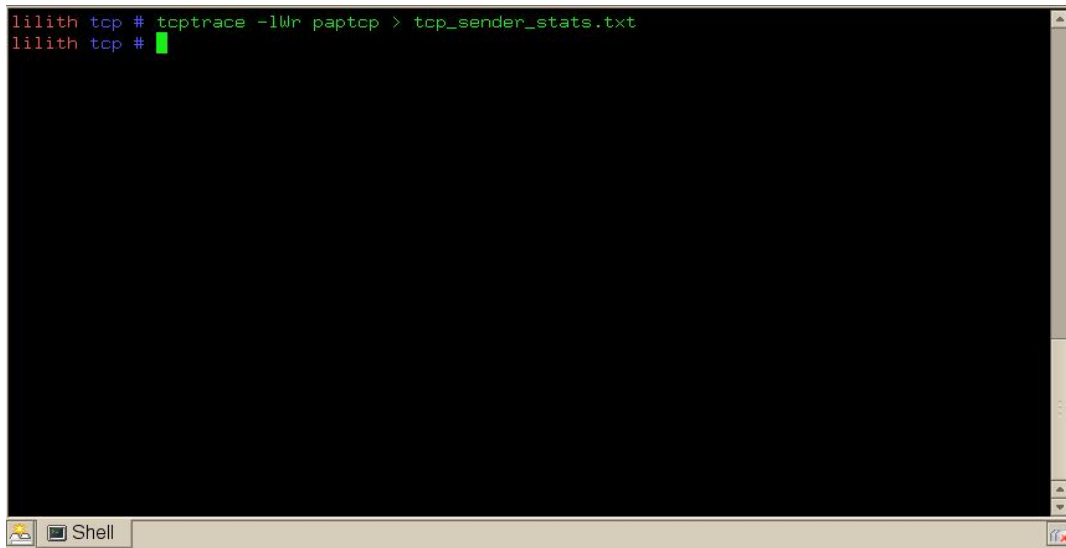
Έτσι, έχουμε την δημιουργία μιας δικτυακής κίνησης μεταξύ των Server και Client η οποία ανιχνεύεται και στους δύο υπολογιστές.

Μετά το τέλος της κίνησης αυτής, παρατηρούμε ότι ανιχνεύτηκαν 736450 πακέτα σταλμένα από τον Server, 736476 πακέτα σταλμένα από τον Client και το Bandwidth του δικτύου ήταν 94.1Mbits/sec.

#### **4.2.1.2.Ανάλυση δικτυακής κίνησης TCP**

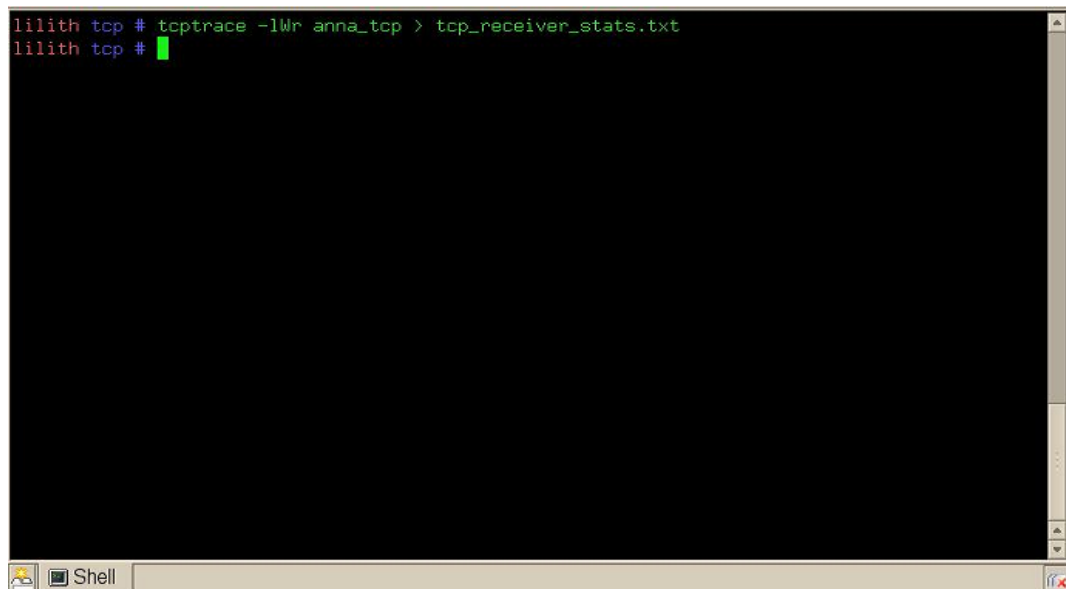
Στο επόμενο στάδιο έχουμε την ανάλυση αυτής κίνησης. Η ανάλυση πρέπει να γίνει σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Linux.

Παίρνουμε τα δύο αρχεία που δημιουργήθηκαν (partcp και anna\_tcp) και εκτελούμε για το καθένα την εντολή tcptrace. Η εντολή του tcptrace που ακολουθεί παράγει τα στατιστικά της κίνησης σε ένα αρχείο της μορφής .txt.



```
lilith tcp # tcptrace -lWr partcp > tcp_sender_stats.txt
lilith tcp # █
```

**Σχήμα 4.6** Εντολή tcptrace για τα στατιστικά του αρχείου partcp



```
lilith tcp # tcptrace -lWr anna_tcp > tcp_receiver_stats.txt
lilith tcp # █
```

**Σχήμα 4.7** Εντολή tcptrace για τα στατιστικά του αρχείου anna\_tcp

Ακολουθεί μια άλλη εντολή του tcptrace, όπου παράγει το TCP Delay του δικτύου. Για να υπολογιστεί αυτό χρειάζεται μόνο το αρχείο του Server (partcp). Τα δείγματα της καθυστέρησης αναπαρίστανται ανά 0.5 sec.

```
lilith delay # tcptrace -zxy -xtraffic'-R -i0.5' ../paptcp
mod_traffic: characterizing traffic
1 arg remaining, starting with '../paptcp'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

736450 packets seen, 736450 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:01.143874, 643820 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.022934
Dumping port statistics into file traffic_byport.dat
Dumping overall statistics into file traffic_stats.dat
Plotting performed at 0.500 second intervals
lilith delay # █
```

**Σχήμα 4.8 Εντολή tcptrace για το TCP Delay του δικτύου**

Στη συνέχεια έχουμε τον υπολογισμό του throughput (οφέλιμη ταχύτητα) του δικτύου. Για να γίνει αυτό υπάρχουν δύο τρόποι:

Με τον έναν τρόπο υπολογίζονται τα Bytes που φτάνουν στο port ανά δευτερόλεπτο και η εντολή του tcptrace είναι αυτή που ακολουθεί στο σχήμα 4.9. Τα δείγματα του στιγμιαίου ρυθμού μετάδοσης αναπαρίστανται ανά 1 sec.

```
lilith throughput_receiver # tcptrace -zxy -xtraffic'-B -i1' ../anna_tcp
mod_traffic: characterizing traffic
1 arg remaining, starting with '../anna_tcp'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

736476 packets seen, 736476 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:01.191454, 618132 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.021971
Dumping port statistics into file traffic_byport.dat
Dumping overall statistics into file traffic_stats.dat
Plotting performed at 1.000 second intervals
lilith throughput_receiver # █
```

**Σχήμα 4.9 Εντολή tcptrace για τον υπολογισμό του throughput (ανά δευτερόλεπτο)**

Ενώ με τον άλλο τρόπο υπολογίζονται τα Bytes ανά χρονικό διάστημα (segment) και η εντολή του tcptrace είναι αυτή που ακολουθεί στο σχήμα 4.10.

```
lilith test # tcptrace -zxy -A12270 -y -T ../anna_tcp
1 arg remaining, starting with '../anna_tcp'
Ostermann's tcptrace -- version 6.6.7 -- Thu Nov  4, 2004

736476 packets seen, 736476 TCP packets traced
elapsed wallclock time: 0:00:01.419288, 518905 pkts/sec analyzed
trace file elapsed time: 0:01:00.021971
TCP connection info:
  1: 10.0.2.19:51401 - 10.0.2.18:5001 (a2b) 489364> 247112< (complete)
lilith test # █
```

**Σχήμα 4.10** Εντολή tcptrace για τον υπολογισμό του throughput (ανά segment)

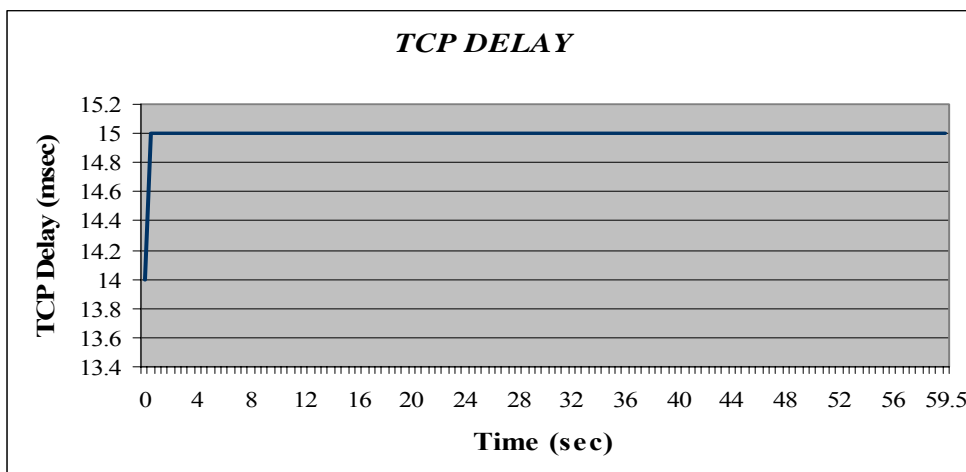
Αφού υπολογιστεί και το throughput έπειτα είναι όλα έτοιμα για να βγουν οι γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων μας. Έτσι μετατρέπουμε όλα τα αρχεία που έχουμε δημιουργήσει, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.11, σε μορφή .gpl για να μπορέσουμε να τα εισάγουμε στο Microsoft Office Excel των Windows και να φτιάξουμε τις γραφικές τους.

```
lilith throughput_receiver # xpl2gpl -s traffic_bytes.xpl
lilith throughput_receiver # cd ../delay/
lilith delay # xpl2gpl -s traffic_rtt.xpl
lilith delay # cd ../test/
lilith test # xpl2gpl -s a2b_tput.xpl
lilith test # █
```

**Σχήμα 4.11** Εντολή xpl2gpl

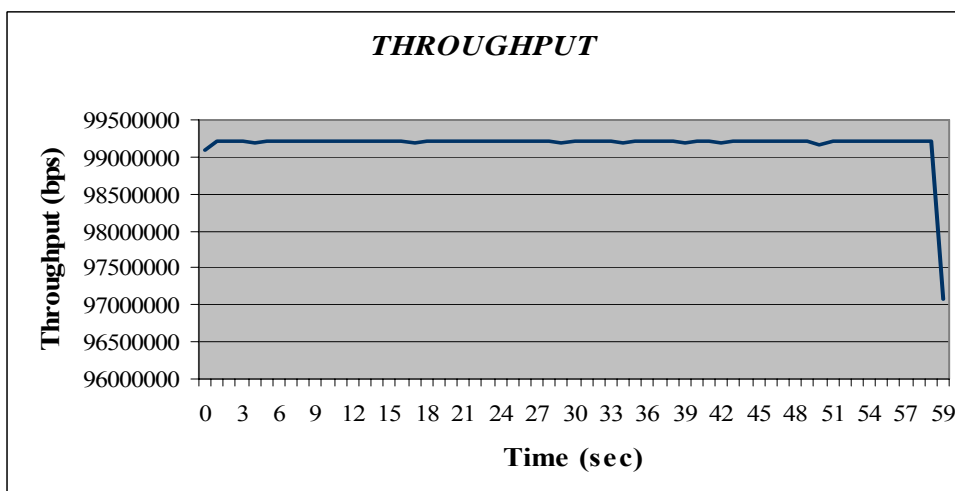
### 4.2.1.3.Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης TCP

Τέλος, έχουμε την απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων :  
Οι αναμεταδόσεις πακέτων (Retransmissions) ήταν μηδενικές.  
Δίνεται η γραφική παράσταση του TCP Delay όπου παρατηρούμε ότι οι τιμές του παραμένουν σταθερές στα 15msec και κρίνονται φυσιολογικές σύμφωνα με την Ethernet δικτυακή κίνηση των 60 sec, που είχε το δίκτυό μας.



