



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ.

Ανάπτυξη και Βελτιστοποίηση Ανοικτών Συστημάτων
Δικτυακών Επεξεργαστών για την Παροχή Εξελιγμένων
Υπηρεσιών Δικτύου.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στέργιος Δ. Σπανός

Αθήνα, Δεκέμβριος 2008



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

**Ανάπτυξη και Βελτιστοποίηση Ανοικτών Συστημάτων Δικτυακών
Επεξεργαστών για την Παροχή Εξελιγμένων Υπηρεσιών Δικτύου**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ

Στεργίου Δ. Σπανού

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχ. Η/Υ Εθνικού Μετσόβιου
Πολυτεχνείου

Επιβλέπων Καθηγητής

Γ. Στασινόπουλος

Συμβουλευτική Επιτροπή

Γ. Στασινόπουλος

N. Μήτρου

Θ. Βαρβαρίγου

Εγκρίθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή την 15^η Δεκεμβρίου, 2008.

Γ. Στασινόπουλος

N. Μήτρου

Θ. Βαρβαρίγου

M. Θεολόγου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε. Καγιάφας

Β. Λούμος

Δ. Ρεΐσης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών.

.....
Στέργιος Δ. Σπανός

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Στέργιος Δ. Σπανός, 2008.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1	ΤΟ ΤΟΠΙΟ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΗΜΕΡΑ	15
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	20
1.3	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.	24
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ	27
2.1	Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.	29
2.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ.....	32
2.3	Ο ΔΙΚΤΥΑΚΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ MPC8260.	37
2.3.1	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ.....	37
2.3.2	Ο ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ.....	39
2.3.3	ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	40
2.3.4	Η ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ	41
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ	45
3.1	ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ.....	47
3.2	ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ NETGATE.....	49
3.3	ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NETGATE.	53
3.3.1	Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ COMPACTPCI.....	54
3.4	ΑΝΟΙΚΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ VOIP.	57
3.4.1	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΔΙΑΥΛΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.	61
3.4.2	ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΚΤΥΑ ETHERNET	65
3.4.3	ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΚΤΥΑ ATM.....	66
3.5	ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VOIP.	69
3.5.1	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ TDM ΔΙΚΤΥΟ.	69
3.5.2	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ETHERNET ΔΙΚΤΥΟ.....	71
3.6	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΡΤΑΣ.	72
3.6.1	ΒΑΣΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.	72

3.6.2	ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	75
3.7	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΠΥΛΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	80
3.7.1	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΠΥΛΗΣ.....	81
3.7.2	ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.	84
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΤΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ LINUX	87
4.1	Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	90
4.2	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ LINUX.....	91
4.3	ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.	92
4.3.1	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ PPCBOOT.....	93
4.3.2	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΤΟΥ LINUX.....	95
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΑΤΜ.	99
5.1	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΤΜ.	103
5.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ ΥΤΟΡΙΑ.....	106
5.2.1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ IP. ...	109
5.2.2	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΑΤΜ.....	113
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ F.ETHERNET 119	
6.1	ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.	121
6.1.1	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ OS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ. 121	
6.1.2	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ.	122
6.2	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ.	124
6.2.1	ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΗΣ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ – NAPI. 125	
6.2.2	ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ. 128	
6.2.3	ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ DEV_KFREE_SKB_IRQ ΚΑΙ DEV_KFREE_SKB....	130

6.2.4	ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΗΣ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.	131
6.2.5	ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	132
6.2.6	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	136
6.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	138
6.3.1	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	138
6.3.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	139
6.4	ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ.....	141
6.4.1	ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΥΨΗΛΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.	142
6.4.2	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	144
6.5	ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ.....	146
6.5.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ORIGINAL LINUX DRIVER.	147
6.5.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ TX-128 DRIVER....	150
6.5.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ TX-OFF DRIVER.	151
6.5.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI DRIVER.....	152
6.5.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI-TX128 DRIVER.	153
6.5.6	ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI-TX-OFF DRIVER.	154
6.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.	155
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	161
8.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ H.323 & SIP.	167
8.1	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ VOIP ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	169
8.2	Η ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ VOIP.	171

8.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ PSTN ΚΑΙ IP ΔΙΚΤΥΩΝ	174
8.4	Η ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ H.323	176
8.4.1	GATEKEEPER	177
8.4.2	GATEWAY.....	178
8.4.3	MCU.....	179
8.5	ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ H.323.....	181
8.6	ΦΩΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	183
8.7	ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SIP.....	192
8.8	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ SIP.....	193
8.8.1	SIP USER AGENTS	193
8.8.2	SIP SERVERS.....	194
8.9	ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ SIP	195
8.9.1	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΟΔΟΥ ΜΕΣΩ PROXY SERVER.	196
8.9.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΟΔΟΥ ΜΕΣΩ REDIRECT SERVER.	198
8.9.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΥ SIP ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ.....	199
8.10	SIP vs. H.323	200
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ IP.	205
A.1	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ IP ΔΙΚΤΥΑ	207
9.1	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΦΩΝΗΣ.....	208
9.2	ΠΑΚΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	209
9.3	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ IP ..	210
9.3.1	ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ	213
9.3.2	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ/ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΦΩΝΗΣ (CODECS).	214
9.3.3	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗ ΣΙΩΠΗΣ	214
9.3.4	ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	215
9.3.5	ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΑΚΕΤΩΝ.....	216
9.3.6	ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΑΠΟ ΑΚΡΟ ΣΕ ΑΚΡΟ	217
9.3.7	ΗΧΩ.....	222

9.3.8	ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΑΦΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (JITTER)	223
9.3.9	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ.....	224
9.3.10	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	226
9.3.11	ΑΣΦΑΛΕΙΑ	227
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		230

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σύγχρονη εποχή, μια πραγματική κοσμογονία συντελείται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Η πρόσβαση στην πληροφορία αποτελεί ίσως το πλέον σημαντικό αγαθό των σημερινών κοινωνιών. Δεν είναι άλλωστε τυχαίος ο χαρακτηρισμός «Κοινωνία της Πληροφορίας». Η συνεχώς μεγαλύτερη ανάγκη για πρόσβαση στην πληροφορία έχει οδηγήσει στην αλματώδη ανάπτυξη του διαδικτύου. Αλλά και αντίστροφα, η ανάπτυξη του διαδικτύου ανοίγει τις προοπτικές σε μια σειρά από νέες εφαρμογές και υπηρεσίες στη διάθεση των χρηστών. Τα υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα καλούνται να καλύψουν τις νέες ανάγκες των χρηστών τους αλλά και να εξελιχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν με ευκολία να αναπροσαρμοσθούν και να ενσωματώσουν τις τεχνολογικές εξελίξεις. Σε ένα τέτοιο σινηικό η ενοποίηση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι μια πραγματικότητα που σιγά-σιγά παίρνει σάρκα και οστά.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η διδακτορική διατριβή φιλοδοξεί να αναδείξει την χρησιμότητα των Ανοικτών Αρχιτεκτονικών σε μια σειρά από εξειδικευμένες τηλεπικοινωνιακές πλατφόρμες μέσα ακριβώς από το πρίσμα της ενοποίησης των δικτύων. Εξετάζει τις εκτεταμένες δυνατότητες που προσφέρουν οι δικτυακοί επεξεργαστές και προτείνει μια νέα ανοιχτή αρχιτεκτονική τόσο για τηλεπικοινωνιακά συστήματα κορμού όσο και για συστήματα πρόσβασης, με έμφαση στην παροχή υπηρεσιών φωνής πάνω από δικτυα μεταγωγής πακέτου. Παράλληλα διερευνά τις δυνατότητες που το λειτουργικό σύστημα Linux μπορεί να προσφέρει τόσο στον τομέα της εξέλιξης όσο και στον τομέα της απόδοσης σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Η διατριβή αναλύει έναν εξελιγμένο τρόπο της διαχείρισης των διακοπών (interrupts) που ο μικροεπεξεργαστής καλείται να εξυπηρετήσει κατά τη δρομολόγηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Η μέθοδος αυτή βελτιώνει εξαιρετικά την απόδοση δρομολόγησης πολλαπλασιάζοντας τις δυνατότητες του επεξεργαστή.

1.1 ΤΟ ΤΟΠΙΟ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΣΗΜΕΡΑ

Μέχρι και πριν από λίγα χρόνια, οι τηλεπικοινωνίες βασιζόνταν κυρίως στην τεχνολογία του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής κυκλώματος (Public Switched Telephone Network, PSTN). Τα τελευταία όμως χρόνια, η πρωτοκαθεδρία του PSTN στον τομέα των τηλεπικοινωνιών βρίσκεται υπό αμφισβήτηση. Η αλματώδης ανάπτυξη του διαδικτύου, οι νέες προσφερόμενες υπηρεσίες αλλά και η συνεχής ζήτηση για ολοένα και μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης είναι μερικοί από τους λόγους που συνηγορούν σε αυτή την κατεύθυνση. Η εξέλιξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών δείχνει μια αυξανόμενη ζήτηση για υπηρεσίες δεδομένων σε σχέση με τις υπηρεσίες φωνής. Σαν αποδεικτικό στοιχείο σε αυτό, οι αναλυτές της τηλεπικοινωνιακής αγοράς αναφέρουν ότι τα έσοδα από υπηρεσίες

δεδομένων αυξάνουν με ταχύ ρυθμό την στιγμή που τα έσοδα από υπηρεσίες φωνής παραμένουν σταθερά ή μειώνονται. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με στρατηγικές εκθέσεις, το 1999 ήταν η χρονιά όπου η κίνηση των δεδομένων ξεπέρασε την αντίστοιχη της φωνής.

Κυριότερο λόγο για την εξέλιξη του τοπίου των τηλεπικοινωνιών αποτελεί, χωρίς αμφιβολία, η ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου (Internet) κατά τα τελευταία 15 χρόνια. Η ανάπτυξη αυτή οδήγησε σε αντίστοιχα υψηλή αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες δεδομένων αλλά και στην ευρύτετη χρησιμοποίηση του Internet Protocol (IP) στα τοπικά δίκτυα των επιχειρήσεων. Έτσι, η επέκταση της χρήσης του Internet Protocol (IP) και στα εταιρικά Wide Area Networks (WANs) ήταν ένα φυσικό επακόλουθο καθώς διευκόλυνε τη διασύνδεση τους με ομοιογενή τρόπο. Η μετακίνηση των χρηστών προς τον κόσμο του IP και η ανάγκη για διασυνεργασία των ιδιωτικών με τα δημόσια δίκτυα, οδήγησε τελικά και τις ίδιες τηλεπικοινωνιακές επιχειρήσεις να εισάγουν το IP και τόσο στον κορμό του δικτύου τους αλλά και στην πλευρά της πρόσβασης των χρηστών.

Από την άλλη πλευρά, η απελευθέρωση της τηλεπικοινωνιακής αγοράς, έδωσε τη δυνατότητα σε παρόχους υπηρεσιών δεδομένων και Internet, να επεκτείνουν τις δραστηριότητες τους και στον τομέα των υπηρεσιών φωνής. Η ταυτόχρονη ανάπτυξη των τεχνολογιών Voice over IP - VoIP δημιούργησε τις κατάλληλες συνθήκες για την παροχή οικονομικών υπηρεσιών φωνής, σε σχέση με τις κλασσικές υπηρεσίες POTS τηλεφωνίας. Έτσι, η μετάβαση λοιπόν στο πρωτόκολλο IP ενισχύθηκε και για ένα ακόμα λόγο : τη δυνατότητα παροχής φτηνής και αξιόπιστης υπηρεσίας τηλεφωνίας.

Το πρωτόκολλο IP αποτελεί ένα ιδιαίτερα ισχυρό και ευέλικτο πρωτόκολλο για την παροχή διαφόρων ειδών υπηρεσιών. Έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα για την ενοποίηση διαφορετικών τύπων φυσικών συνδέσεων δικτύου, ενώ παράλληλα διακρίνεται για την εύκολη λειτουργία του σε επίπεδο εφαρμογής. Η εμπειρία των παρόχων στην ευέλικτη και αποδοτική χρησιμοποίηση του είναι τεράστια όπως αντίστοιχα σημαντικές είναι και οι υποδομές σε συστήματα που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IP που έχουν δημιουργήσει. Είναι επομένως ένα σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών να βασίσουν τα δίκτυα κορμού στην τεχνολογία IP όχι μόνο όσον αφορά στην κίνηση των δεδομένων αλλά και στην κίνηση της φωνής. Κατά συνέπεια, και μπροστά στις αλλαγές από την απελευθέρωση της τηλεπικοινωνιακής αγοράς η εφαρμογή της τεχνολογίας IP τόσο στο δίκτυο κορμού όσο και στο δίκτυο πρόσβασης αποτελεί τελικά στρατηγική επιλογή η οποία μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη εξελιγμένων

υπηρεσιών πολυμέσων μειώνοντας το κόστος λειτουργίας και βελτιώνοντας το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Σαν ένα πρώτο στοιχείο λοιπόν για το τοπίο στις τηλεπικοινωνίες σήμερα, σημειώνουμε ότι η ανάπτυξη του διαδικτύου και η απελευθέρωση της αγοράς οδηγούν σε ραγδαία αύξηση της ζήτησης για διαθέσιμο εύρος ζώνης. Παράλληλα οι πάροχοι επενδύουν στο πρωτοκόλλου IP σε όλο το εύρος του δικτύου τους για την παροχή υπηρεσιών δεδομένων και φωνής.

Όσον αφορά στις υπάρχουσες δικτυακές υποδομές, το δίκτυο PSTN αποτελεί το πλέον διαδομένο δίκτυο τηλεπικοινωνιών στον κόσμο. Με σύνδεση σε κάθε γεωγραφικό σημείο του πλανήτη αποτελεί ένα μοναδικό δίκτυο υποδομής. Το γεγονός αυτό του προσδίδει ένα εξαιρετικό συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο. Καθώς όμως έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί με τα δεδομένα περασμένων δεκαετιών όπου η έννοια του δικτύου δεδομένων αποτελούσε όνειρο επιστημονικής φαντασίας, είναι φυσικό ότι στην απλή μορφή του δεν μπορεί να αντεπεξέλθει στις προδιαγραφές που οι απαιτήσεις της αγοράς επιβάλλουν. Έτσι θα πρέπει να μεταλλαχτεί για να μπορέσει να υποστηρίξει νέες υπηρεσίες με εντελώς διαφορετικά γνωρίσματα από την απλή κίνηση της φωνής. Η διακίνηση δεδομένων για παράδειγμα, χαρακτηρίζεται από τη μεταβλητή χρήση του εύρους ζώνης και την ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς διαμεταγωγής. Η τρέχουσα δομή του δικτύου PSTN δεν επιτρέπει την σύγκλιση δεδομένων, φωνής και video. Η PSTN υποδομή παρέχει μόνο τη δυνατότητα για σύνδεση μέσω μίας αναλογικής γραμμής μέσω modems και με μέγιστη ταχύτητα της τάξης των 56Kbps. Με μια τέτοια ταχύτητα σύνδεσης, υπηρεσίες όπως φωνή, video και δεδομένα είναι ανέφικτες. Για πετύχουμε την παραπάνω σύγκλιση είναι απαραίτητη η εξέλιξη του PSTN δικτύου προκειμένου πάνω από τις ίδιες υλικές υποδομές να μπορέσουν να υποστηριχθούν οι νέες αυτές υπηρεσίες με μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό με την χρήση τεχνολογίας xDSL. Πέρα από τη χρησιμοποίηση τεχνολογιών xDSL πάνω από το PSTN δίκτυο, εναλλακτικές τεχνολογίες όπως Fiber to the Home έχουν αρχίσει ήδη να κάνουν την εμφάνισή τους και αναμένεται στις επόμενες δεκαετίες να μετατραπούν σε καθημερινότητα καθώς παρέχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης αλλά απαιτούν εγκατάσταση νέων δικτύων. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον πρόσβασης το οποίο συνεχώς γίνεται ταχύτερο, είναι αναγκαία και η επέκταση της σύγκλισης στα δίκτυα κορμού αλλά και η ποιοτική και ποσοτική αναβάθμιση τους.