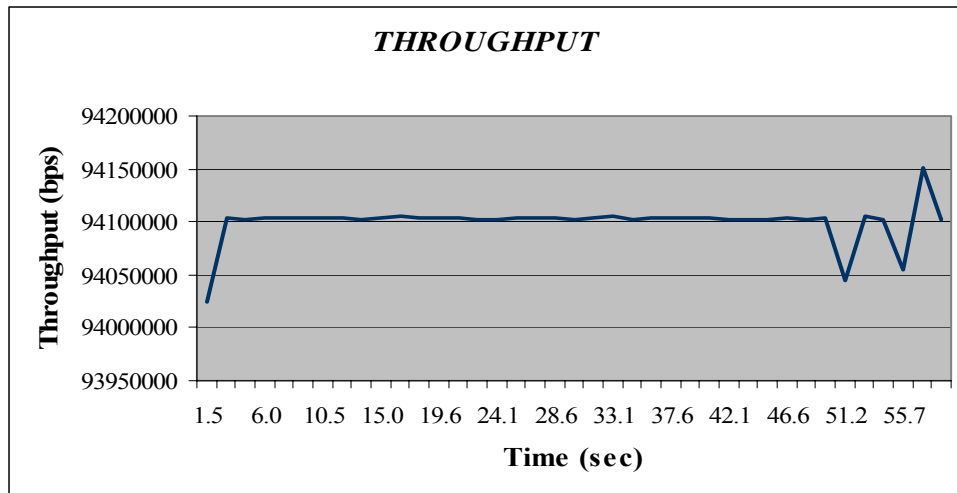
**Σχήμα 4.12** Γραφική παράσταση του TCP Delay  
 ( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.1)

Επίσης, δίνεται η γραφική παράσταση του Throughput που έχει υπολογιστεί ανά δευτερόλεπτο. Παρατηρούμε ότι οι τιμές του κυμαίνονται γύρω στα 99.2Mbps, κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή, εφόσον το δίκτυό μας χρησιμοποιεί το Ethernet (100 Mbps) ως δίαυλο επικοινωνίας.



**Σχήμα 4.13** Γραφική παράσταση του Throughput (ανά sec)  
 ( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.2)

Τέλος, δίνεται η γραφική παράσταση του Throughput που έχει υπολογιστεί ανά χρονικό διάστημα (segment). Παρατηρούμε ότι οι τιμές του κυμαίνονται γύρω στα 94.1Mbps κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή, εφόσον το δίκτυό μας χρησιμοποιεί το Ethernet (100 Mbps) ως δίαυλο επικοινωνίας.



**Σχήμα 4.14** Γραφική παράσταση του Throughput (ανά segment)  
 ( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.3)

#### 4.2.2. Πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast)

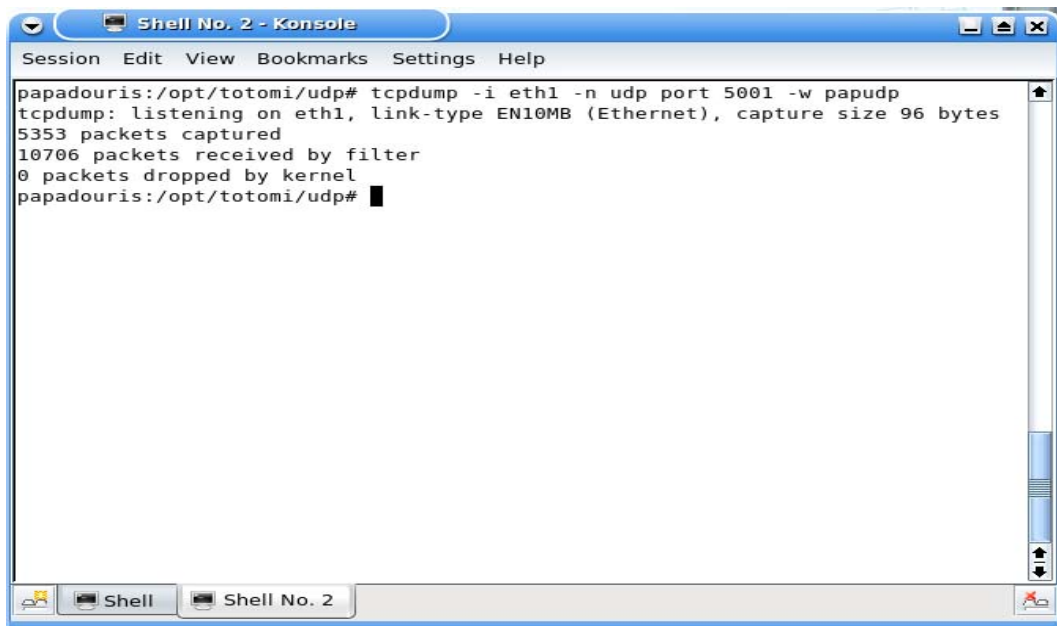
##### 4.2.2.1. Δημιουργία δικτυακής κίνησης UDP

Το δίκτυο το οποίο έχει υλοποιηθεί υποστηρίζει επίσης **multicast** εφαρμογές. Με τον όρο multicasting εννοείται ένας αποδοτικός μηχανισμός για την εξοικονόμηση εύρους ζώνης διαχέοντας τα δεδομένα από μία πηγή σε πολλούς παραλήπτες παράλληλα.

Για να δημιουργηθεί αυτή η δικτυακή κίνηση χρειάζεται όπως είδαμε και προηγουμένως το πρόγραμμα iperf. Και για να ανιχνευθεί και να εμφανιστεί χρειάζεται το πρόγραμμα tcpdump στον Server και windump αντίστοιχα στον Client.

Αρχικά πρέπει ο Server, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.15, να εκτελέσει την εντολή του tcpdump, για να μπορεί να ανιχνεύσει όλη την κίνηση (sniffing), πριν αρχίσει η ροή της. Τα στοιχεία της κίνησης αυτής θα καταχωρούνται στο αρχείο με το όνομα rapudp.

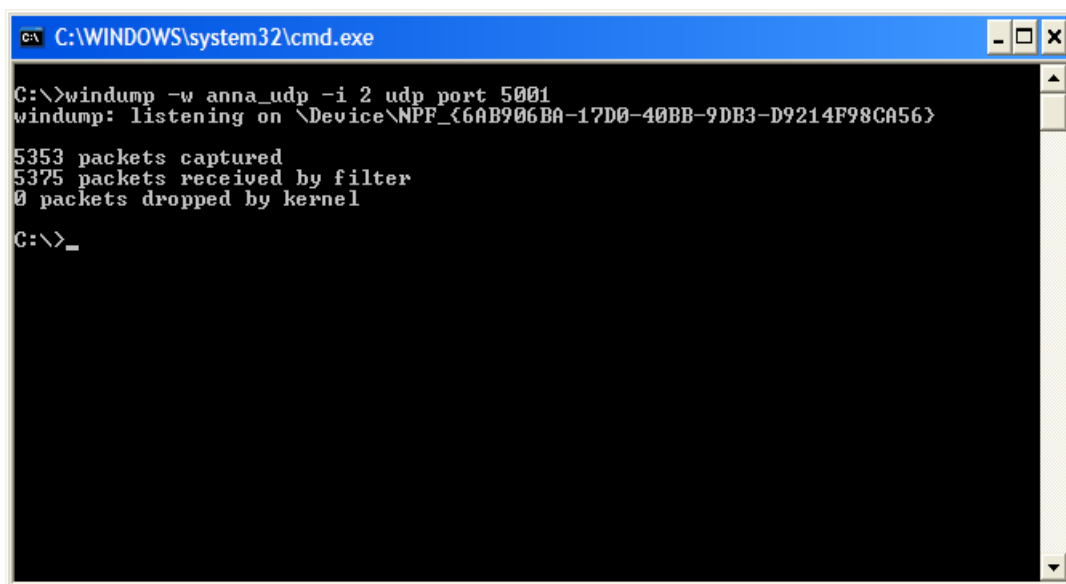




```
Shell No. 2 - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:/opt/totomi/udp# tcpdump -i eth1 -n udp port 5001 -w papudp
tcpdump: listening on eth1, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 96 bytes
5353 packets captured
10706 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
papadouris:/opt/totomi/udp#
```

Σχήμα 4.15 Εντολή tcpdump (Δικτυακή κίνηση UDP)

Αντίστοιχα και ο Client, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.16, εκτελεί την εντολή του windump, για να μπορεί να ανιχνεύσει όλη την κίνηση (sniffing), πριν αρχίσει η ροή της. Τα στοιχεία της κίνησης αυτής θα καταχωρούνται στο αρχείο με το όνομα `anna_udp`.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>windump -w anna_udp -i 2 udp port 5001
windump: listening on \Device\NPF_{6AB906BA-17D0-40BB-9DB3-D9214F98CA56}
5353 packets captured
5375 packets received by filter
0 packets dropped by kernel
C:\>_
```

Σχήμα 4.16 Εντολή windump (Δικτυακή κίνηση UDP)

Κι αφού τώρα είναι έτοιμα τα φίλτρα της κίνησης, μπορούμε να δημιουργήσουμε την ροή της. Έτσι στον Server, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.17, εκτελείται η εντολή του iperf για να δημιουργήσει δικτυακή κίνηση προς τον Client για χρονικό διάστημα 60 sec.

```
Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
papadouris:~# iperf -c 10.0.2.18 -t 60 -u
-----
Client connecting to 10.0.2.18, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 122 KByte (default)
-----
[  3] local 10.0.2.19 port 32770 connected with 10.0.2.18 port 5001
[  3] 0.0-60.0 sec 7.50 MBytes 1.05 Mbits/sec
[  3] Sent 5351 datagrams
[  3] Server Report:
[  3] 0.0-60.0 sec 7.50 MBytes 1.05 Mbits/sec 6.400 ms 0/ 5351 (0%)
papadouris:~#
```

**Σχήμα 4.17 Εντολή iperf στον Server (Δικτυακή κίνηση UDP)**

Ομοίως και στον Client, όπως φαίνεται και στο screenshot του σχήματος 4.18, εκτελείται η εντολή του iperf για να δεχτεί την δικτυακή κίνηση από τον Server.

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - iperf -s -u
C:\>iperf -s -u
-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KByte (default)
-----
[1924] local 10.0.2.18 port 5001 connected with 10.0.2.19 port 32770
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Jitter    Lost/Total Datagrams
[1924] 0.0-60.0 sec 7.50 MBytes 1.05 Mbits/sec 6.400 ms 0/ 5351 (0%)
-
```

**Σχήμα 4.18 Εντολή iperf στον Client (Δικτυακή κίνηση UDP)**

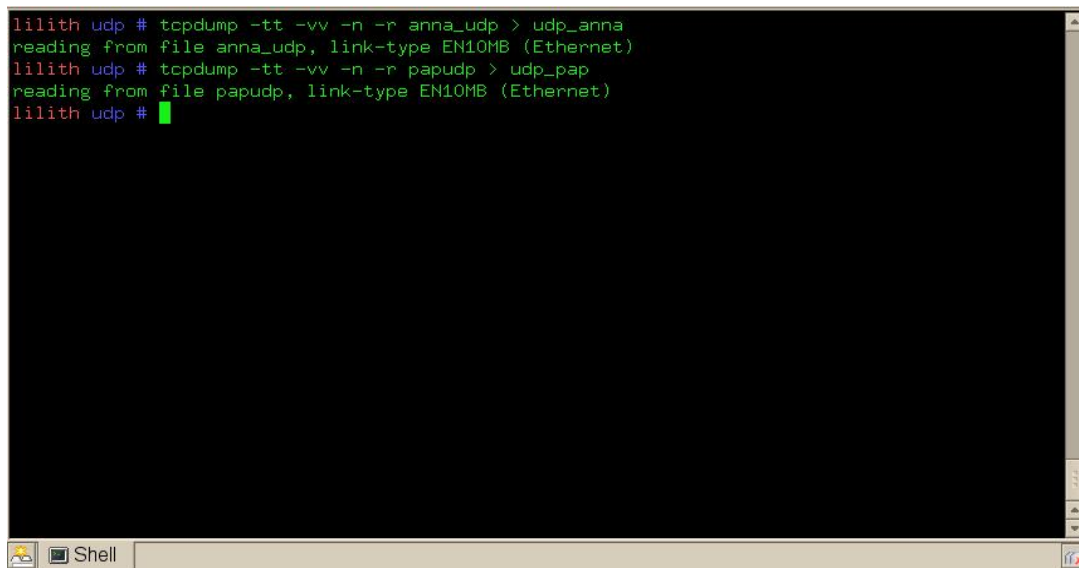
Τελικά, έχουμε την δημιουργία μιας δικτυακής κίνησης από τον Server στον Client η οποία ανιχνεύεται και στους δύο υπολογιστές.

Μετά το τέλος της δικτυακής κίνησης, παρατηρούμε ότι ανιχνεύτηκαν 5353 πακέτα σταλμένα από τον Server, 5353 πακέτα σταλμένα από τον Client και το Bandwidth του δικτύου ήταν 1.05 Mbits/sec.

#### **4.2.2.2. Ανάλυση δικτυακής κίνησης UDP**

Στο επόμενο στάδιο έχουμε την ανάλυση αυτής κίνησης. Η ανάλυση πρέπει να γίνει σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Linux.

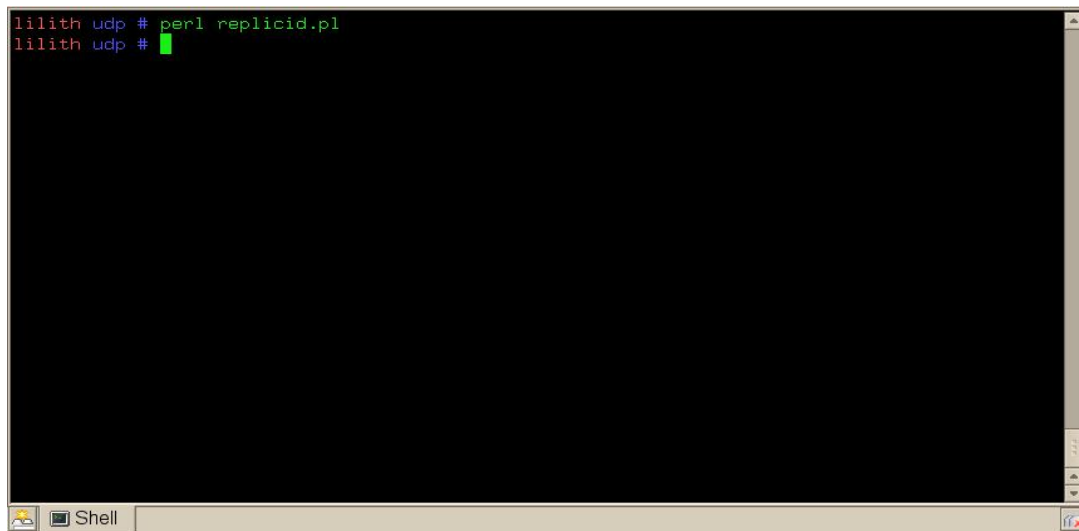
Παίρνουμε τα δύο αρχεία που δημιουργήθηκαν (papudp και anna\_udp) και εκτελούμε για το καθένα την εντολή tcpdump. Οι εντολές του tcpdump που ακολουθούν παράγουν τα στατιστικά της κίνησης σε αρχεία της μορφής .txt.



```
lilith udp # tcpdump -tt -vv -n -r anna_udp > udp_anna
reading from file anna_udp, link-type EN10MB (Ethernet)
lilith udp # tcpdump -tt -vv -n -r papudp > udp_pap
reading from file papudp, link-type EN10MB (Ethernet)
lilith udp # █
```

**Σχήμα 4.19** Εντολή tcpdump για τα στατιστικά των αρχείων papudp και anna\_udp

Στη συνέχεια εκτελούμε το πρόγραμμα replicid της perl, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.20. Σε κάθε αρχείο θα πρέπει τα id να είναι μοναδικά και με τη βοήθεια αυτού του προγράμματος γίνεται ο έλεγχος για την μοναδικότητά τους.

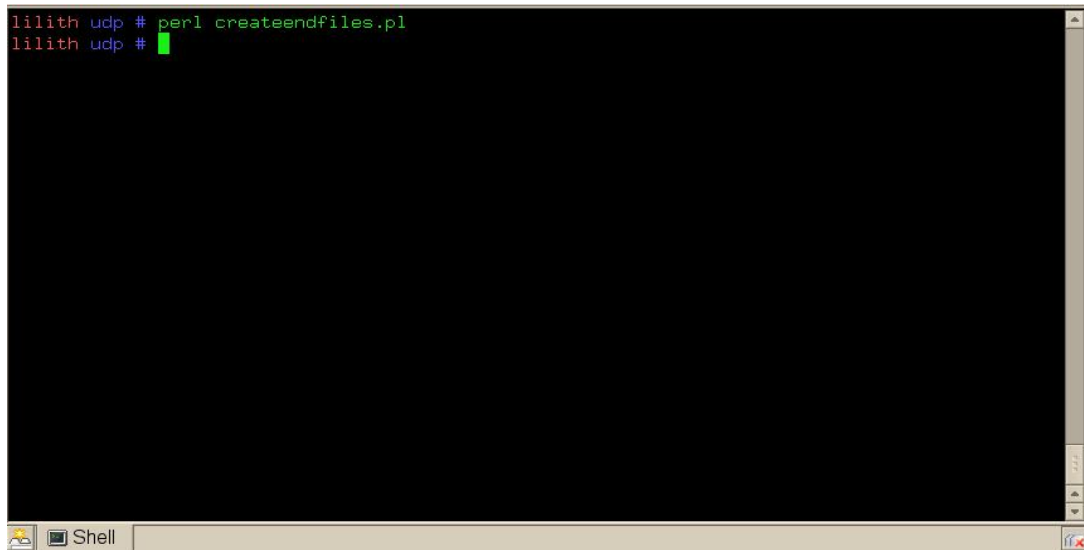


```
lilith udp # perl replicid.pl
lilith udp # █
```

**Σχήμα 4.20** Εντολή perl replicid.pl

Ακολουθεί, η εκτέλεση του προγράμματος createendfiles της perl, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.21, για τη δημιουργία δύο νέων αρχείων εκ των οποίων το ένα έχει την κίνηση του αποστολέα (sender) και το άλλο του δέκτη (receiver).

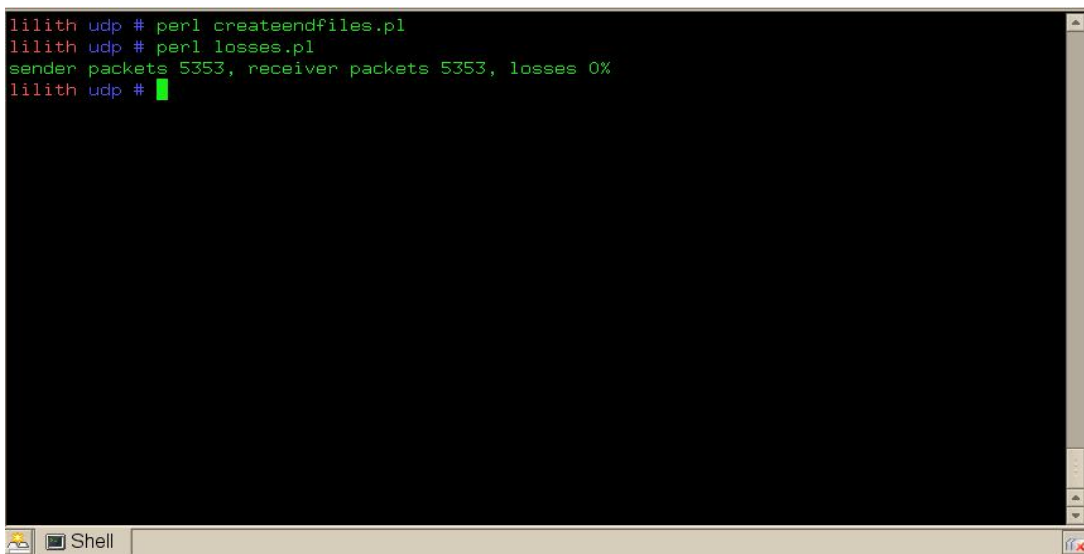
```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # █
```

A terminal window titled "Shell" with a black background. The prompt "lilith udp #" is shown in red. The command "perl createendfiles.pl" is entered in green. A green cursor is visible on the second line.