Σαν δεύτερο δεδομένο κρατάμε την εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης για την υποστήριξη του επιπλέον εύρους ζώνης αλλά και την απαραίτητη εξέλιξη των δικτύων κορμού.

Οι τάσεις της αγοράς αποδεικνύουν ότι η μετάβαση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου και ειδικά σε IP δίκτυα, βρισκείται σε εξέλιξη. Οι βασικοί λόγοι για την επένδυση σε αυτή την

αλλαγή είναι η καλύτερη χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου και η δημιουργία νέων εξελιγμένων υπηρεσιών. Παρά τη στροφή όμως προς νέες υπηρεσίες δεδομένων, οι υπηρεσίες φωνής θα εξακολουθήσουν να αποτελούν την σημαντικότερη πηγή εσόδων για τα επόμενα χρόνια. Έτσι η υπηρεσία της φωνής θα πρέπει να θεωρηθεί η βασική υπηρεσία πάνω στην οποία και θα πρέπει να οικοδομηθούν οι υπόλοιπες. Ο ανταγωνισμός και η απελευθέρωση της αγοράς όμως συμπιέζει τα έσοδα από την τηλεφωνία και έτσι οι πάροχοι εξετάζουν όλους τους πιθανούς τρόπους για να περιορίσουν το κόστος αυτών των υπηρεσιών. Ένας εξαιρετικά αποδοτικός τρόπος για να γίνει κάτι τέτοιο είναι η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς δεδομένων και φωνής. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό με τις πολλές πλέον προσφερόμενες τεχνολογίες για την μεταφορά φωνής πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου (που αναφέρονται σαν VoFR, VoATM και VoIP). Η ενοποίηση των δικτύων δεδομένων και φωνής μειώνει το κόστος συντήρησης καθώς κάθε πάροχος συντηρεί μονάχα ένα δίκτυο για όλες τις παρεχόμενες υπηρεσίες.

Το τοπίο λοιπόν έχει ήδη αρχίσει και διαφοροποιείται ριζικά. Από τη σημερινή κατάσταση όπου τα δίκτυα δεδομένων περνούν πάνω από υποδομές που έχουν σχεδιαστεί για την παροχή υπηρεσιών φωνής, ήδη η κίνηση της φωνής έχει ξεκινήσει και δρομολογείται πάνω από δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί για την βέλτιστη μεταφορά δεδομένων. Καθώς όμως πρόκειται για κίνηση με διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις ως προς την ποιότητα, η κίνηση πρέπει να διαχωρίζεται ανάλογα με την εφαρμογή που εξυπηρετεί και όχι από τα φυσικά κυκλώματα από τα οποία προέρχεται. Καινούργιες τεχνολογίες (όπως το 100 & 10 Gigabit Ethernet και τα οπτικά δίκτυα) χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν τα δίκτυα κορμού υψηλών ταχυτήτων που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν την επιπλέον κίνηση δεδομένων.

Παράλληλα όμως με την εξέλιξη στα σταθερά δίκτυα τηλεπικοινωνιών, αντίστοιχα σημαντικές είναι και οι εξελίξεις της τεχνολογίας στα ασύρματα δίκτυα. Η εισαγωγή αρχικά της τεχνολογίας GPRS και στην συνέχεια του UMTS έχει κυρίως επικεντρωθεί στο να ανταποκριθεί στο μεγάλο ρεύμα του δημόσιου Internet και των εταιρικών εσωτερικών δικτύων (Intranets). Οι νέες αυτές τεχνολογίες έχουν ήδη φέρει τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών πιο κοντά στις δικτυακές εφαρμογές. Η νέα κατάσταση επιταχύνει την σύγκλιση μεταξύ του διαδικτύου από την μία και της υποδομής των σταθερών και κινητών τηλεπικοινωνιακών δικτύων από την άλλη, με πρωταρχικό σκοπό την παροχή υπηρεσιών σχετικών με τα ιδιωτικά εταιρικά δίκτυα (VPNs). Οι εκτιμήσεις και οι προβλέψεις δείχνουν ότι αυτή η σύγκλιση θα βασιστεί στην επικράτηση του πρωτοκόλλου IP τόσο στο δίκτυο κορμού όσο και στο δίκτυο πρόσβασης.

Σαν τρίτο στοιχείο μπορούμε να σημειώσουμε ότι η ενοποίηση των δικτύων φωνής, δεδομένων, ασύρματων και ενσύρματων σε ένα ενιαίο δίκτυο είναι σε εξέλιξη, με βασικό χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο το IP.

Οι υποδομές όμως των κλασικών δικτύων έχουν ακόμα ένα βασικό μειονέκτημα: Τα συστήματα του κορμού τους είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε η ανάπτυξη και υλοποίηση νέων υπηρεσιών αποτελεί μια δύσκολη, βραδεία και δαπανηρή διαδικασία.. Βασίζονται σε μια υποδομή όπου μόνο οι ίδιοι οι κατασκευαστές του εξοπλισμού μπορούν να αναπτύξουν τις σχετικές εφαρμογές με αποτέλεσμα η κλειστή αυτή αρχιτεκτονική να μην επιτρέπει στις τηλεπικοινωνιακές εταιρίες να καλύψουν αρκετά γρήγορα όλες τις ανάγκες των πελατών τους για νέες υπηρεσίες και καινούργια χαρακτηριστικά. Με τον αυξανόμενο ανταγωνισμό λόγω της απελευθέρωσης σε πολλές τηλεπικοινωνιακές αγορές, οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες ψάχνουν τρόπους για να συντηρήσουν το πελατολόγιό τους. Η συνηθισμένη μέθοδος για να το πετύχουν αυτό είναι να τους δελεάσουν με νέες υπηρεσίες και εφαρμογές. Μια πιο ανοιχτή αρχιτεκτονική, όπου πολλές εταιρίες μπορούν να αναπτύξουν εφαρμογές για ένα συγκεκριμένο δίκτυο, θα έκανε εφικτή την δημιουργία πιο παραγωγικών λύσεων και εφαρμογών. Η τρέχουσα αρχιτεκτονική του δικτύου PSTN καθιστά σχεδόν αδύνατη τη δημιουργία καινούργιων εφαρμογών χωρίς την επέμβαση του κατασκευαστή αλλά και την επιπλέον επένδυση του παρόχου για επιπλέον εξειδικευμένο εξοπλισμό και την αγορά των νέων εκδόσεων του λογισμικού.

Η αγορά των συστημάτων διασύνδεσης (gateways) σήμερα κυριαρχείται από συστήματα κλειστής αρχιτεκτονικής που βασίζονται σε ακριβές πλατφόρμες υλικού, οι οποίες συνήθως δεν επιτρέπουν την ομαλή επέκταση των συστημάτων. Τα συστήματα αυτά δεν παρέχουν ανοιχτά interfaces και APIs για την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και πρωτοκόλλων, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό λόγω της γρήγορης εξέλιξης νέων τεχνολογιών δικτύων και της αύξησης των απαιτήσεων διασύνδεσης. Η κατάσταση αυτή ισχύει τόσο για τα μεγάλα συστήματα (όπως τα ALCATEL S12, ERICSSON AXE 10 κλπ) όσο και για μικρότερα συστήματα διασυνεργασίας από εταιρίες όπως η CISCO, η LUCENT και η ASCENT. Η επέκταση αυτών των συστημάτων είναι συνήθως αδύνατη χωρίς επενδύσεις σε επιπλέον εξοπλισμό, κάτι που δημιουργεί πολύπλοκα και ακριβά δίκτυα. Επιπλέον οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες δεν έχουν στην διάθεση τους το κατάλληλο ανοιχτό περιβάλλον στο οποίο μπορούν να αναπτύξουν δικές τους υπηρεσίες και να αξιολογήσουν την μετάβαση σε νέες τεχνολογίες δικτύων. Υπάρχει λοιπόν μια ξεκάθαρη ανάγκη για μια βαθμωτή, εύκολα ρυθμιζόμενη πλατφόρμα που θα παρέχει ανοιχτά APIs (Application Programming Interface) για την δημιουργία νέων πρωτοκόλλων και υπηρεσιών.

Πέρα όμως από τον εξοπλισμό του δικτύου κορμού, ένα σημαντικό κομμάτι του εξοπλισμού των παρόχων αποτελούν και οι πύλες οικιακής διασύνδεσης μέσω των οποίων οι χρήστες διασυνδέονται με τον πάροχό τους. Και αυτή η κατηγορία συστημάτων αποτελείται από συστήματα κλειστής αρχιτεκτονικής τα οποία έχουν περιορισμένες δυνατότητες δικτύωσης. Έτσι δεν είναι εφικτή η ταυτόχρονη διασύνδεση του εξοπλισμού με περισσότερα ετερογενή δίκτυα. Η σύγχρονη τάση καταδεικνύει ότι είναι απαραίτητη η δυνατότητα ταυτόχρονης διασύνδεσης με διαφορετικά δίκτυα. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει την ύπαρξη ισχυρών συστημάτων που να παρέχουν τη δυνατότητα ετερογενούς διασύνδεσης με υψηλές ταχύτητες σύνδεσης, ενώ παράλληλα να παρέχουν την ευελιξία να προσαρμόζονται στα νέα δίκτυα πρόσβασης.

Μια νέα γενιά μικροεπεξεργαστών, οι δικτυακοί επεξεργαστές παρέχουν αυτές ακριβώς τις δυνατότητες από πλευράς hardware. Οι δικτυακοί επεξεργαστές αποτελούν την ιδανική λύση τόσο για τα μεγάλα συστήματα κορμού όσο και για τα μικρότερα συστήματα οικιακής πρόσβασης καθώς παρέχουν στα συστήματα που τους ενσωματώνουν την ευελιξία της ταυτόχρονης διασύνδεσης με ετερογενή δίκτυα αλλά και της απαραίτητης υπολογιστικής ισχύος για την αποτελεσματική διασύνδεση των δικτύων αυτών.

Ένα τελευταίο στοιχείο είναι η ανάγκη για ευέλικτες συσκευές διασύνδεσης τόσο από την πλευρά του δικτύου κορμού όσο και από την πλευρά της πρόσβασης των χρηστών.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:

- ❖ Η ανάπτυξη του διαδικτύου και η απελευθέρωση της αγοράς οδηγούν σε ραγδαία ζήτηση για διαθέσιμο εύρος ζώνης και σε μεταστροφή των παρόχων προς το πρωτοκόλλο IP σε όλο το εύρος του δικτύου τους. Η παροχή υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυα IP αποτελεί πλέον γεγονός και δίνει στους παρόχους δικτυακών υπηρεσιών νέες δυνατότητες.
- ❖ Η μετάλλαξη των δικτύων πρόσβασης αλλά και την απαραίτητη εξέλιξη των δικτύων κορμού βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- ❖ Η ενοποίηση των δικτύων φωνής δεδομένων ασυρμάτων και ενσυρμάτων σε ένα ενιαίο δίκτυο είναι γεγονός και μάλιστα με βασικό χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο το IP.
- ❖ Η ανάγκη για ευέλικτες συσκευές διασύνδεσης τόσο από την πλευρά του δικτύου κορμού όσο και από την πλευρά της πρόσβασης των χρηστών είναι μεγάλη.

Ο σκοπός αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι να επιχειρήσει να δώσει απαντήσεις στις παραπάνω προκλήσεις που η εξέλιξη των δικτύων θέτει. Παρουσιάζεται η μελέτη, η

σχεδίαση και η ανάπτυξη συστημάτων τα οποία μπορούνε τόσο σε επίπεδο HW όσο και σε επίπεδο SW να ανταποκριθούν σε αυτές τις προκλήσεις. Πρόκειται για συστήματα βασισμένα σε δικτυακούς επεξεργαστές όσον αφορά στο Hardware και το λογισμικό ανοιχτού κώδικα σε ότι αφορά στο Software.

Σε ότι αφορά την υποδομή συστημάτων κορμού, η διατριβή προτείνει πως ένα πρωτοποριακό, ευέλικτο και επεκτάσιμο σύστημα ικανό να λειτουργήσει σαν μια υψηλής απόδοσης μονάδα διασύνδεσης πρωτοκόλλων (που παρακάτω θα αναφέρεται σαν protocol gateway) μπορεί να βασισθεί σε μια ανοικτή πλατφόρμα και να προσφέρει λύσεις εκεί που τα κλειστά συστήματα αδυνατούν. Το σύστημα αυτό θα είναι ικανό να επιλύσει προβλήματα συμβατότητας μεταξύ διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων όπως το ISDN, το SS7, το IN, το ATM, το GSM, το GPRS και το UMTS, και επιπλέον να προσφέρει σύνδεση με δίκτυα βασισμένα στο Internet Protocol (IP). Μια τέτοια πλατφόρμα θα είναι ικανή να προσφέρει διασύνδεση μεταξύ ασύρματων (GSM, GPRS, UMTS) και ενσύρματων τεχνολογιών (ISDN, PSTN, Ethernet) βασιζόμενη στο πρωτόκολλο IP αλλά και δυνατότητα ενσωμάτωσης μελλοντικών τεχνολογιών. Επιπλέον θα πρέπει να είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη ενώ θα συνδυάζει διαφορετικά interfaces και με τα απαραίτητα υποσυστήματα υλικού και λογισμικού θα προσφέρει διασυνεργασία μεταξύ διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Για το λόγο αυτό και βασίζεται σε δικτυακούς επεξεργαστές.

Το τελικό αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι ένα σύστημα διασυνεργασίας το οποίο θα μπορεί να εξυπηρετήσει τα παρακάτω σενάρια:

- Να λειτουργήσει σαν μία χαμηλού κόστους πλατφόρμα αξιολόγησης που θα επιτρέψει την περιορισμένη υλοποίηση και αποτίμηση σε πιλοτικές εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο θα αποτελέσει ένα μέσο επίτμησης της ικανότητας μετατροπής ήδη εγκατεστημένων δικτύων για την υποστήριξη νέων τεχνολογιών (όπως IP, GPRS, UMTS). Οι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού βασίζουν τα δίκτυα τους σε μεγάλα συστήματα διαμεταγωγής που συνδυάζονται με δεσμευμένα εξωτερικά υπολογιστικά συστήματα (workstations) για λειτουργίες όπως η μετατροπή της σηματοδοσίας ή η διαχείριση της κίνησης και των πόρων του δικτύου. Σαν αποτέλεσμα έχουμε το υψηλό κόστος ενός τέτοιου συστήματος που δυσκολεύει κάθε μελλοντική επέκταση. Το σύστημα που σχεδιάστηκε έχει μία υψηλού βαθμού ολοκλήρωση ώστε να μπορεί να ενσωματώνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες. Έτσι περιορίζεται το κόστος και διευκολύνονται μελλοντικές επεκτάσεις.
- Να λειτουργήσει σαν ένα protocol gateway ικανό να συνδεθεί με υψηλής απόδοσης συστήματα διαμεταγωγής και να παρέχει δυνατότητες μετατροπής πρωτοκόλλων και

διασύνδεσης κατά περίπτωση. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι μια μονάδα διασυνεργασίας/διαμεταγωγής μεγάλης απόδοσης με απαίτηση να υποστηρίζει πολλαπλές πηγές σηματοδοσίας και αναδυόμενα πρωτόκολλα για διάφορους τύπους δικτύων (SS7, IN, VoIP, GPRS). Η σύνθεση του συστήματος πρέπει να είναι εύκολο να μεταβληθεί για να μπορεί να υποστηρίζει μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Η απόδοση μπορεί να εξασφαλιστεί με την υιοθέτηση της αρχιτεκτονικής κατανεμημένης επεξεργασίας.