**Σχήμα 4.21** Εντολή perl createendfiles.pl

Με το πρόγραμμα losses της perl, μπορούμε να βρούμε τις απώλειες που είχαμε κατά την ενεργό δράση του δικτύου. Και απ'ότι βλέπουμε στάλθηκαν και παραλήφθηκαν 5353 πακέτα, πράγμα που δικαιολογεί το ποσοστό των απωλειών να είναι 0%.

```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # perl losses.pl
sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%
lilith udp # █
```

A terminal window titled "Shell" with a black background. The prompt "lilith udp #" is shown in red. The command "perl createendfiles.pl" is entered in green. The second prompt "perl losses.pl" is also in green. The output "sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%" is shown in green. A green cursor is visible on the third line.

**Σχήμα 4.22** Εντολή perl losses.pl

Με το επόμενο πρόγραμμα, το throughput της perl, μπορούμε να βρούμε το data rate του αποστολέα και του δέκτη αντίστοιχα.

```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # perl losses.pl
sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%
lilith udp # perl throughput.pl
SENDER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0120630264282 sec throughput is 133594.907351699 bytes
/sec
stime 1155198971.522895 etime 1155199031.533605
RECEIVER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0107100009918 sec throughput is 133597.919435839 bytes
/sec
lilith udp # █
```

**Σχήμα 4.23** Εντολή perl throughput.pl

Ακολουθεί το πρόγραμμα align\_for\_jitt της perl, όπου ευθυγραμμίζει κάθε πακέτο του αρχείου του δέκτη με κάθε πακέτο του αρχείου του αποστολέα, κι αυτό για να μπορέσουμε να πάρουμε αργότερα την διακύμανση της καθυστέρησης (jitter).

```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # perl losses.pl
sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%
lilith udp # perl throughput.pl
SENDER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0120630264282 sec throughput is 133594.907351699 bytes
/sec
stime 1155198971.522895 etime 1155199031.533605
RECEIVER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0107100009918 sec throughput is 133597.919435839 bytes
/sec
lilith udp # perl align_for_jitt.pl
5353 5353
14324628 5353
lilith udp # █
```

**Σχήμα 4.24** Εντολή perl align\_for\_jitt.pl

Με το πρόγραμμα timestamp της perl, έχουμε τη δημιουργία δύο αρχείων με τους χρόνους του αποστολέα και του δέκτη αντίστοιχα, για τον υπολογισμό του jitter.

```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # perl losses.pl
sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%
lilith udp # perl throughput.pl
SENDER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0120630264282 sec throughput is 133594.907351699 bytes
/sec
stime 1155198971.522895 etime 1155199031.533605
RECEIVER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0107100009918 sec throughput is 133597.919435839 bytes
/sec
lilith udp # perl align_for_jitt.pl
5353 5353
14324628 5353
lilith udp # perl timestamp.pl
lilith udp # █
```

Σχήμα 4.25 Εντολή perl timestamp.pl

Τέλος, με το πρόγραμμα jitter της perl υπολογίζεται η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) του δικτύου. Όπως παρατηρούμε η μέγιστη τιμή του jitter ήταν περίπου 0.0602 msec, η ελάχιστη 0.0001 msec και η μέση τιμή του ήταν 0.0088 msec. Επίσης δίνεται και η καθυστέρηση που είχαμε μεταξύ των πακέτων (packet to packet Delay), όπου η μέγιστη τιμή της ήταν 0.4291 msec, η ελάχιστη 0 και η μέση τιμή της ήταν 0.0089 msec.

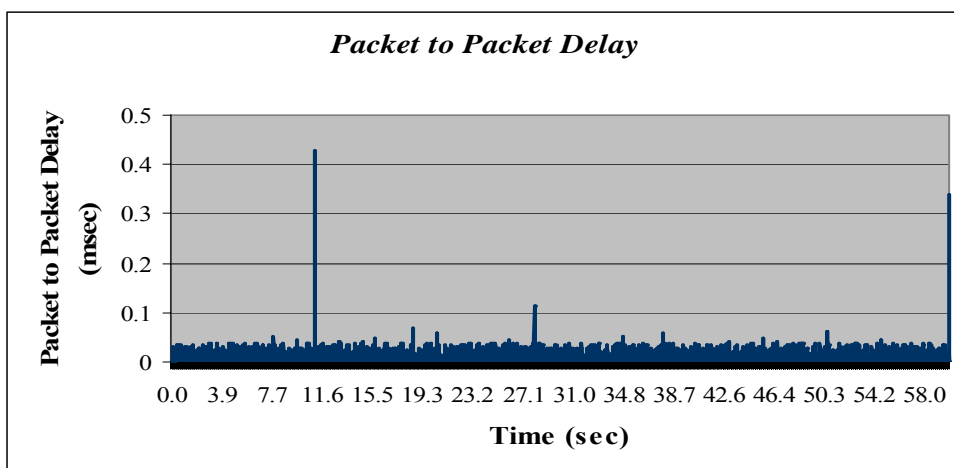
```
lilith udp # perl createendfiles.pl
lilith udp # perl losses.pl
sender packets 5353, receiver packets 5353, losses 0%
lilith udp # perl throughput.pl
SENDER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0120630264282 sec throughput is 133594.907351699 bytes
/sec
stime 1155198971.522895 etime 1155199031.533605
RECEIVER RESULTS
total bytes transferred 8017306 in 60.0107100009918 sec throughput is 133597.919435839 bytes
/sec
lilith udp # perl align_for_jitt.pl
5353 5353
14324628 5353
lilith udp # perl timestamp.pl
lilith udp # perl jitter.pl
aver jitter is 0.00883507447906039 max is 0.0602225122248821 min 0.00019371509552002
aver pack2packdelay is 0.00891003144604679 max is 0.429153442382812 min 0
lilith udp # █
```

Σχήμα 4.26 Εντολή perl jitter.pl

#### 4.2.2.3.Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης UDP

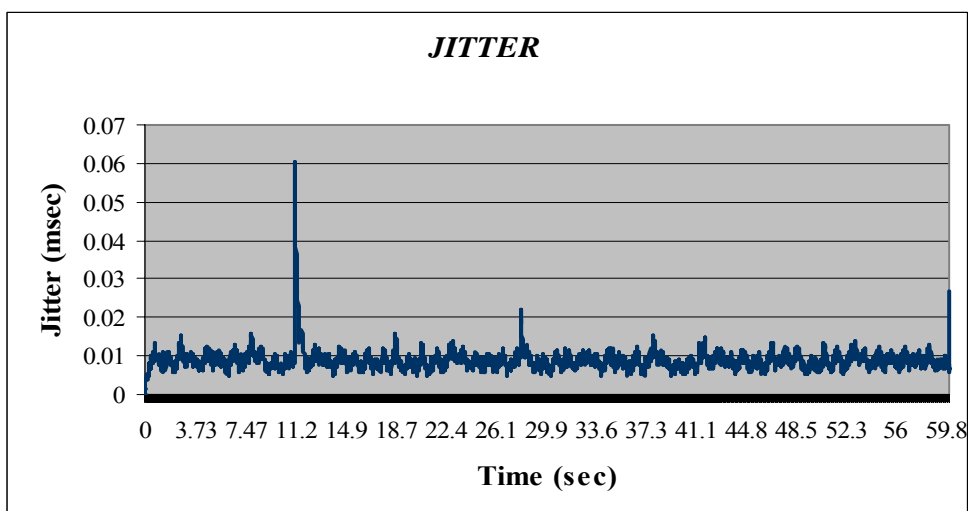
Τέλος, έχουμε την απεικόνιση των γραφικών παραστάσεων :

Δίνεται η γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay, όπου παρατηρείται ότι οι τιμές του κυμαίνονται στα 0.008 msec κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή, εφόσον το δίκτυό μας χρησιμοποιεί το Ethernet ως δίαυλο επικοινωνίας.



Σχήμα 4.27 Γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay

Επίσης, δίνεται η γραφική παράσταση του Jitter, όπου παρατηρείται ότι οι τιμές του κυμαίνονται στα 0.008 msec κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Αυτή η διακύμανση της καθυστέρησης είναι αναμενόμενη εφόσον πρόκειται για επικοινωνία δύο υπολογιστών (απ' ευθείας) μέσω σύνδεσης Ethernet.



Σχήμα 4.28 Γραφική παράσταση του Jitter

Καταλήγωντας, μπορούμε να σημειώσουμε ότι το δίκτυο, με βάση τις προϋποθέσεις και τις απαιτήσεις που είχε, δημιούργησε μια ικανοποιητική δικτυακή κίνηση. Έτσι προέκυψαν και τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

### **4.3. Πειραματικές μετρήσεις δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια λεπτομερή αναφορά πάνω στην αρχιτεκτονική του δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN.

Παρακάτω αναφέρονται τα σενάρια που υιοθετήθηκαν πάνω στο προγραμματισμό των συγκεκριμένων πειραματικών μετρήσεων και για τα δύο είδη της δικτυακής κίνησης που δημιουργήθηκαν (unicast, multicast).

Επίσης γίνεται η ανάλυση και ο σχολιασμός των πειραματικών μετρήσεων με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις επιδόσεις των προαναφερθέντων δικτύων (σύμφωνα με τις προτεινόμενες αρχιτεκτονικές). Είναι αναμφισβήτητο το σημαντικότερο κομμάτι της πτυχιακής εξ' αιτίας του ότι κρίνεται η προσφορά της όσον αφορά τις επιδόσεις του προτεινόμενου δικτύου, σε σύγκριση με ένα δίκτυο που είναι ήδη σε λειτουργία. Στο διάστημα λοιπόν που διήρκεσαν οι μετρήσεις και σύμφωνα με τα σενάρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ολοκληρώθηκαν αρκετές μετρήσεις για κάθε σενάριο έτσι ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερα τα δείγματα που παρουσιάστηκαν.