- Να αποτελέσει ένα χαμηλού κόστους σύστημα διαμεταγωγής με καλά ορισμένα interfaces προγραμματισμού για την υλοποίηση δικτυακών εφαρμογών (όπως η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας, η διαχείριση κλπ.). Με την εύκολα μεταβαλλόμενη σύνθεση το σύστημα θα μπορεί να ικανοποιήσει και χρήστες μικρών έως μεσαίων απαιτήσεων (όπως οι εταιρικοί χρήστες). Η δομή του λογισμικού με ανοιχτά και σαφώς ορισμένα APIs θα διευκολύνει την υλοποίηση νέων πρωτοκόλλων και υπηρεσιών. Έτσι θα είναι εφικτή η δημιουργία συστημάτων κατά παραγγελία που θα απευθύνονται σε χρήστες με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ακολουθώντας αυτή την πρακτική, οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες μπορούν να πειραματιστούν με νέες τεχνολογίες κάτι που δεν είναι εφικτό με τα υπάρχοντα κλειστά συστήματα.
- Να λειτουργήσει σαν VoIP gateway για διαφορετικούς τύπους δικτύων μεταγωγής κυκλώματος (ISDN, GSM) ικανό να διαχειριστεί θέματα κινητικότητας και ποιότητας υπηρεσιών που δεν έχουν λυθεί από τις υπάρχουσες VoIP λύσεις.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά του ανοικτού αυτού συστήματος, ένας από τους σκοπούς της διατριβής είναι η σχεδίαση ενός επεκτάσιμου VoIP συστήματος συμβατού με καθιερωμένες προδιαγραφές (π.χ. ETSI TISPAN, ITU H.323) προσφέροντας ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Η αρχιτεκτονική που θα ακολουθηθεί, όπως υποδεικνύεται από τις TISPAN προδιαγραφές περιλαμβάνει ανεξάρτητες οντότητες για κάθε λειτουργία. Κατά συνέπεια εμφανίζει πλεονέκτημα όσον αφορά την επεκτασιμότητα, την αξιοπιστία και την απόδοση. Επιπλέον έχει το πλεονέκτημα ότι εξασφαλίζει την συμβατότητα με άλλα προϊόντα που ακολουθούν τις προδιαγραφές του TISPAN.

Πιο συγκεκριμένα ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι:

- Να ορίσει, να αναπτύξει και να αξιολογήσει την αρχιτεκτονική μιας αρθρωτής, γενικευμένης πλατφόρμας που θα μπορεί να προσφέρει διασυνεργασία μεταξύ διαφορετικών δικτύων όπως το δίκτυο IP (κυρίως για εφαρμογές πραγματικού χρόνου π.χ. φωνής), το Frame Relay, το ISDN, το SS7, το IN, το GPRS-UMTS, το ATM και το Ethernet. Η τεχνική προσέγγιση στοχεύει στην δημιουργία μίας ανοιχτής και

επεκτάσιμης πλατφόρμας που θα μπορεί να συμπεριλάβει μελλοντικές τεχνολογίες δικτύων.

- Να σχεδιάσει τα απαραίτητα υποσυστήματα υλικού (hardware) και τα αντίστοιχα υποσυστήματα λογισμικού ώστε να εφαρμόσει την επιλεγμένη αρχιτεκτονική για την διασύνδεση των παραπάνω δικτύων. Η σχεδίαση θα επικεντρωθεί στα απαραίτητα υποσυστήματα για την υποστήριξη φωνητικών υπηρεσιών πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου (Voice over IP).

- Να αναπτύξει το υποσύστημα επεξεργασίας φωνής που περιλαμβάνει σύνδεση Ethernet. Σε αντίστοιχο κεφάλαιο γίνεται και αναλυτική παρουσίαση της σχεδίασης και των πλεονεκτημάτων της που προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά του δικτυακού επεξεργαστή που περιλαμβάνει.

Το βάρος δίνεται στην ανάπτυξη και τη σχεδίαση του VoIP υποσυστήματος της πλατφόρμας, καθώς στο κομμάτι αυτό ακριβώς πρόκειται να ενσωματωθούν οι μελλοντικές αρχιτεκτονικές. Η υλοποίηση θα κάνει εφικτή την αξιολόγηση της αρχιτεκτονικής αυτής κυρίως όσον αφορά την ικανότητα να υποστηρίζει μελλοντικές ανάγκες διαδικτύωσης και νέες προδιαγραφές τεχνολογιών δικτύων.

Στον αντίποδα των συστημάτων δικτύωσης κορμού, η διατριβή προτείνει μια ευέλικτη αρχιτεκτονική, βασισμένη και πάλι σε δικτυακούς επεξεργαστές, για μια εξελιγμένη οικιακή πύλη διασύνδεσης ικανή να δικτυώσει ετερογενή δίκτυα πρόσβασης. Τα συστήματα αυτά, αν και σε πολύ μικρότερη κλίμακα, αποδεικνύουν επίσης τις δυνατότητες και την ευελιξία που οι δικτυακοί επεξεργαστές παρέχουν στα πλαίσια μιας ανοικτής αρχιτεκτονικής. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του συστήματος (βασισμένου στον ίδιο δικτυακό επεξεργαστή), το οποίο καλείται να εκτελέσει και μια σειρά από εξελιγμένες λειτουργίες πέρα από το καθαρό δικτυακό κομμάτι. Σε αυτή την περίπτωση, ο δικτυακός επεξεργαστής αποδεικνύει ότι μπορεί και τα καταφέρνει εφ' ίσου ικανοποιητικά και σε εφαρμογές «κλασικών» επεξεργαστών.

Καθώς όμως η ευελιξία των συστημάτων δεν αφορά μόνο το hardware αλλά και το software, η διατριβή μελετά τις δυνατότητες που προσφέρονται μέσω του λειτουργικού συστήματος Linux τόσο στην ανάπτυξη νέων υπομονάδων λογισμικού για την εξυπηρέτηση νέων χαρακτηριστικών των συστημάτων όσο, κυρίως, στις δυνατότητες βελτιστοποίησης της απόδοσης και των άλλων χαρακτηριστικών μέσω του λογισμικού ανοικτού κώδικα.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.

Η διατριβή είναι χωρισμένη σε 2 μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται αναλυτικά η αρχιτεκτονική και τα πλεονεκτήματα των δικτυακών επεξεργαστών. Τα 3 πρώτα κεφάλαια της διατριβής παρουσιάζονται τα ακόλουθα θέματα:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή της αρχιτεκτονικής των δικτυακών επεξεργαστών (ΔΕ). Παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά τους και αναλύονται τα πλεονεκτήματα που οι ΔΕ προσφέρουν στην δημιουργία και υποστήριξη ευέλικτων τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών. Εκτενής αναφορά γίνεται στην λειτουργικότητα και τα χαρακτηριστικά του επεξεργαστή MPC8260 της Motorola.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση 2 διαφορετικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, βασισμένων στον ΔΕ MPC8260. Προτείνεται η ανοικτή αρχιτεκτονική ενός συστήματος παροχής υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυα IP. Παρουσιάζονται τα επιμέρους υποσυστήματα που αποτελούν την προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Για καθένα από αυτά, παρατίθενται μια σειρά από χαρακτηριστικά γνωρίσματα και πλεονεκτήματα που συμβάλλουν στην επιλογή του σχεδιασμού των συγκεκριμένων συστατικών του συστήματος.

Στο δεύτερο μέρος της διατριβής παρουσιάζονται υλοποιήσεις του λειτουργικού Linux οι οποίες και μπορούν να συνδυαστούν με τις αρχιτεκτονικές ΔΕ που παρουσιάζονται στο 1^ο μέρος. Παράλληλα αναλύεται ο τρόπος δημιουργίας δικτυακών προγραμμάτων οδήγησης για τους ΔΕ ενώ παρουσιάζονται τεχνικές για τη βελτίωση της δικτυακής απόδοσης των συστημάτων χρησιμοποιώντας εξελιγμένες τεχνικές διαχείρισης και βελτιστοποίησης των διακοπών προς τον κεντρικό επεξεργαστή. Η δομή που ακολουθείται στο 2^ο μέρος είναι η ακόλουθη:

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λειτουργικό σύστημα LINUX. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά του που το καθιστούν μια αξιόπιστη και πολύ αποδοτική λύση για την εφαρμογή του σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα υψηλής απόδοσης. Παρουσιάζονται τα κύρια πλεονεκτήματα του αλλά και οι τροποποιήσεις που είναι απαραίτητο να γίνουν στο λειτουργικό προκειμένου να εφαρμοσθεί σε συστήματα τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών. Γίνεται μια αναλυτική περιγραφή όλων των σταδίων μορφοποίησης του λειτουργικού και της επαλήθευσης της σωστής λειτουργίας του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η ανάπτυξη του προγράμματος οδήγησης για τη δικτυακή διεπαφή ATM25 αλλά και τη διεπαφή σειριακού ATM που το σύστημα δύναται να συμπεριλάβει. Γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους δομικών στοιχείων του

προγράμματος οδήγησης και καταγράφεται αναλυτικά η απόδοση της κάθε διεπαφής όσον αφορά στον ρυθμό δρομολόγησης πακέτων που μπορεί με επιτυχία να διεκπεραιώσει.

Στο έκτο κεφάλαιο προτείνονται μια σειρά από μεταβολές που είναι δυνατό να γίνουν στο πρόγραμμα οδήγησης της διεπαφής Fast Ethernet του συστήματος όσον αφορά των τρόπο εξυπηρέτησης των διακοπών (interrupt handling) από τον επεξεργαστή. Με τον τρόπο αυτό αποδεικνύεται πόσο εύελικτο μπορεί να είναι το λειτουργικό LINUX και επίσης πόσο μπορεί να βοηθήσει το ανοιχτό λειτουργικό στην βελτίωση της απόδοσης αλλά και της ποιότητας υπηρεσιών που το σύστημα μπορεί να προσφέρει.

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της διατριβής και προτείνονται οι μελλοντικές κατευθύνσεις που η έρευνα θα πρέπει να ακολουθήσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η συνεχής εξέλιξη της μορφής, της ταχύτητας αλλά και των δυνατοτήτων των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών δικτύων είναι απαραίτητο να συνοδεύεται και από μια συνεχή εξέλιξη στον τομέα του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Τόσο στο δίκτυο κορμού των παρόχων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών όσο και στον τομέα του εξοπλισμού των χρηστών, η ύπαρξη ευέλικτων συστημάτων είναι εκείνη που διευκολύνει την ομαλή εξέλιξη των δικτύων και την ενσωμάτωση νέων προτύπων και λειτουργιών.

Μια αναπτυσσόμενη κατηγορία συστημάτων τηλεπικοινωνιών, οι επεξεργαστές δικτύων, προσδίδει αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά στα προϊόντα δικτύωσης. Οι επεξεργαστές δικτύων επιφέρουν μια σειρά από σημαντικές βελτιώσεις στις δυνατότητες των συστημάτων, στο χρόνο σχεδίασης και διάθεσης ενός προϊόντος στην αγορά, αλλά και στη διάρκεια ζωής τους. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια συνολική παρουσίαση των δικτυακών επεξεργαστών αλλά και του τρόπου με τον οποίο οδηγούν σε βελτιωμένα δικτυακά προϊόντα.

2.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

Η σχεδίαση των προϊόντων δικτύωσης υπόκειται σε μια συνεχή εξέλιξη καθώς η ταχύτητα των τοπικών δικτύων (Local Area Networks – LANs) αλλά και των δικτύων ευρείας ζώνης (Wide Area Networks – WANs) έχει αυξηθεί δραματικά. Παλαιότερα, οι συσκευές δικτύωσης (όπως οι γέφυρες και οι δρομολογητές) βασιζόνταν σε αρχιτεκτονικές κοινών επεξεργαστών και στοιχείων ASSPs (Application Specific Standard Products - Τυποποιημένα Προϊόντα Συγκεκριμένης Εφαρμογής), Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται οι ελεγκτές και οι πομποδέκτες των διεπαφών. Καθώς η τυποποίηση των δικτύων βρισκόταν σε εξέλιξη, οι δικτυακές αυτές συσκευές, ήταν βασισμένες σε υλοποιήσεις λογισμικού. Με τον τρόπο αυτό υπήρχε η δυνατότητα του επαναπρογραμματισμού τους και της προσαρμογής τους στα νέα πρότυπα πρωτοκόλλων και τις πρόσθετες λειτουργίες που τα δίκτυα θα παρείχαν κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους.. Το πλεονέκτημα αυτής της αρχιτεκτονικής ήταν ότι αφού όλη η λειτουργικότητα του συστήματος ήταν βασισμένη στο λογισμικό, τα νέα χαρακτηριστικά γνωρίσματα θα μπορούσαν να υποστηριχθούν με μια απλή αναβάθμιση του λογισμικού, όπως σε ένα τυπικό προσωπικό υπολογιστή. Έτσι, η ίδια βασική αρχιτεκτονική των δομικών στοιχείων του δικτύου θα μπορούσε να υποστηρίξει ποικίλες διαμορφώσεις καθώς επίσης και διαφορετικές εκδόσεις του ίδιου βασικού λειτουργικού συστήματος. Τα συστήματα αυτά ήταν μεγάλα, σύνθετα, και συγκριτικά αργά. Παρ'όλα αυτά ικανοποίησαν επαρκώς τις ανάγκες των

παλαιότερων τύπων δικτύων (που αποτελούνται γενικά από μερικές Ethernet ή Token Ring συνδέσεις και αργές συνδέσεις ευρείας ζώνης (έως 56kbps)).

Καθώς όμως οι ταχύτητες και η πυκνότητα των διεπαφών των δικτύων αυξήθηκε, η δικτυακή απόδοση των συστημάτων αυτών άρχισε να υπολείπεται σημαντικά της απαιτούμενης επεξεργαστικής ισχύος. Το βασικό μειονέκτημα ήταν η περιορισμένη δυνατότητά τους να υποστηρίξουν τις απαιτήσεις του αυξανόμενου εύρους ζώνης αλλά και των πρόσθετων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του δικτύου. Παραδείγματος χάριν, οι περισσότεροι δρομολογητές βασισμένοι στο λογισμικό μπορούσαν να υποστηρίξουν πλήρως μια μόνο OC-3 σύνδεση στα 155 Mbps ή σε μερικές ακραίες περιπτώσεις, μέχρι μια σύνδεση OC-12 στα 622 Mbps. Η υποστήριξη όμως περισσότερων από 3 ανεξάρτητων διεπαφών Fast Ethernet ήταν πρακτικά ανέφικτη. Όταν επιπλέον τα συστήματα αυτά καλούνταν να εκτελέσουν σύνθετες λειτουργίες όπως την δρομολόγηση της κυκλοφορίας, η απόδοσή τους μειώνονταν ακόμα περαιτέρω δημιουργώντας συμφόρηση στο δίκτυο.

Το πρόβλημα αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη απλούστερων συσκευών, αυστηρά καθορισμένης λειτουργίας (όπως π.χ. switches για το στρώμα 2 του Ethernet) που βασιζόνταν σε συστήματα ASICs (Application Specific Integrated Circuits - Ολοκληρωμένα Κυκλώματα Συγκεκριμένης Εφαρμογής). Οι συσκευές αυτές δεν είχαν την δυνατότητα επιπλέον προγραμματισμού, όπως τα αρχικά συστήματα του δικτύου, αλλά προσέφεραν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες καθώς η όλη υλοποίηση της λειτουργικότητάς τους πραγματοποιείτο κατευθείαν στο υλικό.

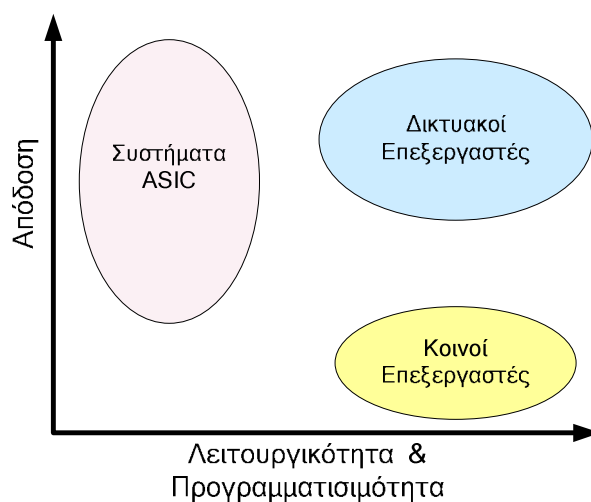
Η χρήση των ASICs ήταν μια σημαντική εξέλιξη στον τρόπο κατασκευής τηλεπικοινωνιακού υλικού. Με τη δημιουργία εξειδικευμένων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με ενσωματωμένο λογισμικό αυξήθηκε δραματικά η απόδοση χωρίς την ανάγκη για αύξηση της ταχύτητας του κεντρικού επεξεργαστή. Με τον τρόπο αυτό, όλο και μεγαλύτερο μέρος της λειτουργικότητας των δικτύων ενσωματώθηκε στο υλικό. Αυτό έγινε δυνατό εν μέρει από τη παγίωση των δικτυακών πρωτοκόλλων IP και Ethernet ως κυρίαρχη τεχνολογία των επιχειρηματικών δικτύων, αφού η καθιέρωση αυτή μείωσε την ανάγκη για την ευελιξία των προϊόντων ενώ παράλληλα η εξάπλωση των δικτύων ευνόησε και τη σημαντική μείωση του κόστους τους. Από την άλλη πλευρά, πυροδότησε ένα νέο κύκλο στον τρόπο ανάπτυξης και μεταβολής των δικτυακών συστημάτων.

Η καθιέρωση των ASIC συστημάτων στην υποδομή των δικτύων, οδήγησε στην αύξηση του προσφερόμενου εύρους ζώνης. Έτσι, ενώ αρχικά στα τοπικά δίκτυα το Ethernet 10 Mbps ήταν η βασική τεχνολογία, η υιοθέτηση ASIC αρχιτεκτονικών οδήγησε στην καθιέρωση του Fast Ethernet σαν το πλέον διαδεδομένο τύπο τοπικών δικτύων. Η αύξηση

αυτή, με τη σειρά της ευνόησε τη δημιουργία πιο πολύπλοκων εφαρμογών που εκμεταλλεύονταν το παρεχόμενο εύρος ζώνης. Η εξέλιξη αυτή ήταν φυσικό να δημιουργήσει επιπλέον ζήτηση για αποδοτικές λύσεις σε επίπεδο τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού.

Παράλληλα, η σύγκλιση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και ιδιαίτερα των δικτύων φωνής και δεδομένων, επιτάχυνε το ρυθμό των αλλαγών στο πεδίο των τηλεπικοινωνιών. Η αυξανόμενη πίεση για μείωση της διάρκειας σχεδίασης και διάθεσης του προϊόντος στην αγορά (time-to-market) αλλά και οι πιο σύντομοι κύκλοι ζωής των προϊόντων αποτελούν πλέον πραγματικότητα. Την ίδια στιγμή όμως, λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας και λειτουργικότητας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, ο κύκλος ανάπτυξης προϊόντων γίνεται αναπόφευκτα πιο σύνθετος. Για παράδειγμα, αν και το IP έχει πλέον καθιερωθεί ως κυρίαρχο πρωτόκολλο, οι επεκτάσεις του (όπως η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) και το MPLS) απαιτούν την υποστήριξη νέων εφαρμογών. Επιπλέον, ο αριθμός διαφορετικών τύπων διεπαφών (που κυμαίνονται σε ταχύτητα πρόσβασης από το επίπεδο T1 μέχρι OC-48 για τα δίκτυα WAN και από το 10/100 έως Gigabit Ethernet στα τοπικά δίκτυα LAN) αυξάνεται διαρκώς.

Μέσα σε ένα τόσο γρήγορα και τόσο δραματικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον, τα προϊόντα δικτύωσης απαιτείται πλέον να παρέχουν την *ευελιξία* που ήταν διαθέσιμη στις πρόωρες αρχιτεκτονικές, προκειμένου να προσαρμόζονται γρήγορα στα αναδυόμενα πρότυπα, διατηρώντας παράλληλα την *υψηλή απόδοση* που οι αρχιτεκτονικές ASICs μπορούν να επιτύχουν. Για να επιτευχθεί ένας τέτοιος στόχος αυτό, απαιτείται μια νέα προσέγγιση. Οι δικτυακοί επεξεργαστές αποτελούν μια λύση προς την κατεύθυνση αυτή.



Σχήμα 2-1: Διάγραμμα απόδοσης-λειτουργικότητας συστημάτων δικτύωσης.

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ.

Οι *Δικτυακοί Επεξεργαστές* (ΔΕ) αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία επεξεργαστών, κατάλληλα διαμορφωμένων προκειμένου να συνδυάζουν την υψηλή απόδοση των συστημάτων βασισμένων μόνο σε υλοποιήσεις Hardware με την ευελιξία των προγραμματίσιμων συστημάτων που βασίζονται σε υλοποιήσεις λογισμικού. Αυτός ο συνδυασμός προσφέρει μια ιδιαίτερα ευέλικτη και αποδοτική προσέγγιση στο σχεδιασμό των συστημάτων επικοινωνιών. Επιτρέπει στους σχεδιαστές συστημάτων να κατασκευάσουν συστήματα με μεγαλύτερες δυνατότητες ως προς τον αριθμό των υποστηριζόμενων διεπαφών, να ενσωματώσουν σε αυτά υπηρεσίες υψηλότερου επιπέδου, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής για τα προϊόντα.

Οι ΔΕ είναι ειδικού τύπου επεξεργαστές ιδιαίτερα υψηλής ολοκλήρωσης. Κύριος σκοπός της λειτουργίας τους είναι η βελτιστοποίηση της επεξεργασίας και η μεγιστοποίηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Χαρακτηρίζονται από πολλαπλούς επεξεργαστικούς πυρήνες καθένας από τους οποίους επιτελεί διαφορετική λειτουργία. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η κατανομή του φόρτου εργασίας μέσα στο ΔΕ, και η παράλληλη εκτέλεση των απαιτούμενων λειτουργιών σε διαφορετικά υποσυστήματα του. Παρέχουν υψηλό εύρος ζώνης σημάτων εισόδου και εξόδου (Input Output- I/O), πολλαπλούς διαύλους επικοινωνιών υψηλού ρυθμού και μια συλλογή από περιφερειακά συστήματα υλικού που επιτρέπουν την επικοινωνία των ΔΕ με μια σειρά από ετερογενή δίκτυα.

Ένα κύριο γνώρισμα των ΔΕ είναι ότι βασίζονται σε διαφορετική αρχιτεκτονική από ότι οι κοινοί επεξεργαστές. Οι μικροεπεξεργαστές όπως η σειρά της Intel 286/386/486/Pentium έχουν βασιστεί στο αρχιτεκτονικό μοντέλο CISC (Υπολογιστές με Πολύπλοκο Σύνολο Εντολών - Complex Instruction Set Computing - CISC)[1]. Οι επεξεργαστές CISC ενσωματώνουν ένα μεγάλο και σύνθετο σύνολο εντολών. Μέσα από ο αυτές τις εντολές, ο επεξεργαστής γίνεται εξαιρετικά ευπροσάρμοστος σε κάθε τύπου προγράμματα. Οι προγραμματιστές μπορούν να εκμεταλλευθούν το μεγάλο σύνολο των εντολών για τη δημιουργία σύνθετων προγραμμάτων για τη δημιουργία ποικίλων εφαρμογών. Εντούτοις, λόγω ακριβώς των σύνθετων εντολών, οι CISC επεξεργαστές δυσκολεύονται να ικανοποιήσουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις απόδοσης και χρονισμού που απαιτούν οι σύγχρονες εφαρμογές δικτύων. Η πολυπλοκότητα των εντολών αλλά κυρίως ο μη ντετερμινιστικός χρόνος εκτέλεσης των, δεν επιτρέπει στους επεξεργαστές CISC να επιτυγχάνουν ιδιαίτερα υψηλές επιδόσεις σε δικτυακές εφαρμογές.

Η εναλλακτική προσέγγιση είναι η αρχιτεκτονική τύπου RISC (Υπολογιστές με μειωμένο Σύνολο Εντολών - Reduced Instruction Set Computing - RISC)[2]. Οι

επεξεργαστές RISC υποστηρίζουν ένα πολύ απλούστερο και μικρότερο σύνολο εντολών που τους επιτρέπει να εκτελούν τις εντολές με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες από τους αντίστοιχους CISC επεξεργαστές..

Μια ακόμη βασική διαφορά μεταξύ των αρχιτεκτονικών CISC και RISC είναι ότι στην αρχιτεκτονική τύπου RISC οι εντολές αριθμητικών υπολογισμών δεν έχουν άμεση πρόσβαση στη μνήμη. Αντ' αυτής χρησιμοποιούνται μια σειρά από καταχωρητές που φυλάσσουν τους τελεστές των αριθμητικών πράξεων. Οι καταχωρητές αυτοί διαβιβάζονται από και προς τη μνήμη μέσω μιας σειράς ειδικών εντολών φόρτωσης και αποθήκευσης (load/store). Επιπλέον το σύνολο των εντολών της RISC αρχιτεκτονικής περιλαμβάνει μόνο βασικές αριθμητικές πράξεις. Οι δυο αυτές διαφορές έχουν σαν αποτέλεσμα οι επεξεργαστές RISC να εκτελούν τα προγράμματα μέσω εντολών που έχουν μικρή καθυστέρηση. Το περιορισμένο σύνολο των εντολών σημαίνει βέβαια ότι για την εκτέλεση μιας διεργασίας είναι απαραίτητο να εκτελεστούν περισσότερες από ότι σε μια CISC αρχιτεκτονική. Επειδή όμως οι εντολές είναι λιγότερο σύνθετες και έχουν όλες περίπου την ίδια χρονική διάρκεια. Με το τρόπο αυτό μπορεί να καθοριστεί με ντετερμινιστικό τρόπο η συνολική διάρκεια της εκτέλεσης μιας διεργασίας και καθιστά τους επεξεργαστές RISC κατάλληλους για εφαρμογές αυστηρού χρονισμού, όπως είναι οι δικτυακές εφαρμογές.

Σε σύγκριση με τα συστήματα ASIC, οι μικροεπεξεργαστές RISC έχουν το βασικό πλεονέκτημα ότι είναι εύκολα προγραμματισίμοι. Ένας RISC επεξεργαστής συνδυάζει το παραδοσιακό πρότυπο των παλαιότερων συστημάτων βασισμένων σε υλοποιήσεις λογισμικού και επομένως διατηρεί τα πλεονεκτήματα (υψηλό επίπεδο προγραμματισιμότητας και ευελιξίας) επίσης διατηρώντας εν μέρει και τα μειονεκτήματα (πιο αργή απόδοση, δεδομένου ότι οι αποφάσεις λαμβάνονται στο λογισμικό) εκείνου του προτύπου. Η απόδοση των επεξεργαστών RISC έχει βελτιωθεί κατά τη διάρκεια των ετών με να εκμεταλλευθεί το νόμο Moore (διπλασιασμός της πυκνότητας κρυσταλλολυχνιών κάθε 18 μήνες). Η μειωμένη γεωμετρία κρυσταλλολυχνιών επιτρέπει όχι μόνο υψηλότερη πυκνότητα, αλλά και αυξημένη συχνότητα λειτουργίας. Οι πιο σύγχρονοι βασισμένοι στο λογισμικό δρομολογητές χρησιμοποιούν έναν πυρήνα επεξεργασίας RISC (αν και σε μερικές διαμορφώσεις οι στόχοι ξεφορτώνονται στις ASIC-βασισμένες κάρτες γραμμών). Αυτή η αρχιτεκτονική RISC καθιστά αυτούς τους δρομολογητές ικανούς να αντεπεξέρθουν σε μια μεγάλη ποικιλία των πρωτοκόλλων και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων εντούτοις δεν ξελεπιάζουν καλά όπως τα πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα προστίθενται ή οι πρόσθετες απαιτήσεις εύρους ζώνης επιβάλλονται. Παραδείγματος χάριν, τα ενεργοποιώντας χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως οι κατάλογοι ελέγχου πρόσβασης (ACL) ή η λογιστική

IP σε έναν RISC-βασισμένο δρομολογητή κάτω από το βαρύ φορτίο μπορούν να αναγκάσουν το προϊόν για να φθάσουν γρήγορα στο μέγιστο ποσοστό χρησιμοποίησης επεξεργαστών του, που βλάπτει τη απόδοση δρομολόγησης της κυκλοφορίας.

Εξετάζοντας τα χαρακτηριστικά των ΔΕ θα μπορούσαμε συνοπτικά να παραθέσουμε τα παρακάτω στοιχεία:

1. Προγραμματισιμότητα.

Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια σειρά διαφορετικών δικτύων, ένας ΔΕ RISC πρέπει να μπορεί να ανταποκριθεί σε ένα ευρύ φάσμα διεπαφών, πρωτοκόλλων, και τύπων προϊόντων. Αυτό απαιτεί προγραμματισιμότητα σε όλα τα επίπεδα της στρωμάτωσης πρωτοκόλλων OSI, από το στρώμα 2 έως το στρώματος 7. Η υποστήριξη των πρωτοκόλλων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο που η κάθε είδους τηλεπικοινωνιακή κίνηση να μπορεί να μεταβιβάζεται από και προς τις διάφορες διεπαφές του επεξεργαστή.

2. Απλό πρότυπο προγραμματισμού.

Η προγραμματισιμότητα του επεξεργαστή δικτύων πρέπει να είναι εύκολα προσιτή στους μηχανικούς ανάπτυξης προκειμένου να είναι χρήσιμη. Οι εφαρμογές λοιπόν που αναπτύσσονται σε έναν τέτοιο επεξεργαστή θα πρέπει να είναι υλοποιημένες σε μια ευρείας αποδοχής γλώσσα προγραμματισμού. Οι πιο κοινές γλώσσες προγραμματισμού στα συστήματα επικοινωνιών είναι οι C και C ++, με τα εκατομμύρια των ειδικευμένων προγραμματιστών και τις ακόμα περισσότερες γραμμές υπάρχοντος κώδικα. Ο προγραμματισμός σε C και C ++ ενισχύει επίσης τη φορητότητα του κώδικα, επιτρέποντας τη χρήση στις μελλοντικές γενεές των επεξεργαστών δικτύων. Κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό με τις εξειδικευμένες γλώσσες προγραμματισμού ή τους κώδικες μηχανών-κατάστασης (state-machines).

3. Επεξεργαστική Ισχύς.

Η αρχιτεκτονική του επεξεργαστή δικτύων πρέπει να είναι περισσότερο από τη συγχώνευση μερικών επεξεργαστών πυρήνων RISC και μερικών μηχανών –κατάστασης επεξεργασίας πακέτων. Ένας πλήρως βελτιστοποιημένος δικτυακός επεξεργαστής την αρχιτεκτονική, με ένα υψηλό MIPs (εκατομμύρια των οδηγιών ανά δευτερόλεπτο) στην αναλογία Gbps (Gigabits ανά δευτερόλεπτο) απαιτείται για να υποστηρίξει τη πλήρη λειτουργία σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και να έχει ακόμα επιπλέον ισχύ για την εκτέλεση προηγμένων εφαρμογών.

4. Υψηλός Βαθμός Ολοκλήρωσης.

Οι επεξεργαστές δικτύων πρέπει να παρέχουν ένα υψηλό επίπεδο ολοκλήρωσης που να μειώνει τον αριθμό των απαιτούμενων επιπλέον ολοκληρωμένων αλλά και την πολυπλοκότητα των συστημάτων, ταυτόχρονα βελτιώνοντας την απόδοση, σε σύγκριση με μια σχεδίαση που αποτελείται από πολλαπλάσια διακριτά συστατικά (όπως ASSPs). Επιπλέον, ένας επεξεργαστής δικτύων αποφεύγει τα σημεία συμφόρησης διασύνδεσης που είναι δυνατό να εμφανιστούν σε συστήματα που στηρίζονται σε απλούς επεξεργαστές. Οι ενσωματωμένοι συνεπεξεργαστές (όπως για την ταξινόμηση ή την αναμονή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης) μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλήρως από τις εσωτερικές μονάδες επεξεργασίας χωρίς να παρουσιάζονται φαινόμενα συμφόρησης.

Η ολοκλήρωση των χαμηλότερων λειτουργιών στρώματος μέσα στο ολοκληρωμένο, επιτρέπει επίσης τις υψηλότερες πυκνότητες διεπαφών και πολύ χαμηλότερο κόστος από ότι στο παρελθόν.