#### **4.3.1. Πειραματική μέτρηση δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε σημείο (Unicast)**

Το βασικό σενάριο είναι ότι ένας σταθερός χρήστης ζητάει υπηρεσίες internet από έναν Server, κάνοντας χρήση των δικτύων PSTN και WLAN ως κανάλια επιστροφής και του δικτύου της ψηφιακής τηλεόρασης ως κανάλι καθόδου. Η δικτυακή κίνηση από το χρήστη προς τον Server και αντίστροφα, γίνεται με τη βοήθεια ενδιάμεσων κόμβων διανομής (CMNs), όπως περιγράφηκε και στην αρχιτεκτονική του δικτύου, στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η δημιουργία της TCP δικτυακής κίνησης έγινε όπως ακριβώς περιγράφηκε και στην πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η συμπεριφορά και οι επιδόσεις του TCP μετρήθηκαν σε μια μαζική μεταφορά δεδομένων (TCP bulk data transfer) από τον data server στον υπολογιστή του χρήστη και αντίστροφα, μέσω του προγράμματος Iperf. Το μετρητικό πρόγραμμα πραγματοποιεί μεταφορά εικονικών δεδομένων (dummy data) από έναν υπολογιστή σε έναν άλλον για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια (60 δευτερόλεπτα στη δοκιμή που περιγράφηκε) με σκοπό να προσδιοριστούν οι επιδόσεις και η συμπεριφορά των πρωτοκόλλων δικτύου πάνω από τα συγκεκριμένα κανάλια. Κατά τη διάρκεια μεταφοράς των δεδομένων, τα πακέτα που ανταλλάσσονται στις διεπαφές δικτύου του server και του client καταγράφονται από ένα πρόγραμμα σύλληψης πακέτων (tcpdump ή windump) και οι κεφαλίδες τους αποθηκεύονται σε τοπικά dump files. Τα dump files αναλύονται εκ των υστέρων από τον protocol analyzer TCPTrace προκειμένου να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τον ρυθμό διαμεταγωγής (throughput) και τους χρόνους πλήρους διαδρομής (round-trip times). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι καμιά ειδική ρύθμιση ή τροποποίηση στη στοίβα πρωτοκόλλων δεν απαιτείται από τη μεριά του χρήστη για να ενταχθεί στο εν λόγω ασύμμετρο δίκτυο. Παρ' όλα αυτά, η καθυστέρηση που υπεισέρχεται τόσο από τα κανάλια επιστροφής όσο και από τις μονάδες επεξεργασίας του καναλιού εκπομπής, σε συνδυασμό με τον υψηλό ρυθμό δεδομένων του DVB-T μπορούν μερικές φορές να προκαλέσουν σχετικά μεγάλα γινόμενα καθυστέρησης-εύρους ζώνης (bandwidth-delay products –



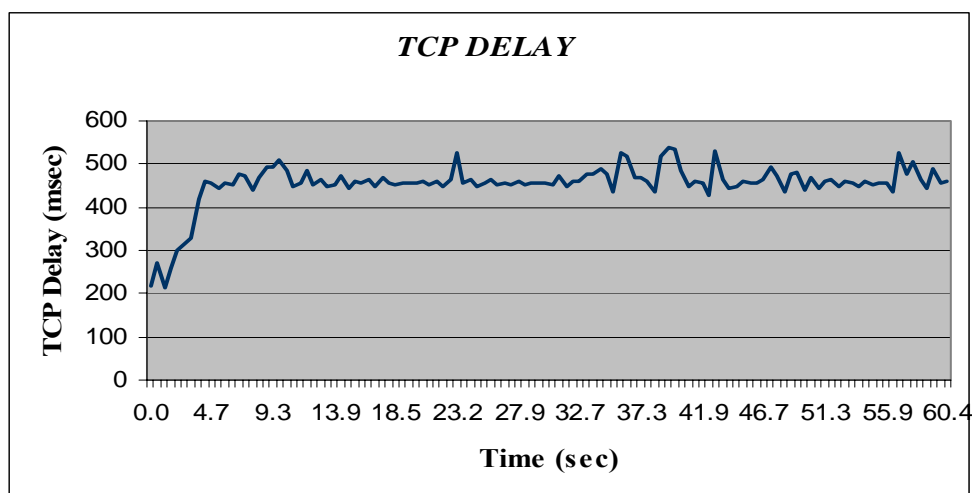
BDP) στο δίκτυο. Συνεπώς είναι σχεδόν πάντα απαραίτητο να προσαρμοστεί το μέγιστο παράθυρο λήψης (TCP receive window) στο τερματικό του χρήστη για να επιτευχθούν οι βέλτιστες δυνατές επιδόσεις. Στη συγκεκριμένη μέτρηση το window size του τελικού χρήστη ήταν 262144.

#### 4.3.1.1.Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης TCP

Τα αποτελέσματα της TCP δικτυακής κίνησης δίνονται μέσα από τις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν:

Οι αναμεταδόσεις πακέτων (Retransmissions) ήταν μηδενικές.

Δίνεται η γραφική παράσταση του TCP Delay όπου παρατηρούμε ότι οι τιμές του κυμαίνονται γύρω στα 460.3msec. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται φυσιολογικό εφόσον πρόκειται για μικρή καθυστέρηση συγκριτικά με την αρχιτεκτονική του δικτύου.

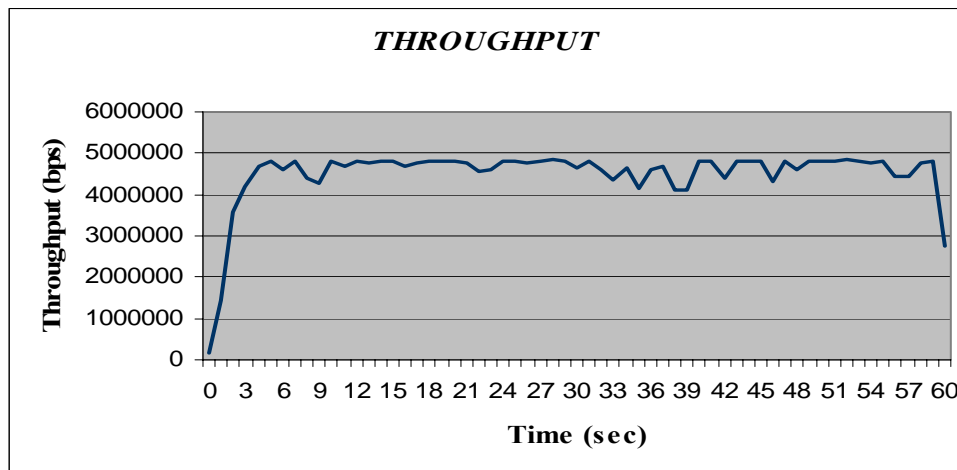


**Σχήμα 4.29 Γραφική παράσταση του TCP Delay**

( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.4)

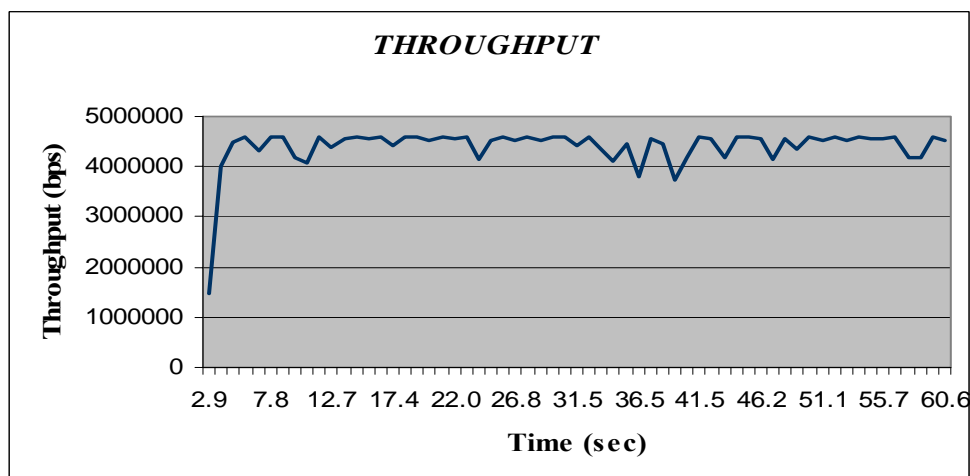
Ακολουθούν δύο γραφικές παραστάσεις του Throughput, ανά δευτερόλεπτο και ανά χρονικό διάστημα. Η θεωρητική του τιμή, που προκύπτει από το πρόγραμμα iperf, είναι 4.31Mbps.

Δίνεται η γραφική παράσταση του Throughput που έχει υπολογιστεί ανά δευτερόλεπτο. Παρατηρούμε ότι οι τιμές του κυμαίνονται γύρω στα 4.8Mbps, κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή, εφόσον ο ρυθμός του internet από τον OPAL, είχε ρυθμιστεί στα 5Mbps. Πλησιάζει κατά πολύ την ιδανική τιμή.



**Σχήμα 4.30** Γραφική παράσταση του Throughput (ανά sec)  
 ( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.5)

Τέλος, δίνεται η γραφική παράσταση του Throughput που έχει υπολογιστεί ανά χρονικό διάστημα (segment). Παρατηρούμε ότι οι τιμές του κυμαίνονται γύρω στα 4.31Mbps κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60 sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή, εφόσον ο ρυθμός του internet από τον OPAL, είχε ρυθμιστεί στα 5Mbps. Πλησιάζει κι αυτό κατά πολύ την ιδανική τιμή.



**Σχήμα 4.31** Γραφική παράσταση του Throughput (ανά segment)  
 ( Οι τιμές της γραφικής παράστασης δίνονται στο Παράρτημα Β στον πίνακα Β.6)

**4.3.2. Πειραματική μέτρηση δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN  
 Μετάδοση δεδομένων από σημείο σε πολλαπλά σημεία (Multicast)**

Το βασικό σενάριο είναι ότι ένας σταθερός χρήστης ζητάει IPTV υπηρεσίες (Ο όρος IPTV (Internet Protocol Television) περιγράφει ένα σύστημα το οποίο προσφέρει υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης με τη χρήση πρωτοκόλλου Internet μέσω

ενός ευρυζωνικού δικτύου) από έναν Server, κάνοντας χρήση του δικτύου PSTN ως κανάλι επιστροφής και του δικτύου της ψηφιακής τηλεόρασης ως κανάλι καθόδου. Η δικτυακή κίνηση από το χρήστη προς τον Server, γίνεται με τη βοήθεια ενδιάμεσου κόμβου διανομής (CMN), όπως περιγράφηκε και στην αρχιτεκτονική του δικτύου, στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η δημιουργία της UDP δικτυακής κίνησης έγινε όπως ακριβώς περιγράφηκε και στην πειραματική μέτρηση μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών.