5. Σταθερές διεπαφές προγραμματισμού

Ένας δικτυακός επεξεργαστής δεν μπορεί να έχει υψηλή ευελιξία και φορητότητα λογισμικού εάν οι διεπαφές προγραμματισμού εξαρτώνται από τον επεξεργαστή. Η αρχιτεκτονική του επεξεργαστή πρέπει να υποστηρίζει τις γενικές "Προγραμματιστικές Διεπαφές" για να απλοποιήσει τον προγραμματισμό και να επιτρέψει τη μελλοντική επαναχρησιμοποίηση λογισμικού στις επερχόμενες γενεές επεξεργαστών. Με την σταθερότητα του λογισμικού μεταξύ των γενεών των προϊόντων, οι επεξεργαστές δικτύων βελτιώνουν ριζικά τον κύκλο ανάπτυξης αλλά και την αξιοπιστία του λογισμικού. Η αξιοπιστία λογισμικού είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας στη συνολική διαθεσιμότητα των συστημάτων.

6. Επεκτασιμότητα

Πλεονεκτήματα προκύπτουν και όσον αφορά την επεκτασιμότητα του συστήματος για την υποστήριξη μελλοντικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Ο δικτυακός επεξεργαστής επεξεργάζεται τα σχετικά δεδομένα με ρουτίνες που είναι αποθηκευμένες σε εσωτερική του μνήμη. Οι ρουτίνες αυτές είναι δυνατό να αναβαθμιστούν για την υποστήριξη νέων τεχνολογιών. Έτσι για παράδειγμα η σύνδεση ATM μπορεί με αναβάθμιση να υποστηρίξει εισαγωγή σε πλαίσια AAL2.

7. Μείωση του κόστους.

Ο δικτυακός επεξεργαστής ενσωματώνει στην ίδια συσκευασία, έναν επεξεργαστή ικανό να εκτελεί το λειτουργικό σύστημα, μια μονάδα επεξεργασίας βελτιστοποιημένη για

τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές καθώς και τα απαραίτητα λογικά κυκλώματα για την διασύνδεση με διεπαφές δικτύου (Ethernet, ATM, TDM). Εάν οι λειτουργίες αυτές εκτελούνταν από διαφορετικά ολοκληρωμένα τότε θα απαιτούνταν τουλάχιστον 3-πλάσιος χώρος (σε επίπεδο PCB) ενώ και το κόστος των επιμέρους εξαρτημάτων θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερο. Η ελάχιστη σύνθεση του συστήματος θα έπρεπε να περιλαμβάνει έναν συμβατικό επεξεργαστή και αριθμό ελεγκτών διεπαφών δικτύου ίσο με τις προσφερόμενες από το σύστημα διεπαφές.

8. Μείωση Κατανάλωσης Ισχύος.

Η ολοκλήρωση πολλών λειτουργιών σε ένα μόνο ολοκληρωμένο εξασφαλίζει εκτός από περισσότερο χώρο και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που έχουν αυξημένες απαιτήσεις επεξεργασίας. Ειδικά όταν αυτά βασίζονται σε τυποποιημένες εκδόσεις υλικού (όπως το Compact PCI) που ορίζουν σαφώς για κάθε κάρτα που ενσωματώνεται στο σύστημα εκτός από τις ακριβείς διαστάσεις και την μέγιστη κατανάλωση που επιτρέπεται να έχει. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις των ενσωματωμένων συστημάτων όπου η κατανάλωση ισχύος πολλές φορές επιβάλλεται να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερη.

9. Απλούστευση στην σχεδίαση.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που εξασφαλίζει η χρήση του δικτυακού επεξεργαστή είναι η απλούστευση στην σχεδίαση. Όλες οι δικτυακές διεπαφές συγκεντρώνονται σε ένα σημείο, δεδομένου ότι ο δικτυακός επεξεργαστής έχει την δυνατότητα να εξυπηρετήσει τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες δικτύου απ' ευθείας με χρήση ελάχιστων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που υλοποιούν το φυσικό στρώμα. Το πλεονέκτημα αυτό ευνοεί και την ανάπτυξη του λογισμικού το οποίο εκτελείται κατ' αποκλειστικότητα στον επεξεργαστή και δεν απαιτείται ο συγχρονισμός μεταξύ ανεξάρτητων υποσυστημάτων που εισάγει καθυστερήσεις. Επιπλέον η διαμεταγωγή των δεδομένων από τη μία σύνδεση στην άλλη γίνεται στον εσωτερικό διάυλο του δικτυακού επεξεργαστή σε πολύ μεγάλη ταχύτητα (στην εσωτερική συχνότητα λειτουργίας). Η συχνότητα αυτή είναι τουλάχιστον διπλάσια από αυτή του τοπικού διαύλου.

Από όλα τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι για το σύγχρονο και δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών, οι δικτυακοί επεξεργαστές αποτελούν το πλέον κατάλληλο τύπο υλικού καθώς μπορούν να ανταποκριθούν με επιτυχία σε μια σειρά από απαιτήσεις.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα δικτυακού επεξεργαστή ο οποίος είναι και ο ΔΕ στον οποίο έχει βασιστεί η σχεδίαση των συστημάτων που παρουσιάζονται στην εργασία αυτή.

2.3 Ο ΔΙΚΤΥΑΚΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ MPC8260.

Η οικογένεια των επεξεργαστών [3] PowerQuicc II MPC82xx της Freescale (πρώην Motorola) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες περιπτώσεις δικτυακών επεξεργαστών και έχει μια ιστορία αρκετών χρόνων. Αποτελεί διάδοχο του MC68302 QUICC processor (που διαθέτει πυρήνα βασισμένο σε τεχνολογία CISC), έναν από τους πρώτους επεξεργαστές υψηλής ολοκλήρωσης για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Ο συγκεκριμένος επεξεργαστής αποτελεί την 3^η γενιά αυτών των επεξεργαστών. Από την πρώτη έκδοση του επεξεργαστή το 1998, έχουν ακολουθήσει μια σειρά από βελτιώσεις και παραλλαγές. Οι βελτιώσεις αφορούν κυρίως τη συχνότητα λειτουργίας, τον αριθμό των υποστηριζόμενων διεπαφών, διορθώσεις στο εσωτερικό του επεξεργαστή προκειμένου να εξαλειφθούν εγγενή σφάλματα στο πυρίτιο καθώς και ενσωμάτωση στο ίδιο κέλυφος υψηλότερης ολοκλήρωσης προκειμένου να μειωθεί ακόμη περισσότερο η κατανάλωση αλλά και να αυξηθεί η υπολογιστική ισχύς του επεξεργαστή. Έτσι η συχνότητα λειτουργίας 4πλασιάστηκε από την ημέρα της παρουσίασης του επεξεργαστή έως σήμερα, ενώ νέες εκδόσεις δημιουργήθηκαν (βασισμένες πάντα στην ίδια αρχιτεκτονική) που ενσωματώνουν εναλλακτικά διαφορετικές διεπαφές και απευθύνονται σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Στις παρακάτω παραγράφους θα αναλυθεί με λεπτομέρεια η εσωτερική αρχιτεκτονική του επεξεργαστή και θα αναδειχθούν τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει.

2.3.1 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ.

Οι δικτυακοί επεξεργαστές της σειράς PowerQUICC της Motorola αποτελούν ένα από τους επικρατέστερους τύπους επεξεργαστών αυτή τη στιγμή στην αγορά των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και όχι μόνο. Στα 10 χρόνια από της στιγμή της δημιουργίας τους, οι επεξεργαστές PowerQUICC έχουν πουλήσει πάνω από 200 εκατομμύρια κομμάτια. Σύμφωνα με τελευταίες έρευνες [4], οι PowerQUICC επεξεργαστές κατέχουν αυτή τη στιγμή το 82,7% της αγοράς των ενσωματωμένων επεξεργαστών ξεπερνώντας ακόμα και την Intel. Η σειρά MPC8260 αποτελεί μέρος της σειράς PowerQUICC II, εξέλιξης της αρχικής έκδοσης PowerQUICC.

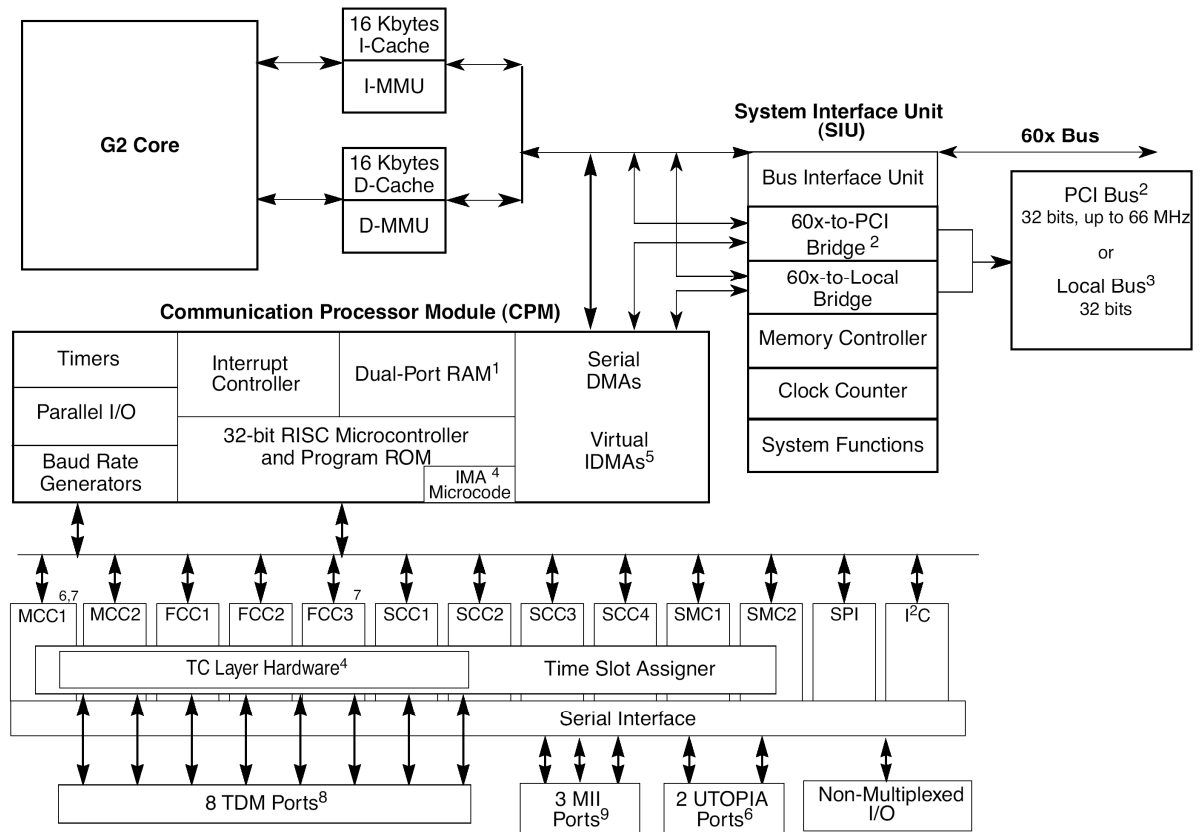


Σχήμα 2-2 - Ο Δικτυακός επεξεργαστής MPC8260.

Οι ιδιαίτερες δικτυακές του ικανότητες οφείλονται στην εσωτερική αρχιτεκτονική του. Το βασικότερο χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη ανεξάρτητων επεξεργαστικών μονάδων εντός του επεξεργαστή. Κάθε μια από τις ανεξάρτητες αυτές εσωτερικές μονάδες, αναλαμβάνει μια συγκεκριμένη λειτουργικότητα. Έτσι επιτυγχάνεται ο παραλληλισμός των εργασιών που το σύστημα καλείται να επιτελέσει, με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη και ταχύτερη εκτέλεση των λειτουργιών αυτών. Οι μονάδες αυτές είναι οι παρακάτω:

- ⇒ Ο κεντρικός πυρήνας του επεξεργαστή που αποτελεί μια έκδοση του επεξεργαστή 603e.
- ⇒ Η τηλεπικοινωνιακή επεξεργαστική μονάδα (CPM Communications Processor Module) βελτιστοποιημένη για επεξεργασία τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων. Η CPM παρέχει μια πληθώρα από ετερογενείς δικτυακές διεπαφές.
- ⇒ Το υποσύστημα γενικής διαχείρισης και διασύνδεσης των παραπάνω μονάδων (SIU System Integration Unit).
- ⇒ Δυο εσωτερικοί δίαυλοι επικοινωνίας για πιο αποδοτική επικοινωνία των εσωτερικών μονάδων και των περιφερειακών συστημάτων.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εσωτερική αρχιτεκτονική του δικτυακού επεξεργαστή:



Σχήμα 2-3 - Η εσωτερική αρχιτεκτονική του δικτυακού επεξεργαστή

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά των επιμέρους οντοτήτων του Δικτυακού Επεξεργαστή.

2.3.2 Ο ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ.

Ο βασικός πυρήνας του επεξεργαστή είναι ένας PowerPC πυρήνας που βασίζεται στην τεχνολογία RISC.

Η συχνότητα λειτουργίας του βασικού πυρήνα μπορεί να είναι από 100 έως 300 MHz. Είναι δηλαδή ένας επεξεργαστής με υψηλή απόδοση που μπορεί να φτάσει τα 570 MIPS (εκατομμύρια εντολές ανά δευτερόλεπτο) στα 300 MHz (μέτρηση κατά Dhrystone 2.1 MIPS). Η συγκεκριμένη υλοποίηση του επεξεργαστή έχει κατασκευαστεί με γνώμονα την χαμηλή κατανάλωση ισχύος και περιλαμβάνει τις κατάλληλες λειτουργικές μονάδες διαχείρισης της κατανάλωσης. Ο πυρήνας περιέχει μια διασύνδεση ελέγχου που διευκολύνει τις δοκιμές για την εκτέλεση του λογισμικού (COP, Common On-chip Processor test interface).

Για την διασύνδεση με τα υπόλοιπα λειτουργικά στοιχεία του επεξεργαστή έχουμε δύο ξεχωριστές μονάδες διαχείρισης λανθάνουσας μνήμης (Cache memory), μια για δεδομένα και μια για εντολές (Data cache & Instruction Cache). Το μέγεθος της κάθε μίας είναι 16 Kbytes.

Ο πυρήνας ενσωματώνει 4 διαφορετικές υπολογιστικές μονάδες: Τη μονάδα ακεραίων αριθμών (Integer Unit – IU) τη μονάδα φόρτωσης και αποθήκευσης (Load/Store), τη μονάδα επεξεργασίας διακλαδώσεων (Branch Processing Unit – BPU) και τη μονάδα καταχωρητών του συστήματος (System Register Unit – SRU). Η μονάδα έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης εκτέλεση έως και 4 διαφορετικών εντολών ενώ οι περισσότερες εντολές πραγματοποιούνται μέσα στη χρονική διάρκεια μιας περιόδου ρολογιού.

2.3.3 ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ.

Το υποσύστημα γενικής διαχείρισης και διασύνδεσης περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- ⇒ Ένα 60x συμβατό παράλληλο διαύλο συστήματος ικανό να υποστηρίξει εύρος δεδομένων μέχρι 64 bits. Ο διαύλος αυτός μπορεί να λειτουργήσει και με μικρότερο εύρος 32, 16 ή 8 bit για πρόσβαση σε λιγότερο απαιτητικές συσκευές. Ο επεξεργαστής διαθέτει εσωτερική μονάδα διαίτησίας του διαύλου που διαχειρίζεται την επικοινωνία του πυρήνα με την τηλεπικοινωνιακή επεξεργαστική μονάδα CPM και εξωτερικές συσκευές. Ο διαύλος όμως μπορεί να λειτουργήσει και με εξωτερική διαίτησία.
- ⇒ Έναν τοπικό διαύλο με εύρος δεδομένων 32 bit και διευθυνσιοδότηση 32 bit εσωτερικά και 18 bit εξωτερικά. Βασικό πλεονέκτημα του διαύλου αυτού είναι η βελτίωση της απόδοσης της τηλεπικοινωνιακής επεξεργαστικής μονάδας. Μέσω του τοπικού διαύλου η τηλεπικοινωνιακή επεξεργαστική μονάδα έχει πρόσβαση στην εξωτερική μνήμη χωρίς να επιβαρύνεται ο πυρήνας. Ο διαύλος αυτός τρέχει στην ίδια συχνότητα με τον διαύλο 60x.
- ⇒ Έναν ελεγχτή μνήμης ικανό να υποστηρίξει 12 διαφορετικές περιοχές μνήμης (Memory Banks) είτε μέσω του διαύλου 60x είτε μέσω του τοπικού διαύλου. Ο εξελιγμένος αυτός ελεγκτής μπορεί να προσπελάσει τρεις διαφορετικούς τύπους μνήμης ταυτόχρονα.
- ⇒ Υποστηρίζει σύνδεση ελέγχου JTAG (σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 1149.1 [5]).
- ⇒ Εποπτεία του διαύλου 60x, παροχή ρολογιού πραγματικού χρόνου, περιοδικός χρονιστής διακοπών και άλλες λειτουργίες για embedded εφαρμογές.
- ⇒ Απευθείας σύνδεση με τη λανθάνουσα μνήμη δευτέρου επιπέδου (L2 cache).

2.3.4 Η ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Η Τηλεπικοινωνιακή Επεξεργαστική Μονάδα (Communications Processor Module - CPM) είναι το στοιχείο που ουσιαστικά προσθέτει στον επεξεργαστή όλα αυτά τα χαρακτηριστικά που τον διαφοροποιούν από τους απλούς επεξεργαστές. Τα χαρακτηριστικά αυτά βελτιστοποιούν την λειτουργία του δικτυακού επεξεργαστή σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, ειδικά για την υποστήριξη υψηλής ταχύτητας διασυνδέσεων (όπως Ethernet των 100 Mbps και ATM των 155Mbps). Η μονάδα μπορεί να πετύχει σειριακούς ρυθμούς διαμεταγωγής έως 710Mbps όταν λειτουργεί στα 133 MHz. Οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει η μονάδα αυτή και τα πλεονεκτήματά της περιγράφονται παρακάτω:

⇒ Η μονάδα αποτελεί έναν ενσωματωμένο 32 bit ελεγκτή που βασίζεται και αυτός σε τεχνολογία RISC. Χρησιμοποιεί έναν διαφορετικό τοπικό δίαυλο (CPM local bus) από αυτόν που χρησιμοποιεί ο βασικός πυρήνας (60x bus). Με αυτόν τον τρόπο η μονάδα τηλεπικοινωνιακής επεξεργασίας μπορεί να έχει πρόσβαση σε εξωτερική μνήμη χωρίς να παρεμβάλλεται ο βασικός πυρήνας του επεξεργαστή. Έτσι μπορεί να εκτελεί λειτουργίες χαμηλού επιπέδου παράλληλα με τον βασικό πυρήνα που μπορεί να αναλάβει υψηλότερου επιπέδου λειτουργίες. Εναλλακτικά, ο τοπικός δίαυλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν δίαυλος PCI για εφαρμογές που απαιτούν τέτοιου είδους λειτουργικότητα. Η λειτουργικότητα αυτή, αν και είχε αναγγελθεί από τις πρώτες εκδόσεις του επεξεργαστή υλοποιήθηκαν και ενσωματώθηκε τελικά σε μεταγενέστερες εκδόσεις του.

⇒ Το σύνολο των εντολών της μονάδας CPM είναι βελτιστοποιημένο για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για πιο γενικευμένες εφαρμογές, απαλλάσσοντας τον βασικό πυρήνα από μικρές συχνά επαναλαμβανόμενες διαδικασίες.

⇒ Η μονάδα διαθέτει δύο σειριακούς ελεγκτές για απευθείας πρόσβαση στη μνήμη (DMA, direct memory access). Οι ελεγκτές αυτοί επιτρέπουν ταυτόχρονες μεταφορές δεδομένων από το τοπικό στο 60x δίαυλο.

⇒ Υπάρχουν τρεις τηλεπικοινωνιακοί ελεγκτές υψηλών ταχυτήτων (FCC Fast Communication Controllers) που μπορούν να υποστηρίξουν συνδέσεις ATM (έως 155 Mbps), συνδέσεις Fast Ethernet (των 100Mbps) και σειριακές συνδέσεις με κωδικοποίηση HDLC (μέχρι E3 ρυθμούς των 45Mbps).

⇒ Επιπλέον υπάρχουν δύο ελεγκτές πολλαπλών καναλιών (MCC multichannel controllers) που μπορούν να διαχειριστούν έως 256 κανάλια των 64Kbps με κωδικοποίηση HDLC,

πολυπλεγμένα σε οχτώ TDM συνδέσεις (E1 ή T1). Υποστηρίζονται επίσης υπερ-κανάλια με ρυθμούς πολλαπλάσιους των 64Kbps και υπο-κανάλια σε υποδιαιρέσεις των 64Kbps.

⇒ Εκτός από τους ελεγκτές υψηλών ταχυτήτων FCC υπάρχουν και τέσσερις σειριακοί τηλεπικοινωνιακοί ελεγκτές (Serial Communication Controllers - SCC) χαμηλότερης απόδοσης. Οι ελεγκτές αυτοί υποστηρίζουν μικρότερες ταχύτητες σύνδεσης με πρωτόκολλα Ethernet, HDLC, UART κ.α.

⇒ Υπάρχουν δύο σειριακοί ελεγκτές (Serial Management Controllers - SMC) που υποστηρίζουν πρωτόκολλα UART, GCI (BRI ISDN) κ.α.

⇒ Για την επικοινωνία με άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα υποστηρίζονται οι διαύλοι SPI και I2C.

⇒ Υπάρχει η δυνατότητα πολυπλεξίας των δεδομένων μεταξύ οποιουδήποτε από τους FCC, SCC και SMCs ελεγκτές μέσω του TSA (Time-slot assigner).

⇒ Σε νεότερες εκδόσεις του επεξεργαστή υπάρχει διεπαφή USB 2.0.

Για τις εφαρμογές που πρέπει να υποστηρίζει το σύστημα βασικό είναι να χρησιμοποιηθούν οι διεπαφές Ethernet και ATM του επεξεργαστή. Οι ελεγκτές FCC (Fast Communication Controllers) είναι αυτοί που επιτρέπουν την πιο γρήγορη επεξεργασία δεδομένων πάνω από τα πρωτόκολλα αυτά. Ο συγκεκριμένος επεξεργαστής μπορεί να πετύχει ρυθμό διαμεταγωγής έως 155 Mbps σε μια σύνδεση ATM και 100 Mbps σε συνδέσεις Ethernet. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές που υλοποιούνται αφορούν την διασύνδεση δικτύων μεταγωγής κυκλώματος με δίκτυα μεταγωγής πακέτων, χρησιμοποιούμε τον ελεγκτή MCC (Multi-Channel Controllers) για τον τερματισμό σειριακής κίνησης όπως αυτή στο H.110 bus.

Κατά την μετατροπή μεταξύ των δύο διαφορετικών μορφών κίνησης, πολύ απαιτητική διαδικασία είναι η διαμεταγωγή από ένα ελεγκτή σε άλλο. Η αποτελεσματική υλοποίηση αυτής της διαμεταγωγής επιταχύνεται από τον δικτυακό επεξεργαστή και από την ειδική μονάδα πολυπλεξίας (TSA). Για τον λόγο αυτό, οι διαδικασίες αυτές υλοποιούνται στο υλικό του επεξεργαστή, αφού μόνο αυτό μπορεί να εξασφαλίσει την απαραίτητη ταχύτητα.

Κατά τη χρονική εξέλιξη της σειράς των επεξεργαστών MPC82xx μια σειρά από σημαντικές βελτιώσεις και αλλαγές έχουν ενσωματωθεί στην οικογένεια των επεξεργαστών αυτών. Νέες εκδόσεις με μεγαλύτερες δυνατότητες, όσον αφορά τη συχνότητα λειτουργίας είναι μια από τις βασικές και αναμενόμενες επεκτάσεις. Πέρα όμως από αυτές, είναι σημαντικό να αναφερθούν και άλλες που αφορούν σε διαφορετικές εκδόσεις του επεξεργαστή τροποποιημένου κατάλληλα προκειμένου να ανταποκριθεί σε ειδικές

εφαρμογές. Για παράδειγμα η έκδοση MPC8250 περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα PCI αλλά δεν περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα ATM. Επίσης η συσκευασία του είναι διαφορετική από τις συσκευασίες των κανονικών επεξεργαστών MPC82xx και δεν μπορεί να λειτουργήσει σε ακραίες συνθήκες όπως οι βασικοί επεξεργαστές της σειράς. Μια τέτοια διαφοροποίηση μπορεί να φαίνεται παράξενη ή περιττή. Εντούτοις, μέσω των διαφορετικών αυτών εκδόσεων δημιουργούνται οικονομικότερες λύσεις οι οποίες είναι κατάλληλες για συγκεκριμένες μόνο εφαρμογές. Το βασικό πλεονέκτημα της στρατηγικής αυτής είναι ασφαλώς η οικονομία που επιτυγχάνεται κατά την ανάπτυξη εξειδικευμένων προϊόντων τα οποία και ενδεχομένως να μην είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουν όλες τις επιμέρους δικτυακές δυνατότητες που ο επεξεργαστής στην βασική του έκδοση είναι δυνατό να προσφέρει. Ένα δεύτερο και εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και το γεγονός ότι καθώς οι διαφορετικές εκδόσεις του επεξεργαστή βασίζονται στα ίδια δομικά λειτουργικά στοιχεία, η ανάπτυξη τόσο των συστημάτων που βασίζονται στον επεξεργαστή αυτό όσο και η ανάπτυξη του λογισμικού που τα συστήματα χρησιμοποιούν μειώνεται σημαντικά. Σημαντικό είναι επίσης και το γεγονός ότι οι διαφορετικές εκδόσεις είναι τις περισσότερες φορές συμβατές ακόμα και σε επίπεδο αποτυπώματος των ακροδεκτών τους, κάνοντας ακόμα πιο εύκολη την επανασχεδίαση νέων συστημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ

Στο Κεφάλαιο 2 έγινε μια εκτενής περιγραφή των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων των δικτυακών επεξεργαστών. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση συστημάτων που ενσωματώνουν δικτυακούς επεξεργαστές. Έμφαση θα δοθεί στο σύστημα που αναπτύχθηκε για το ερευνητικό πρόγραμμα NETGATE και ενσωματώνει τον επεξεργαστή MPC8260. Εκτενής αναφορά θα γίνει παράλληλα και σε συστήματα δικτύωσης μικρότερης κλίμακας που όμως χρησιμοποιούν τον ίδιο δικτυακό επεξεργαστή εκμεταλλευόμενα των δυνατοτήτων που αυτός προσφέρει.

Μέσα από την παρουσίαση 2 πραγματικών συστημάτων δικτυακών επεξεργαστών, το κεφάλαιο αυτό φιλοδοξεί να τεκμηριώσει την ευελιξία των ΔΕ αλλά και την πληθώρα των εφαρμογών (δικτυακών και μη) που αυτού του είδους οι επεξεργαστές μπορούν να υποστηρίξουν.

3.1 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ.

Στην τελευταία δεκαετία, η εξέλιξη τόσο στα δίκτυα πρόσβασης όσο και στα δίκτυα κορμού έχει καταστήσει διαθέσιμες πολλές νέες τεχνολογίες στους χρήστες και τους φορείς παροχής υπηρεσιών. Κατά συνέπεια η ασύρματη και η ενσύρματη πρόσβαση προσφέρονται μέσω μιας σειράς ετερογενών δικτύων, καθένα από τα οποία παρέχει διαφορετικού είδους υπηρεσίες και προσφέρει κατάλληλες λύσεις και επαρκή ποιότητα υπηρεσίας στον τελικό χρήστη.

Μια από τις πολλές προκλήσεις που τίθενται από τη γρήγορη πρόοδο της τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών και την εμφάνιση των νέων δικτυακών αρχιτεκτονικών (VoIP, IN, GPRS, UMTS, WiFi, WiMAX κτλ), είναι ακριβώς η ανάγκη διασύνδεσης των διαφορετικών υπάρχοντων δικτύων και η επίλυση των προβλημάτων διαλειτουργικότητας μεταξύ των νέων τεχνολογιών και των συστημάτων παλαιότερης τεχνολογίας. Το μεγάλο ερώτημα που τίθεται επομένως είναι το κατά πόσο είναι δυνατό να παρασχεθεί μια λύση που θα είναι σε θέση "να συνδυάσει" τις διαφορετικές λειτουργίες και τα πρωτόκολλα κάθε δικτύου, αλλά και να εξασφαλίσει τη μεταξύ τους διαλειτουργικότητα.

Σε ένα τέτοιο περιβάλλον όπου οι τεχνολογίες πρόσβασης αλλάζουν ταχύτατα και οι ταχύτητες πρόσβασης αυξάνονται με σχεδόν εκθετικό ρυθμό, η ύπαρξη συστημάτων που είναι σε θέση να αντεπεξέρθουν στις απαιτήσεις των νέων δικτύων είναι προφανής. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων θα πρέπει να είναι η ευελιξία όσον αφορά στη δυνατότητα διασύνδεσης με ετερογενή δίκτυα, η ικανότητα ομοιόμορφης διασύνδεσης τους, η ευελιξία στην ανάπτυξη και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών πρόσβασης και λογισμικού αλλά και η υψηλή απόδοση όσον αφορά στις επιδόσεις δρομολόγησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Σήμερα, στην αγορά τηλεπικοινωνιών υπάρχουν προϊόντα που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών τύπων δικτύων. Εντούτοις, οι περισσότερες από τις προσφερόμενες λύσεις είναι κλειστού τύπου και στηρίζονται σε στοιχεία δικτύων που απευθύνονται κυρίως σε μεμονωμένες περιπτώσεις, όπως η διασύνδεση των PSTN και IP δικτύων. Τα συστήματα αυτά δεν παρέχουν την απαιτούμενη ευελιξία προσαρμογής σε νέα και εξελισσόμενα πρότυπα.

Η αγορά των μεγάλων συστημάτων διασύνδεσης (gateways) κυριαρχείται από κλειστές λύσεις, βασισμένες σε ακριβές πλατφόρμες υλικού, που συνήθως δεν επιτρέπουν την ομαλή επέκταση των συστημάτων και δεν παρέχουν ανοικτές διεπαφές και APIs για την επέκταση της λειτουργίας των συστημάτων σε νέες υπηρεσίες και πρωτόκολλα. Η κατάσταση αυτή υπάρχει τόσο για τις μεγάλες μονάδες μετατροπής (Alcatel S12, Ericsson AXE 10, κλπ...) που χρησιμοποιούν στην υποδομή των δικτύων κορμού οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, αλλά επίσης και στα μικρότερα τηλεπικοινωνιακά στοιχεία όπως αυτά που παρέχονται από Cisco, Lucent, Ascent, κλπ. Η επέκταση αυτών των συστημάτων είναι συνήθως αδύνατο να επιτευχθεί χωρίς επένδυση σε πρόσθετο εξοπλισμό, δημιουργώντας κατά συνέπεια ακριβά και σύνθετα περιβάλλοντα δικτύωσης.

Επιπλέον οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες δεν έχουν στην διάθεση τους το κατάλληλο ανοιχτό περιβάλλον στο οποίο μπορούν να αναπτύξουν δικές τους υπηρεσίες και να αξιολογήσουν την μετάβαση σε νέες τεχνολογίες δικτύων. Υπάρχει λοιπόν μια ξεκάθαρη ανάγκη για μία βαθμωτή, εύκολα ρυθμιζόμενη πλατφόρμα που θα παρέχει ανοιχτά APIs (Application Programming Interface) για την δημιουργία νέων πρωτοκόλλων και υπηρεσιών.