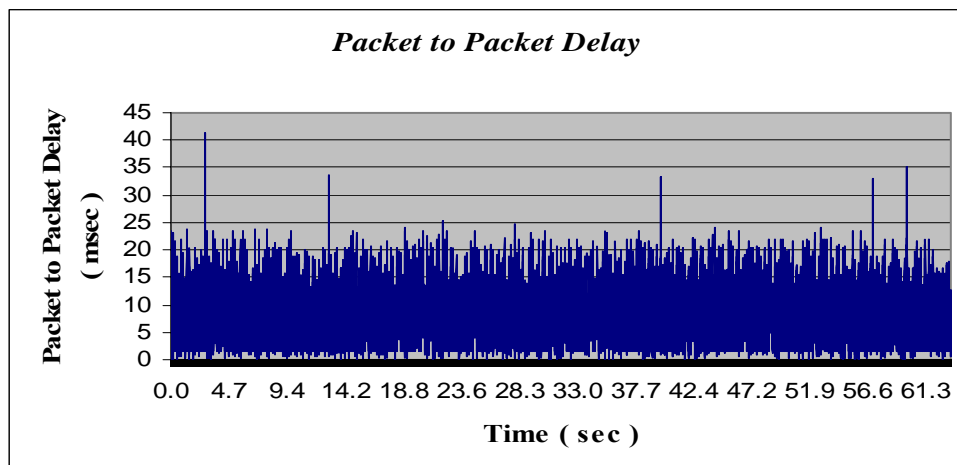
Η συμπεριφορά και οι επιδόσεις του UDP μετρήθηκαν σε μια μαζική μεταφορά δεδομένων από τον data server στον υπολογιστή του χρήστη και αντίστροφα, μέσω του προγράμματος Iperf. Το μετρητικό πρόγραμμα πραγματοποιεί μεταφορά εικονικών δεδομένων (dummy data) από έναν υπολογιστή σε έναν άλλον για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια (60 δευτερόλεπτα στη δοκιμή που περιγράφηκε) με σκοπό να προσδιοριστούν οι επιδόσεις και η συμπεριφορά των πρωτοκόλλων δικτύου πάνω από τα συγκεκριμένα κανάλια. Κατά τη διάρκεια μεταφοράς των δεδομένων, τα πακέτα που ανταλλάσσονται στις διεπαφές δικτύου του server και του client καταγράφονται από ένα πρόγραμμα σύλληψης πακέτων (tcpdump ή windump) και οι κεφαλίδες τους αποθηκεύονται σε τοπικά dump files. Τα αρχεία αυτά έπειτα αναλύονται, με την χρήση κάποιων προγραμμάτων της γλώσσας προγραμματισμού Perl, για να μας δώσουν την διακύμανση της καθυστέρησης (jitter) που είχε η δικτυακή κίνηση αλλά και την καθυστέρηση που είχαμε μεταξύ των πακέτων (packet to packet Delay).

#### 4.3.2.1. Γραφικές παραστάσεις δικτυακής κίνησης UDP

Τα αποτελέσματα της UDP δικτυακής κίνησης δίνονται μέσα από τις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν:

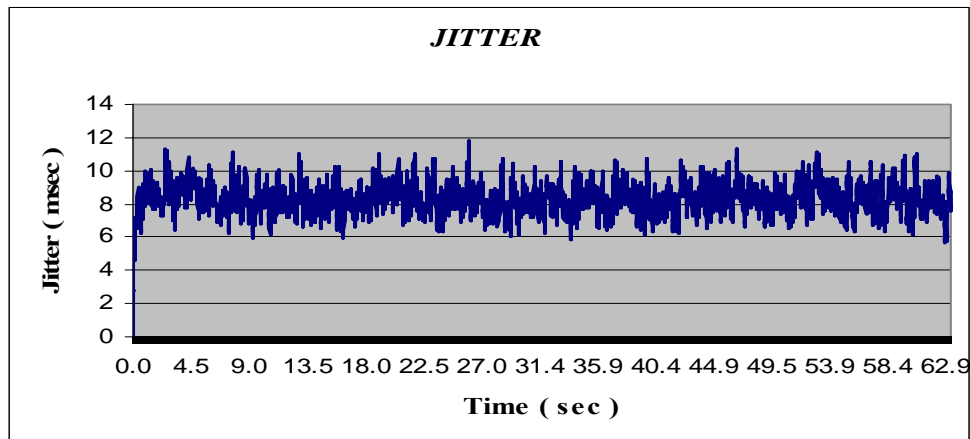
Οι απώλειες του δικτύου (losses) είναι μηδενικές. Και ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων (data rate) υπολογίστηκε γύρω στα 1.45Mbps, δηλ. πλησίασε κατά πολύ το 1.5Mbps του προγράμματος IPTV που έδινε ο OPAL.

Δίνεται η γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay, όπου παρατηρείται ότι οι τιμές του κυμαίνονται στα 8.31msec, με μέγιστη τιμή τα 41.34msec και ελάχιστη τα 0.003msec, κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60sec. Πρόκειται για μια φυσιολογική τιμή εφόσον οι καθυστέρηση είναι πολύ μικρή για το συγκεκριμένο δίκτυο.



#### Σχήμα 4.32 Γραφική παράσταση του Packet to Packet Delay

Επίσης, δίνεται η γραφική παράσταση του Jitter, όπου παρατηρείται ότι οι τιμές του κυμαίνονται στα 8.3msec, με μέγιστη τιμή τα 11.8msec και ελάχιστη τα 0.88msec, κατά την διάρκεια της δικτυακής κίνησης των 60sec. Αυτή η διακύμανση της καθυστέρησης ήταν αναμενόμενη εφόσον οι καθυστερήσεις μεταξύ των πακέτων ήταν μικρές.



Σχήμα 4.33 Γραφική παράσταση του Jitter

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η πτυχιακή εργασία εστίασε την έρευνα πάνω στη χρήση της σύγχρονης και τυποποιημένης τεχνολογίας της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T) ως ευρυζωνικό δίκτυο πρόσβασης για υπηρεσίες δεδομένων. Μελετήθηκε μια υβριδική αρχιτεκτονική δύο ασύμμετρων δικτύων, στα οποία η κατερχόμενη ζεύξη (downlink) υλοποιήθηκε με ένα ευρυζωνικό κανάλι DVB-T ενώ η ανερχόμενη (uplink) παρέχεται από την ενσύρματη τεχνολογία του PSTN. Σημαντικό ρόλο στην αρχιτεκτονική των δικτύων είχαν οι ενδιάμεσοι κόμβοι διανομής (CMNs). Εξετάστηκε και αξιολογήθηκε η συμπεριφορά του ενός δικτύου σε μεταδόσεις από σημείο σε σημείο (unicast κίνηση) και του άλλου από σημείο σε πολλαπλά σημεία (multicast κίνηση).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των μετρήσεων, κρίνονται αναμενόμενα με βάση την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του δικτύου επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κανάλι επιστροφής την τεχνολογία PSTN. Παρόλο που πρόκειται για μια τεχνολογία με σημαντικά μειονεκτήματα, όπως αυτά αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.6.1 της πτυχιακής, ο συνδιασμός της με την τεχνολογία DVB-T είναι αποτελεσματικός και δημιουργείται μια αρκετά ικανοποιητική επικοινωνία δικτύων.

Το θέμα που διερευνήθηκε στην παρούσα πτυχιακή μπορεί να επεκταθεί ώστε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Όσον αφορά την τεχνολογία PSTN που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του δικτύου, η διερεύνηση μπορεί να επεκταθεί και να περιλάβει και άλλες ασύρματες τεχνολογίες για το κανάλι επιστροφής.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ακολουθούν οι κώδικες των προγραμμάτων, της γλώσσας προγραμματισμού Perl, που ήταν χρήσιμα για την ανάλυση της δικτυακής κίνησης από σημείο σε πολλαπλά σημεία (multicast).

### 1. Πρόγραμμα `align_for_jitt.pl`

```
# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

#!/usr/bin/perl -w

unless (open (OUTFILE, ">aligned_sender"))
{
    die ("cannot open output file outfile\n");
}

open (SENDER, "<final.tx");
open (RECEIVER, "<final.rx");
my (@sen_lines) = <SENDER>;
my ($sen_line);
my (@rec_lines) = <RECEIVER>;
my ($rec_line);
my ($temp);
my ($temp1);
my ($counter);
$counter=0;
$counter1=0;
close (SENDER);
close (RECEIVER);
$size=@rec_lines;
$size1=@sen_lines;
print "$size $size1\n";

foreach $rec_line (@rec_lines)
{
    chomp($rec_line);
```

```

    @papa=split(/[ \t +]/,$rec_line);
    $temp=$papa[0].$papa[1];
    foreach $sen_line (@sen_lines)
    {
chomp($sen_line);
        @mapa=split(/[ \t +]/,$sen_line);
        $temp1=$mapa[0].$mapa[1];
        if ($temp eq $temp1)
        {

                #unless (open (OUTFILE, ">>aligned_sender"))
                #{

                #      die ("cannot open output file outfile\n");

                #}

                print OUTFILE "$sen_line\n";

                #close (OUTFILE);
                $counter1++;
                last;
#print " sender $sen_line receiver $rec_line\n";
                }else
        { $counter++;
        }

        }

    }

close (OUTFILE);
print "$counter $counter1\n";

```

## 2. Πρόγραμμα jitter.pl

```

# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

#!/usr/bin/perl -w

unless (open (SENDER, "<sender_timestamp"))

```

```

        {
            die ("cannot open input file outfile\n");
        }
unless (open (RECEIVER, "<receiver_timestamp"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}

my (@sen_lines) = <SENDER>;
my ($sen_line);
my (@rec_lines) = <RECEIVER>;
my ($rec_line);
my ($transit);
my ($delta_transit);
my ($last_transit);
my ($jitter);
my ($counter);
$counter=0;
$transit=0;
$delta_transit=0;
$last_transit=0;
$jitter=0;

close(SENDER);
close(RECEIVER);

unless (open (OUTFILE, ">final_jitter"))
{
    die ("cannot open output file outfile\n");
}

unless (open (OUTFILE1, ">final_pack2packdelay"))
{
    die ("cannot open output file outfile\n");
}

foreach $sen_line (@sen_lines)
{
    chomp($sen_line);

    $transit=$rec_lines[$counter]-$sen_line;
    if ($last_transit!=0)
    {
        $delta_transit=$transit-$last_transit;
        if ( $delta_transit < 0 ) {

```



```

        $delta_transit = -$delta_transit;
    }

$jitter+=$(delta_transit-$jitter)/16.0;

}
$last_transit=$transit;
$result=$jitter*1000;
$timerec=$rec_lines[$counter];
chomp($timerec);
print OUTFILE "$timerec $result\n";
$pack_delay=$delta_transit*1000;
print OUTFILE1 "$timerec $pack_delay\n";
#print "$sen_line $rec_lines[$counter] $result\n";
$counter++;
}

close(OUTFILE);
close(OUTFILE1);

unless (open (INFILE, "<final_jitter"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}
}
$min=100000;
$max=0;
$counter=0;
$result=0;
$lock=0;
while (<INFILE>)
{
    my($sen_line) = $_;
    chomp($sen_line);
    @values=split(/\t +/,$sen_line);
    $value=$values[1];
    $result+=$value;
    if ($counter==1)
    {
        $min=$value;
    }

    if ($value>$max)
    {
        $max=$value;
    }

    if (($value<$min))

```

```

    {
        $min=$value;

    }
    $counter++;

}

close (INFILE);
$result=$result/$counter;

print "aver jitter is $result max is $max min $min\n";

unless (open (INFILE, "<final_pack2packdelay"))
    {
        die ("cannot open input file outfile\n");

    }
    $min=100000;
    $max=0;
    $counter=0;
    $result=0;
    $lock=0;
    while (<INFILE>)
    {

my($sen_line) = $_;
    chomp($sen_line);

    @values=split(/[ \t +]/,$sen_line);
    $value=$values[1];
    $result+=$value;
    if ($counter==1)
        {
            $min=$value;

        }

    if ($value>$max)
        {
            $max=$value;

        }
    if (($value<$min))
        {
            $min=$value;

        }
    $counter++;

}
}