Όσον αφορά σε μικρότερα συστήματα δικτυακής πρόσβασης οι ΔΕ μπορούν και σε αυτά να προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες. Και αυτό το κομμάτι της αγοράς SOHO αν και σε διαφορετική κλίμακα όσον αφορά στην πολυπλοκότητα και το κόστος παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα. Τα συστήματα πρόσβασης ενσωματώνουν κλειστό λογισμικό το οποίο και δεν επιτρέπει την παραμετροποίηση τους από τους χρήστες ενώ πολλές φορές είναι περιορισμένων δυνατοτήτων όσον αφορά στο πλήθος των προσβάσιμων δικτύων.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, συστήματα που βασίζονται σε δικτυακούς επεξεργαστές, όσον αφορά το υλικό και στο λειτουργικό σύστημα Linux όσον αφορά στο λογισμικό αποτελούν μια ιδανική λύση. Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής τέτοια συστήματα μπορεί να είναι από πολύ μικρά σε υπολογιστική ισχύ έως πολύ μεγάλα. Σε κάθε περίπτωση, ο συνδυασμός ΔΕ και Linux παρέχει έναν ιδιαίτερα ελκυστικό, ευπροσάρμοστο και με αυξημένες

δυνατότητες συνδυασμό ο οποίος και μπορεί να ανταποκριθεί ευέλικτα στις αυξανόμενες απαιτήσεις δικτυακών εφαρμογών και πρόσβασης.

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν 2 διαφορετικά συστήματα που βασίζονται στον ΔΕ MPC8260 της Freescale και το Linux. Αποτελούν 2 χαρακτηριστικά παραδείγματα ευέλικτων συστημάτων αλλά και υποδεικνύουν ακριβώς το εύρος και την ποικιλία των εφαρμογών που οι ΔΕ και το Linux είναι σε θέση να υποστηρίξουν. Το πρώτο σύστημα είναι μια ευέλικτη πλατφόρμα η οποία αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος NETGATE. Αφορά μια πλατφόρμα βιομηχανικών προδιαγραφών η οποία και έχει σκοπό την ενοποίηση ετερογενών δικτύων και τη διεκπεραίωση τηλεφωνικών κλήσεων VoIP γεφυρώνοντας τηλεφωνικά δίκτυα TDM και δίκτυα IP. Το δεύτερο σύστημα αποτελεί μια εξελιγμένη οικιακή δικτυακή πύλη. Πέρα από τις συνηθισμένες διεργασίες πρόσβασης που όλες οι οικιακές πύλες προσφέρουν, το σύστημα είναι σε θέση να παρέχει εξελιγμένες υπηρεσίες όπως πρόσβαση σε διαφορετικά και ετερογενή δίκτυα ενσύρματα ή ασύρματα, υποστήριξη υπηρεσιών όπως file server και printer server αλλά και άλλων. Παράλληλα μέσω των δυνατοτήτων που ο επεξεργαστής αλλά και το Linux παρέχουν, είναι σε θέση να ενσωματώσει με μεγάλη ευκολία μια σειρά από νέες εφαρμογές. Η παρουσίαση θα ξεκινήσει με το 1^ο σύστημα το οποίο και αναπτύχθηκε εξ' ολοκλήρου στο εργαστήριο τηλεπικοινωνιών του ΕΜΠ.

3.2 ΤΟ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ NETGATE

Ο κύριος στόχος του ερευνητικού προγράμματος NETGATE ήταν η σχεδίαση και η ανάπτυξη ενός νέου, χαμηλού κόστους, ευέλικτου, αποδοτικού και επαναπρογραμματιζόμενου συστήματος, ικανού να λειτουργήσει ως πύλη διασύνδεσης πρωτοκόλλων (protocol gateway) υψηλής απόδοσης. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να ανταποκριθεί στο πρόβλημα της συμβατότητας μεταξύ των διαφορετικών δικτύων τηλεπικοινωνιών όπως το ISDN, SS7, IN, ATM, GSM, GPRS ενώ παράλληλα θα παρέχει διεπαφές με τα δίκτυα IP.

Η λύση που το NETGATE προτείνει θα είναι σε θέση να παρέχει διαλειτουργικότητα μεταξύ των ασύρματων δικτύων (όπως GSM, GPRS), των ενσύρματων δικτύων φωνής και δεδομένων (όπως ISDN, PSTN, Ethernet) και των δικτύων βασισμένων στο πρωτόκολλο (IP) καθώς επίσης και μια ανοικτή αρχιτεκτονική που θα έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει και μελλοντικές τεχνολογίες. Επιπλέον, η λύση NETGATE προορίζεται να είναι πλήρως **ευέλικτη και μορφοματική**, δεδομένου ότι θα παράσχει έναν ενιαίο και εύκολα διαμορφώσιμο κόμβο, ο οποίος θα συνδυάζει τις διαφορετικές διεπαφές και καθιστά

δυνατή, μέσω των κατάλληλων τμημάτων υλικού και λογισμικού, την αλληλεπίδραση μεταξύ των διάφορων δικτύων τηλεπικοινωνιών.

Συνοπτικά, το προτεινόμενο σύστημα που το ερευνητικό πρόγραμμα NETGATE προτείνει, θα μπορεί να παρέχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Να λειτουργήσει σαν μία χαμηλού κόστους πλατφόρμα αξιολόγησης που θα επιτρέψει την υλοποίηση και αποτίμηση πιλοτικών εφαρμογών. Με αυτόν τον τρόπο θα αποτελέσει ένα μέσο εκτίμησης της ικανότητας μετατροπής ήδη εγκατεστημένων δικτύων για την υποστήριξη νέων τεχνολογιών (όπως IP, GPRS, UMTS). Οι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού βασίζονται τα δίκτυα τους σε μεγάλα συστήματα διαμεταγωγής που συνδυάζονται με δεσμευμένα εξωτερικά υπολογιστικά συστήματα (workstations) για λειτουργίες όπως η μετατροπή της σηματοδότησης ή η διαχείριση της κίνησης και των πόρων του δικτύου. Σαν αποτέλεσμα έχουμε το υψηλό κόστος ενός τέτοιου συστήματος που δυσκολεύει κάθε μελλοντική επέκταση. Το σύστημα που σχεδιάστηκε έχει μία υψηλού βαθμού ολοκλήρωση ώστε να μπορεί να ενσωματώνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες. Έτσι περιορίζεται το κόστος και διευκολύνονται μελλοντικές επεκτάσεις.
- Να λειτουργήσει σαν μια πύλη διασύνδεσης πρωτοκόλλων (protocol gateway) ικανή να συνδεθεί με συστήματα διαμεταγωγής υψηλής απόδοσης και να παρέχει δυνατότητες μετατροπής πρωτοκόλλων και διασύνδεσης κατά περίπτωση. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι μια μονάδα διασυνεργασίας/διαμεταγωγής μεγάλης απόδοσης με απαίτηση να υποστηρίζει πολλαπλές πηγές σηματοδότησης και αναδυόμενα πρωτόκολλα για διάφορους τύπους δικτύων (SS7, IN, VoIP, GPRS). Η σύνθεση του συστήματος πρέπει να είναι εύκολο να μεταβληθεί για να μπορεί να υποστηρίζει μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Η απόδοση του συστήματος θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από την ποσότητα της δρομολογούμενης κίνησης. Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί με την υιοθέτηση μια αρχιτεκτονικής κατανεμημένης επεξεργασίας.
- Να αποτελέσει ένα χαμηλού κόστους σύστημα διαμεταγωγής με σαφώς ορισμένες διεπαφές προγραμματισμού για την υλοποίηση δικτυακών εφαρμογών (όπως η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας, η διαχείριση κλπ.). Με την εύκολα μεταβαλλόμενη σύνθεση το σύστημα θα μπορεί να ικανοποιήσει και χρήστες μικρών έως μεσαίων απαιτήσεων (όπως οι εταιρικοί χρήστες). Η δομή του λογισμικού με ανοιχτά και σαφώς ορισμένα APIs θα διευκολύνει την υλοποίηση νέων πρωτοκόλλων και υπηρεσιών. Έτσι θα είναι εφικτή η δημιουργία συστημάτων κατά παραγγελία που θα απευθύνονται σε χρήστες με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ακολουθώντας αυτή την πρακτική, οι

τηλεπικοινωνιακές εταιρίες μπορούν να πειραματιστούν με νέες τεχνολογίες κάτι που δεν είναι εφικτό με τα υπάρχοντα κλειστά συστήματα.

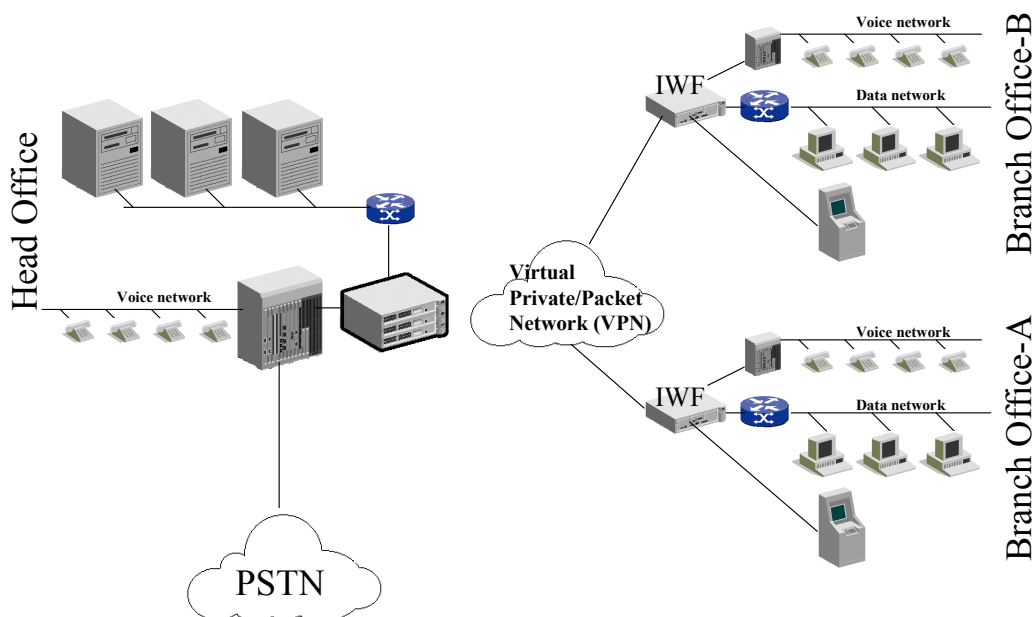
- Να λειτουργήσει σαν μια πύλη υπηρεσιών VoIP για διαφορετικούς τύπους δικτύων μεταγωγής κυκλώματος (ISDN, GSM) ικανή να διαχειριστεί θέματα κινητικότητας και ποιότητας υπηρεσιών που δεν έχουν λυθεί πλήρως από τις υπάρχουσες VoIP λύσεις. Τα υπάρχοντα συστήματα VoIP είναι συνήθως ολοκληρωμένα (μη επεκτάσιμα), ενσωματωμένα σε συσκευές πρόσβασης (Remote Access Servers) ή δρομολογητές. Τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν είναι:

→ Προϊόντα από διαφορετικούς προμηθευτές δεν μπορούν να συνεργαστούν αφού βασίζονται σε μη συμβατές υλοποιήσεις και δεν υποστηρίζουν πλήρως τις προδιαγραφές.

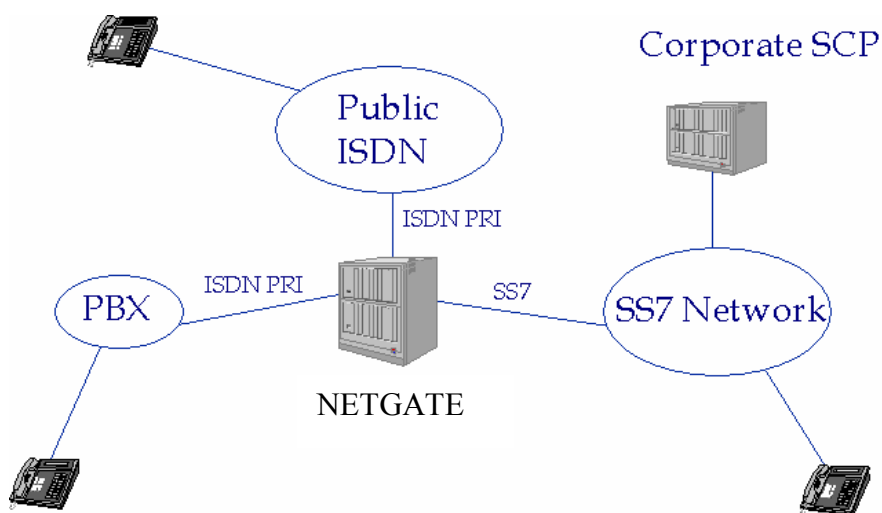
→ Οι συσκευές VoIP δεν έχουν την απαραίτητη επεκτασιμότητα και αξιοπιστία.

Για αυτό και σκοπός του ερευνητικού προγράμματος είναι η σχεδίαση ενός επεκτάσιμου VoIP συστήματος το οποίο και θα είναι συμβατό με καθιερωμένες προδιαγραφές (π.χ. ETSI TIPHON, ITU H.323, IETF SIP) και να προσφέρει ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Η αρχιτεκτονική που θα ακολουθηθεί, όπως υποδεικνύεται από τα πρότυπα TIPHON περιλαμβάνει ανεξάρτητες οντότητες για κάθε λειτουργία. Κατά συνέπεια εμφανίζει πλεονέκτημα όσον αφορά την επεκτασιμότητα, την αξιοπιστία και την απόδοση. Επιπλέον έχει το πλεονέκτημα ότι εξασφαλίζει την συμβατότητα με άλλα προϊόντα που ακολουθούν τις προδιαγραφές του TIPHON ενώ παράλληλα, λόγω της ανοικτής αρχιτεκτονικής του, θα είναι εύκολα προσαρμόσιμο σε μελλοντικές τροποποιήσεις των προτύπων επικοινωνίας.

Στο Σχήμα 3-1 και στο Σχήμα 3-2 παρουσιάζονται δυο τυπικές τοπολογίες που ενσωματώνουν την προτεινόμενη από το NETGATE αρχιτεκτονική.



Σχήμα 3-1: Το σύστημα NETGATE ως διαμεσολαβητής IP & PSTN δικτύων για την παροχή VoIP υπηρεσιών.



Σχήμα 3-2 : Το σύστημα NETGATE ως διαμεσολαβητής IP & PSTN δικτύων για την παροχή IN υπηρεσιών.

Το ερευνητικό πρόγραμμα NETGATE, στα πλαίσια της ενοποίησης των διαφορετικών τεχνολογιών των δικτύων, παρέχει και τη δυνατότητα τηλεφωνικών υπηρεσιών μέσω δικτύων IP. Προκειμένου να επιτευχθεί η λειτουργικότητα αυτή είναι απαραίτητη η σχεδίαση ενός συστήματος που θα έχει τη δυνατότητα παροχής τέτοιων υπηρεσιών VoIP. Ένα σύστημα που θα είναι σε θέση να ενοποιεί την υπάρχουσα υποδομή των δικτύων PSTN, ISDN και IP με τρόπο ευέλικτο και οικονομικό. Η σχεδίαση του συστήματος αυτού βασίζεται στον δικτυακό επεξεργαστή MPC8260 και εμμεταλλεύεται όλα τα πλεονεκτήματα που ο

επεξεργαστής είναι σε θέση να προσφέρει. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται μια εκτενής περιγραφή του συστήματος και παρουσιάζονται σε λεπτομέρεια τα επιμέρους στοιχεία του.

3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ NETGATE.