```

```

close (INFILE);
$result=$result/($counter);

print "aver pack2packdelay is $result max is $max min $min\n";

unless (open (INFILE, "<final_pack2packdelay"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}

unless (open (OUTFILE, ">timed_final_pack2packdelay"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}

my (@times) = <INFILE>;
close(INFILE);
$time=0;
$lock=0;
for ($i=0;$i<@times-1;$i++)
{
    if ($lock==0)
    {
        @valuesplits=split(/\t +/,$times[$i]);
        $valuesplit=$valuesplits[1];
        chomp($valuesplit);
        print OUTFILE "$time $valuesplit\n";
        $lock=1;
    }
    #chomp($sen_line);
    @timesplit=split(/\t +/,$times[$i+1]);
    $temp_time1=$timesplit[0];
    @timesplit=split(/\t +/,$times[$i]);
    $temp_time2=$timesplit[0];
    $time=($temp_time1-$temp_time2)+$time;
    #$time=$timesplit[0];
    @valuesplits=split(/\t +/,$times[$i+1]);
    $valuesplit=$valuesplits[1];
    chomp($valuesplit);
    print OUTFILE "$time $valuesplit\n";
    #print "$time\n";
}

close(OUTFILE);

```

```

unless (open (INFILE, "<final_jitter"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}

unless (open (OUTFILE, ">timed_final_jitter"))
{
    die ("cannot open input file outfile\n");
}

my (@times) = <INFILE>;
close(INFILE);
$time=0;
$lock=0;
for ($i=0;$i<@times-1;$i++)
{
    if ($lock==0)
    {
        @valuesplits=split(/\t +/,$times[$i]);
        $valuesplit=$valuesplits[1];
        chomp($valuesplit);
        print OUTFILE "$time $valuesplit\n";
        $lock=1;
    }
    #chomp($sen_line);
    @timesplit=split(/\t +/,$times[$i+1]);
    $temp_time1=$timesplit[0];
    @timesplit=split(/\t +/,$times[$i]);
    $temp_time2=$timesplit[0];
    $time=($temp_time1-$temp_time2)+$time;
    #$time=$timesplit[0];
    @valuesplits=split(/\t +/,$times[$i+1]);
    $valuesplit=$valuesplits[1];
    chomp($valuesplit);
    print OUTFILE "$time $valuesplit\n";
    #print "$time\n";
}

close(OUTFILE);

```

### 3. Πρόγραμμα replicid.pl

```

# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#

```

```

# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

#!/usr/bin/perl -w

my($counter);
$counter=0;

open(AFILE, "<fotis2totmi1") || die ("cannot open input file 1\n");
open(BFILE, "<fotis2totmi1") || die ("cannot open input file 1\n");
my (@rec_lines) = <BFILE>;

while (<AFILE>)
{

    $counter++;
    my($sen_line) = $_;
    chomp($sen_line);

    @papa=split(/\t +/,$sen_line);
    #print "$papa[7]\n";
    for ($i=$counter;$i<@rec_lines;$i++)
    {
        @pana=split(/\t +/,$rec_lines[$counter]);
        if ($pana[7]==$papa[7])
        {
            print "Found two instances of $pana[7] at line $counter\n";
            exit(12);
        }
    }

    #print "$sen_line\n";

}

close(AFILE);
close(BFILE);

```

#### 4. Πρόγραμμα timestamp.pl

```

#!/usr/bin/perl -w

unless (open (SENDER, "<aligned_sender"))
{

```

```

        die ("cannot open input file outfile\n");
    }

unless (open (OUTFILE, ">sender_timestamp"))
    {
        die ("cannot open output file outfile\n");
    }

while (<SENDER>)
    {
        my($sen_line) = $_;
        chomp($sen_line);

        @papa=split(/\t +/, $sen_line);

        print OUTFILE "$papa[2]\n";

        #print "$papa[3]\n";

    }

close(OUTFILE);
close(SENDER);

unless (open (RECEIVER, "<final.rx"))
    {
        die ("cannot open input file outfile\n");
    }

unless (open (OUTFILE, ">receiver_timestamp"))
    {
        die ("cannot open output file outfile\n");
    }

while (<RECEIVER>)
    {
        my($sen_line) = $_;
        chomp($sen_line);

        @papa=split(/\t +/, $sen_line);

```

```

print OUTFILE "$papa[2]\n";

#print "$papa[3]\n";

}

close(OUTFILE);

close(RECEIVER);

```

## 5. Πρόγραμμα createendfiles.pl

```

# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

#!/usr/bin/perl -w

open(INPUTFILE, "<fotis2totmi1") || die ("cannot open input file 1\n");

unless (open (OUTFILE, ">final.tx"))
{
    die ("cannot open output file outfile\n");
}

my (@rec_lines) = <INPUTFILE>;

foreach $rec_line (@rec_lines)
{
    chomp($rec_line);
    @papa=split(/\t +/,$rec_line);
    $id=$papa[7];
    $size=$papa[16];
    $time=$papa[0];
    $id=substr($id,0,length($id)-1);
    $size=substr($size,0,length($size)-1);

```

```

print OUTFILE ("Sid\tSid\t$time\t$size\n");
}

close(INPUTFILE);
close(OUTPUTFILE);

#second file

open(INPUTFILE, "<fotis2totmi2") || die ("cannot open input file 1\n");

unless (open (OUTFILE, ">final.rx"))
{
    die ("cannot open output file outfile\n");
}

my (@rec_lines) = <INPUTFILE>;

foreach $rec_line (@rec_lines)
{
    chomp($rec_line);
    @papa=split(/\t +/,$rec_line);
    $id=$papa[7];
    $size=$papa[16];
    $time=$papa[0];
    $id=substr($id,0,length($id)-1);
    $size=substr($size,0,length($size)-1);

    print OUTFILE ("Sid\tSid\t$time\t$size\n");
}

close(INPUTFILE);
close(OUTPUTFILE);

```

## 6. Πρόγραμμα losses.pl

```

# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

```



```

#Author irons
#Mail irons@pasiphae.teiher.gr
#This file calculates the losses in a udp transmission.

#!/usr/bin/perl -w

& calc_loss;

sub calc_loss
# Simple loss calculation
{
    my ($sender_packets);
    my ($receiver_packets);
    foreach $rec_line (@rec_lines)
    {
        $lock = 0;
        if ($sen_line == $rec_line)
        {
            $lock = 1;

                                last;
#print " sender $sen_line receiver $rec_line\n";
        }

    }
    my ($loss_rate);

    $sender_packets = 0;
    $receiver_packets = 0;
    $loss_rate = 0;

# Sender file
    open (SENDER, "<final.tx") || die ("cannot open input file 1\n");

    while (<SENDER>)
    {

        $sender_packets++;

    }

    close (SENDER);

# Receiver file

```

```

open (RECEIVER, "<final.rx") || die ("cannot open input file 2\n");

while (<RECEIVER>)
{
    $receiver_packets++;

}

close (RECEIVER);

#calculation
$loss_rate =
    (($sender_packets -
    $receiver_packets) / $sender_packets) * 100;

print "sender packets $sender_packets, receiver packets $receiver_packets, losses
$loss_rate%\n";
}

```

## 7. Πρόγραμμα throughput.pl

```

# This program is free software; you can redistribute it and/or modify
# it under the terms of the GNU General Public License as published by
# the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or
# (at your option) any later version.
#
# This program is distributed in the hope that it will be useful,
# but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
# MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
# GNU General Public License for more details.
#
# You should have received a copy of the GNU General Public License
# along with this program; if not, write to the Free Software
# Foundation, Inc., 59 Temple Place - Suite 330, Boston, MA 02111-1307, USA.

#!/usr/bin/perl -w

my($sum_pack_size);
my($lock);
my($start_time);
my($end_time);
my($transfer_time);
my($throughput);
$throughput=0;
$transfer_time=0;
$sum_pack_size=0;
$lock=0;
$start_time=0;

```

```

Send_time=0;

open(SENDER, "<final.tx") || die ("cannot open input file 1\n");

while (<SENDER>)
{
my($sen_line) = $_;
chomp($sen_line);

    @papa=split(/[t +]/,$sen_line);
    $sum_pack_size+=$papa[3];
    if ($lock==0)
    {
        $start_time=$papa[2];
        $lock=1;
    }

#print "$papa[3]\n";

}
Send_time=$papa[2];
#print "time $start_time etime $end_time\n";
$transfer_time=$end_time-$start_time;
$throughput=$sum_pack_size/$transfer_time;
print "SENDER RESULTS\n";
print "total bytes transferred $sum_pack_size in $transfer_time sec throughput is
$throughput bytes/sec \n";
close(SENDER);

open(RECEIVER, "<final.rx") || die ("cannot open input file 2\n");
$throughput=0;
$transfer_time=0;
$sum_pack_size=0;
$lock=0;
$start_time=0;
$end_time=0;
while (<RECEIVER>)
{
my($sen_line) = $_;
chomp($sen_line);

    @papa=split(/[t +]/,$sen_line);
    $sum_pack_size+=$papa[3];
    if ($lock==0)
    {
        $start_time=$papa[2];
        $lock=1;
    }

#print "$papa[3]\n";

}

```

```
Send_time=$para[2];  
print "stime $start_time etime $end_time\n";  
$transfer_time=$end_time-$start_time;  
$throughput=$sum_pack_size/$transfer_time;  
print "RECEIVER RESULTS\n";  
print "total bytes transferred $sum_pack_size in $transfer_time sec throughput is  
$throughput bytes/sec \n";  
close(RECEIVER);
```

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

### **Αποτελέσματα γραφικών παραστάσεων**

#### **Πίνακας Β.1**

#### **Αποτελέσματα Σχήματος 4.12, γραφικής παράστασης TCP\_Delay**

Time (sec)	TCP_Delay (msec)
0	14
0.50002	15
1.000126	15
1.500164	15
2.000171	15
2.500205	15
3.000301	15
3.500338	15
4.000341	15
4.500433	15
5.00046	15
5.500465	15
6.000528	15
6.500583	15
7.000666	15
7.500762	15
8.000795	15
8.500904	15
9.001012	15
9.501049	15
10.00106	15
10.50106	15
11.00118	15
11.50124	15
12.00125	15
12.50126	15
13.00131	15
13.50135	15
14.00147	15
14.50155	15
15.00158	15
15.50158	15
16.0017	15
16.50173	15
17.00175	15
17.50178	15
18.00182	15
18.50186	15
19.00198	15
19.50198	15
59.52292	15
20.00201	15
20.50213	15
21.00213	15
21.50215	15
22.00218	15
22.50222	15
23.0023	15
23.50231	15
24.00235	15
24.50241	15
25.00246	15
25.50246	15

Time (sec)	TCP_Delay (msec)
26.00255	15
26.50261	15
27.0027	15
27.50278	15
28.00282	15
28.50287	15
29.00289	15
29.50295	15
30.00303	15
30.50305	15
31.00312	15
31.50314	15
32.00324	15
32.50332	15
33.00334	15
33.50336	15
34.00341	15
34.5035	15
35.00352	15
35.50358	15
36.00361	15
36.50363	15
37.00364	15
37.50376	15
38.00377	15
38.50384	15
39.00389	15
39.50389	15
40.00392	15
40.50396	15
41.00399	15
41.50402	15
42.0041	15
42.50414	15
43.00424	15
43.50428	15
44.00435	15
44.50442	15
45.00448	15
45.50456	15
46.00461	15
46.50468	15
47.00475	15
47.5048	15
48.0049	15
48.5049	15
49.00493	15
49.50499	15
50.00501	15
50.50502	15
51.00505	15
51.50516	15
52.00517	15

Time (sec)	TCP_Delay (msec)
52.50525	15
53.00529	15
53.5053	15
54.00531	15
54.50535	15
55.00546	15
55.50548	15
56.00554	15
56.50557	15
57.00565	15
57.50569	15
58.00573	15
58.50583	15
59.00584	15

**Πίνακας Β.2**  
**Αποτελέσματα Σχήματος 4.13, γραφικής παράστασης Throughput (ανά sec)**

Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)
0	99096000	20.00091	99210136	41.00197	99203312
1.000004	99210352	21.001	99208912	42.00198	99199520
2.000029	99203912	22.00101	99206232	43.00208	99213408
3.000107	99211808	23.00101	99207440	44.00209	99208624
4.000224	99198376	24.00101	99206920	45.00221	99208328
5.000241	99210408	25.00106	99207232	46.00231	99210328
6.000342	99204888	26.00118	99204920	47.00241	99206040
7.000379	99202280	27.0012	99206904	48.0025	99202472
8.000384	99201352	28.00128	99201064	49.00257	99207704
9.000391	99207560	29.00134	99199184	50.0026	99157376
10.00047	99212712	30.00144	99206024	51.0027	99209576
11.00054	99209608	31.00145	99211224	52.00277	99216424
12.00055	99207152	32.00154	99206216	53.00281	99211016
13.00063	99205024	33.00157	99208664	54.00282	99208848
14.00069	99211600	34.00159	99195560	55.0029	99217056
15.0007	99208048	35.00163	99213472	56.00291	99207664
16.00079	99206928	36.00167	99212408	57.003	99212712
17.00087	99200160	37.00178	99201976	58.00301	99213792
18.00088	99208312	38.00185	99205624	59.00304	99206984
19.00091	99208976	39.00186	99198040	59.02187	97087624
➤	➤	40.00193	99207048		

**Πίνακας Β.3**  
**Αποτελέσματα Σχήματος 4.14, γραφικής παράστασης Throughput (ανά segment)**

Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)
1.5	94023528	21.1	94104256	40.6	94104408
3.0	94104144	22.6	94102824	42.1	94102616
4.5	94102720	24.1	94102832	43.6	94102616
6.0	94103192	25.6	94103056	45.1	94101880
7.5	94103128	27.1	94102984	46.6	94104120
9.0	94103616	28.6	94103512	48.2	94102776
10.5	94102968	30.1	94102256	49.7	94103848
12.0	94102880	31.6	94103464	51.2	94045080
13.5	94101728	33.1	94105016	52.7	94104912
15.0	94103488	34.6	94102464	54.2	94102088
16.6	94105008	36.1	94104224	55.7	94054160
18.1	94103576	37.6	94103328	57.2	94151456
19.6	94103920	39.1	94103880	58.7	94102144

**Πίνακας Β.4**  
**Αποτελέσματα Σχήματος 4.29, γραφικής παράστασης TCP\_Delay**

Time (sec)	TCP_Delay (msec)	Time (sec)	TCP_Delay (msec)	Time (sec)	TCP_Delay (msec)
0	216	22.61687	465	45.51619	457
0.578148	270	23.1586	525	46.15888	455
1.0937	214	23.66237	458	46.65901	466
1.614281	258	24.16372	466	47.1858	493
2.118476	298	24.67802	447	47.68815	472
2.633003	318	25.1786	457	48.18816	437
3.143297	329	25.68029	464	48.73069	476
3.707153	420	26.1998	451	49.23374	480
4.218749	459	26.76675	455	49.749	438
4.729023	457	27.2701	452	50.24901	467
5.22918	442	27.87868	460	50.76681	444
5.737219	455	28.41865	453	51.27135	461
6.269878	451	28.95871	456	51.79037	465
6.782648	476	29.4588	456	52.29922	449
7.288342	474	30.10693	457	52.79927	461
7.799073	438	30.64297	452	53.30133	456
8.299829	469	31.14428	474	53.8311	448
8.805365	493	31.65922	450	54.3423	461
9.306706	492	32.16901	462	54.84296	453
9.819525	508	32.67282	461	55.35403	458
10.32256	483	33.22813	478	55.85478	455
10.82649	446	33.72841	477	56.36813	436
11.32825	458	34.23348	491	56.86918	524
11.83047	486	34.73908	476	57.36952	476
12.36017	451	35.2682	436	57.87593	504
12.88784	464	35.78459	528	58.38319	463
13.3911	447	36.28545	516	58.89161	445
13.89953	452	36.78866	470	59.40665	491
14.41389	471	37.30117	469	59.91063	456
14.93021	445	37.80981	461	60.35125	462
15.48068	459	38.31122	435		
15.98841	457	38.81258	517		
16.49068	466	39.34358	537		
17.0018	447	39.86711	535		
17.50228	469	40.38199	486		
18.00257	455	40.88752	446		
18.50293	451	41.41678	462		
19.01892	458	41.91822	457		
19.51906	456	42.42061	426		
20.02699	455	42.92065	529		
20.53715	461	43.42618	466		
21.03954	454	43.93779	443		
21.55008	459	44.44029	450		
22.09934	448	44.9866	460		
➤	➤	➤	➤		

**Πίνακας Β.5**  
**Αποτελέσματα Σχήματος 4.30, γραφικής παράστασης Throughput (ανά sec)**

Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)
0	154680	20.0502	4816256	41.13143	4804128
1.001387	1423112	21.05869	4781376	42.13919	4397176
2.002749	3586696	22.07929	4569336	43.14066	4815280
3.004163	4206432	23.08069	4583776	44.14216	4827088
4.012091	4675632	24.08223	4826928	45.14348	4815624
5.0134	4816056	25.08348	4816336	46.15126	4312504
6.014814	4608104	26.0913	4772640	47.15256	4816056
7.016327	4827064	27.09272	4827528	48.15398	4583728
8.024199	4384776	28.09417	4839320	49.15554	4814432
9.025464	4291784	29.09559	4803112	50.16311	4798048
10.02555	4809560	30.1032	4652480	51.16457	4802944
11.02666	4670256	31.10468	4827216	52.16461	4834168
12.02796	4803704	32.10624	4619824	53.16582	4816496
13.03399	4781096	33.10745	4352800	54.17512	4777552
14.0354	4827568	34.11516	4652000	55.17653	4827544
15.03687	4827264	35.11668	4168800	56.17653	4419280
16.03833	4681032	36.11814	4607864	57.17779	4426128
17.04595	4773576	37.11947	4669680	58.18723	4776872
18.04744	4827160	38.12728	4118544	59.18865	4791144
19.04894	4827160	39.12865	4096296	59.98307	2747688
➤	➤	40.13022	4826784		

**Πίνακας Β.6**  
**Αποτελέσματα Σχήματος 4.31, γραφικής παράστασης Throughput (ανά segment)**

Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)	Time (sec)	Throughput (bps)
2.895809	1458944	19.21574	4598376	35.38463	4464456
3.963187	3993816	20.15709	4528520	36.50201	3815096
4.914811	4479616	21.08722	4583128	37.44043	4542632
5.846678	4574592	22.02538	4543888	38.39696	4456664
6.832903	4322448	22.95576	4581936	39.54223	3722160
7.759907	4598584	23.98523	4140872	40.56023	4187528
8.689834	4584136	24.92513	4535488	41.49051	4582424
9.707573	4188608	25.85353	4591688	42.42864	4544032
10.75239	4080072	26.79347	4535264	43.44648	4188200
11.68216	4584880	27.72354	4583424	44.37695	4581440
12.65517	4381168	28.66342	4535576	45.30841	4576592
13.59217	4549496	29.59354	4583184	46.24683	4542672
14.52397	4574936	30.52217	4590568	47.27625	4141080
15.46198	4544624	31.48878	4410160	48.21456	4543168
16.39216	4582912	32.41732	4590952	49.19432	4350952
17.35852	4411296	33.3953	4358928	50.1246	4582400
18.2887	4582872	34.42977	4120832	51.06543	4531000



51.993	4595808
52.9329	4535472
53.86134	4591464
54.79489	4566344

55.73291	4544608
56.6614	4591224
57.68093	4181240
58.69877	4188168

59.62736	4590768
60.5707	4518944

## Βιβλιογραφία

- [1] <http://eclass.epp.teiher.gr/eclass/claroline/document/document.php>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 06/09/2006
- [2] Ε.Μ.Πάλλης, “Towards the Provision of High Quality Interactive Multimedia Services via a Wireless Broadband Networking Infrastructure” PhD thesis, 2002
- [3] <http://lyk-malion.ira.sch.gr/mpeg.htm>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 06/09/2006
- [4] Ν.Ζώτος, Γ.Τζιαχρής, “Μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση ενός δικτύου παροχής αμφίδρομων διαδραστικών υπηρεσιών με τη χρήση πλατφόρμας επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης DVB-T χρησιμοποιώντας την τεχνολογία GPRS στο κανάλι επιστροφής”, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Ιανουάριος, 2006
- [5] <http://www.ist-athena.org/Deliverables/ATHENA%20Deliverable%20D1.1.pdf>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 06/09/2006
- [6] Α.Σ.Τanenbaum, “Δίκτυα Υπολογιστών”, Τρίτη έκδοση
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission\\_Control\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol)  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 07/09/2006
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/User\\_Datagram\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol)  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 07/09/2006
- [9] <http://www.ist-athena.org/Deliverables/ATHENA%20D3.2%20Final%20version.pdf>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 06/09/2006
- [10] <http://www.ist-athena.org/Deliverables/ATHENA%20D3.1%20Final.pdf>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 06/09/2006
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/PSTN>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 07/09/2006
- [12] [http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_LAN](http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN)  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 07/09/2006
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Subscriber\\_Line](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Subscriber_Line)  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 07/09/2006
- [14] <http://www.ist-athena.org/Deliverables/ATHENA%20D3.1%20Final.pdf>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 27/07/2006
- [15] E Pallis, C. Mantakas, G. Mastorakis, V. Zacharopoulos, "Digital Switchover in UHF: the ATHENA concept for Broadband access", 14<sup>th</sup> IST Mobile & Wireless Communications Summit 2005, Dresden, 19-23 June, 2005

- [16] <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 08/08/2006
- [17] <http://pf.itd.nrl.navy.mil/mgen/>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 08/08/2006
- [18] <http://jarok.cs.ohiou.edu/software/tcptrace/>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 08/08/2006
- [19] <http://masaka.cs.ohiou.edu/software/tcptrace/xpl2gpl/>  
Ημερομηνία τελευταίας επίσκεψης: 08/08/2006
- [20] Γ.Γαρδίκης, “Παροχή υπηρεσιών TCP/IP σε συστήματα επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (DVB-T)”, PhD thesis, 2004