Το σύστημα που το πρόγραμμα NETGATE προτείνει, αποτελείται από έναν σύνολο υποσυστημάτων τα οποία είναι κατασκευασμένα σε μορφοματική αρχιτεκτονική. Από πλευράς αρχιτεκτονικής, το σύστημα αποτελείται από 3 βασικές κάρτες καθεμία από τις οποίες αναλαμβάνει διαφορετική λειτουργία:

1. **Κεντρική κάρτα ελέγχου** : Αποτελεί το βασικό σημείο ελέγχου του συστήματος. Η κάρτα ενσωματώνει το λειτουργικό του συστήματος και παράλληλα διεκπεραιώνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες διασύνδεσης των επιμέρους συστημάτων. Για το συνολικό έλεγχο της αρχιτεκτονικής και των επιμέρους συστημάτων, είναι απαραίτητη η παρουσία μιας κεντρικής κάρτας ελέγχου (Controller Card) η οποία και χειρίζεται τη λειτουργικότητα των επιμέρους υποσυστημάτων ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης του συστήματος.
2. **Κάρτα τερματισμού διεπαφών E1**: Η κάρτα αναλαμβάνει τη διασύνδεση του συστήματος με τα δίτυα διαμεταγωγής κυκλώματος. Τερματίζει τόσο τα TDM κανάλια της φωνής όσο και τα κανάλια σηματοδοσίας και σε συνεργασία με την κεντρική κάρτα ελέγχου του συστήματος δρομολογεί κατάλληλα την εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση. Η δρομολόγηση είναι εφικτή μέσω του διαύλου H.110 που το σύστημα ενσωματώνει.
3. **Κάρτα VoIP / Ethernet**. Αποτελεί το απαραίτητο κομμάτι της αρχιτεκτονικής για την πραγματοποίηση κλήσεων VoIP. Επικοινωνεί μέσω του διαύλου H.110 με την κάρτα τερματισμού E1 και μέσω του διαύλου cPCI με την κεντρική κάρτα ελέγχου. Πέρα από τη διασύνδεση σε επίπεδο δεδομένων φωνής, αναλαμβάνει και την κατάλληλη μετάφραση της σηματοδοσίας από το πρωτόκολλο SIP σε πρωτόκολλο Q.931 6.

Το σύστημα βασίζεται σε μια συσκευασία βιομηχανικού τύπου που θα διασυνδέει τα επιμέρους συστήματα δια μέσου του διαύλου CompactPCI.



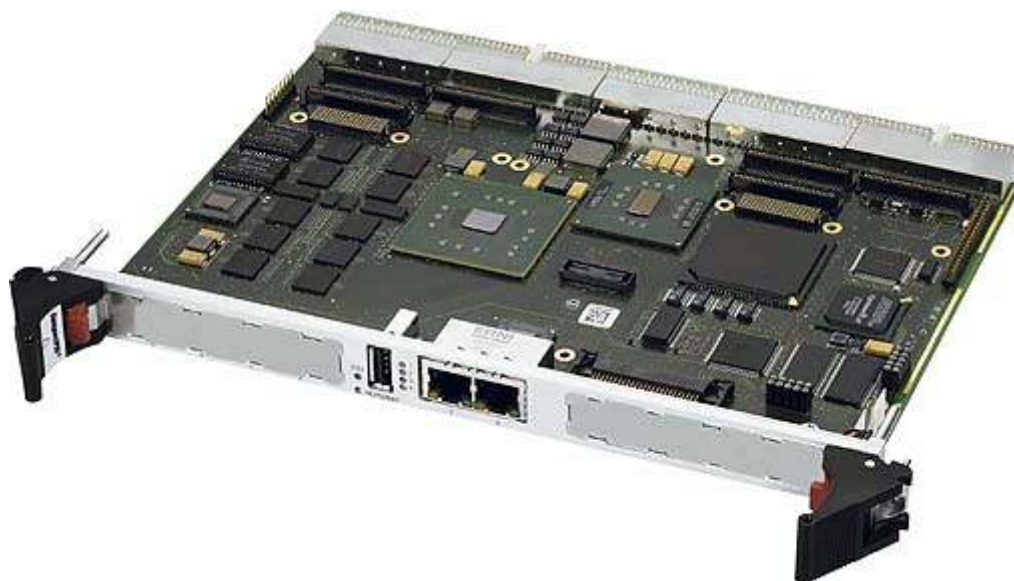
Σχήμα 3-3 – Τυπικό πλαίσιο διαύλου CompactPCI.

3.3.1 Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ COMPACTPCI.

Το σύστημα υποστηρίζεται από ένα κεντρικό διάυλο επικοινωνίας χωρισμένο σε 5 διαφορετικούς και αυτόνομους υποδιαύλους. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα που η αρχιτεκτονική CompactPCI[7] μπορεί και προσφέρει, είναι κατ' αρχάς η δυνατότητα αντικατάστασης εν λειτουργία όλων των καρτών των υποσυστημάτων (HOT SWAP) 8. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η υψηλή αξιοπιστία των συστημάτων αφού ακόμα και σε περίπτωση βλάβης κάποιου υποσυστήματος, αυτό μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί χωρίς να είναι απαραίτητη η απενεργοποίηση ή η επανεικίνηση του συστήματος. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι ίσως περιττό για τις απλές εφαρμογές των οικιακών υπολογιστών. Αποκτά όμως καιρία σημασία όταν πρόκειται για συστήματα εφαρμογών που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα (όπως διακομιστές δικτύου, δρομολογητές και βιομηχανικοί ελεγκτές), το σύστημα απαιτείται να είναι λειτουργικό στο 100% του χρόνου.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του διαύλου CompactPCI είναι το γεγονός ότι ηλεκτρικά είναι απολύτως συμβατός με τον διάυλο PCI [9]. Οι μοναδικές διαφορές τους αφορούν στα επιμέρους/ επιπλέον χαρακτηριστικά του Compact PCI όσον αφορά την δυνατότητα HOT SWAP. Έτσι είναι ιδιαίτερα εύκολη η ανάπτυξη των απαραίτητων προγραμμάτων οδήγησης και επικοινωνίας των περιφερειακών συστημάτων με την κεντρική κάρτα ελέγχου της λειτουργίας αφού ο διάυλος PCI είναι από τους πλέον διαδεδομένους αυτή τη στιγμή.

Το CompactPCI είναι ηλεκτρικά συμβατό με τις προδιαγραφές PCI, κάτι που επιτρέπει την χρήση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων χαμηλού κόστους (συμβατά με PCI) σε ένα περιβάλλον με μηχανικά χαρακτηριστικά επιπέδου βιομηχανικών εφαρμογών.



Σχήμα 3-4- Τυπική Κάρτα CompactPCI διαστάσεων 6U.

Πρόκειται για έναν συνδυασμένο διαύλο που περιλαμβάνει τον παράλληλο διαύλο CompactPCI και τον διαύλο διαμεταγωγής H.110. Ο συνδυασμός αυτός παρέχει τα πλεονεκτήματα και της μίας αλλά και της άλλης αρχιτεκτονικής. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που προσδίδει η επιλογή αυτή στο σύστημα.

Λόγω της χρήσεως του παράλληλου διαύλου CompactPCI έχουμε:

- Υψηλή απόδοση που μπορεί μελλοντικά να αυξηθεί περαιτέρω με την αύξηση του διαύλου δεδομένων από τα 32 στα 64 bit και της συχνότητας ρολογιού από τα 33 στα 66 MHz. Έτσι η τυπική θεωρητική ταχύτητα των 132 Mbytes/sec μπορεί να φτάσει συνολικά τα 528Mbytes/sec.
- Χαμηλό κόστος λόγω της χρησιμοποίησης ευρέως διαδεδομένων εξαρτημάτων PCI αλλά και της εύκολης επαναχρησιμοποίησης σχεδιάσεων και λογισμικού από το περιβάλλον PCI.
- Αυξημένη αξιοπιστία λόγω χρήσης εξαρτημάτων με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά και συμβατότητας με την προδιαγραφή Hot Swap.
- Επεκτασιμότητα (σε σχέση με τον διαύλο PCI) λόγω της υποστήριξης μέχρι και 8 καρτών σε κάθε σύστημα αλλά και της προδιαγραφής PMC (IEEE 1386) που επιτρέπει την επέκταση των περιφερειακών καρτών με άλλες add-on κάρτες.
- Εύκολη επικοινωνία μεταξύ της κεντρικής κάρτας συστήματος και των περιφερειακών καρτών μέσω του στάνταρτ PCI πρωτοκόλλου. Με τον τρόπο αυτό

είναι εφικτή η αρχικοποίηση και ο έλεγχος των περιφερειακών καρτών από την κεντρική. Επιπλέον είναι δυνατή η σχεδίαση περιφερειακών καρτών χωρίς επεξεργαστή αφού μέσω του PCI η κεντρική κάρτα μπορεί να έχει πλήρη πρόσβαση στους πόρους των άλλων καρτών.

Παράλληλα ο **διάυλος διαμεταγωγής H.110** [10] προσθέτει στο σύστημα μια σειρά από χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την απόδοση σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Βασικό ζητούμενο σε αυτές τις εφαρμογές είναι η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων χρηστών, εξασφαλίζοντας κατά το δυνατόν σταθερή και χαμηλή καθυστέρηση. Και αυτό γιατί μόνο έτσι είναι εφικτή η παροχή πολλαπλών εφαρμογών πραγματικού χρόνου. Η χρήση του διαύλου διαμεταγωγής H.110 στο σύστημα προσδίδει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Σημαντική αύξηση του υποστηριζόμενου εύρους διαμεταγωγής αφού ο διάυλος H.110 μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητες που φτάνουν τα 262 Mbits/sec.
- Μεταφορά δεδομένων μέχρι το παραπάνω εύρος με σταθερή καθυστέρηση. Έτσι εξασφαλίζεται η εύκολη υλοποίηση σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που εμφανίζουν αυξημένη ευαισθησία σε καθυστερήσεις.
- Επιπλέον αύξηση της απόδοσης του συστήματος εξασφαλίζει η ανεξαρτησία του διαύλου H.110 από τον παράλληλο διάυλο. Αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά δεδομένων σε αυτόν τον διάυλο δεν επηρεάζει την λειτουργία του παράλληλου διαύλου και του επεξεργαστή και κατά συνέπεια δεν δεσμεύει αντίστοιχους πόρους σε αυτά.
- Εύκολη προσαρμογή σειριακών γραμμών (όπως οι E1/T1) αφού ο διάυλος έχει σχεδιαστεί για την μεταφορά δεδομένων με παρόμοια δομή. Υποστηρίζει κανάλια των 64Kbps πολυπλεγμένα σε πλαίσια καθώς και διάδοση των ρολογιών συγχρονισμού μεταξύ των περιφερειακών καρτών.

Επιπλέον πλεονεκτήματα προκύπτουν από το γεγονός ότι η προδιαγραφή CompactPCI παρέχει μια ομάδα σημάτων τα οποία μπορούν να καθοριστούν από τον χρήστη (User-defined I/O signals). Τα σήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εμπλουτισμό του συστήματος με επιπλέον χαρακτηριστικά. Έτσι για παράδειγμα τα σήματα αυτά μπορούν να υλοποιήσουν έναν διάυλο UTOPIA 11 στο backplane του συστήματος, βελτιώνοντας την υποστήριξη ATM συνδέσεων χωρίς να απαιτείται η μετατροπή των δεδομένων σε μορφή PCI για την μεταφορά τους από κάρτα σε κάρτα.

Άλλο πλεονέκτημα είναι η υποστήριξη οπίσθιων καρτών εισόδου-εξόδου που επιτρέπουν την σύνδεση των περιφερειακών καρτών που είναι τοποθετημένες στο μπροστά μέρος με

άλλες τηλεπικοινωνιακές συσκευές μέσω των Network Interfaces. Οι οπίσθιες κάρτες δεν περιέχουν ενεργά εξαρτήματα, οπότε ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να έχουμε βλάβη σε αυτές. Έτσι είναι εφικτή η αλλαγή ελαττωματικής περιφερειακής κάρτας με ευκολία και ταχύτητα αφού δεν χρειάζεται επέμβαση στην καλωδίωση του δικτύου (που γίνεται στις οπίσθιες κάρτες). Επιπλέον οι οπίσθιες κάρτες εισόδου-εξόδου αυξάνουν τον διαθέσιμο χώρο για εξαρτήματα, κάτι πολύ χρήσιμο αφού για ορισμένες σχεδιάσεις ο χώρος που προσφέρει η εμπρόσθια κάρτα δεν επαρκεί.

Το σύνολο αυτών των χαρακτηριστικών αναδεικνύει τον δίαυλο CompactPCI/ECTF H.110 σαν τον καταλληλότερο για συστήματα τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών όταν το ζητούμενο είναι η διασυνεργασία παραδοσιακών δικτύων όπως το δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος (PSTN) με άλλα νέων τεχνολογιών όπως τα δίκτυα μεταγωγής πακέτων.

3.4 ΑΝΟΙΚΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ VOIP.

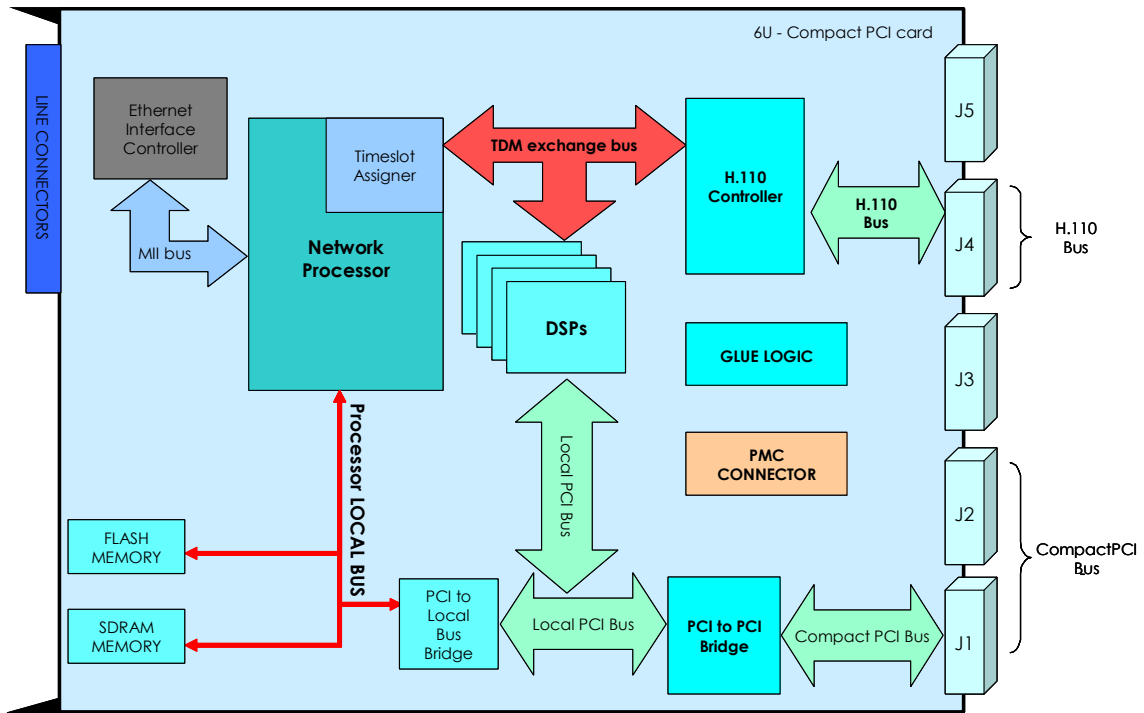
Μια από τις βασικές απαιτήσεις του προγράμματος NETGATE είναι η σχεδίαση και υλοποίηση του υλικού και του λογισμικού που θα παρέχει στην πλατφόρμα του συστήματος δυνατότητα πραγματοποίησης ενοποίησης των δικτύων τηλεφωνίας TDM και τηλεφωνίας IP. Η σχεδίαση, υλοποίηση και ο προγραμματισμός του συγκεκριμένου τμήματος του υλικού και του λογισμικού πραγματοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου στο Εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική παρουσιάστηκε και στο [12].

Στο προτεινόμενο από το πρόγραμμα NETGATE σύστημα, η μορφοματική αρχιτεκτονική βασίζεται στον δίαυλο CompactPCI. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ενοποίηση των υπηρεσιών των δικτύων IP και TDM, απαιτήθηκε η σχεδίαση 2 αυτόνομων υποσυστημάτων για τη διασύνδεση μεταξύ των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος και των δικτύων IP.

Στην παράγραφο που ακολουθεί γίνεται μια γενική περιγραφή της αρχιτεκτονικής του υποσυστήματος VoIP που υλοποιήθηκε για το πρόγραμμα. Βασικά επεξεργαστικά στοιχεία της κάρτας αυτής είναι οι ψηφιακοί επεξεργαστές σήματος (*Digital Signal Processors - DSPs*) και ο δικτυακός επεξεργαστής. Οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος αναλαμβάνουν κυρίως την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των δεδομένων φωνής. Από την άλλη ο μικροεπεξεργαστής αναλαμβάνει την επικοινωνία με τις δικτυακές διεπαφές, την επικοινωνία με το βασικό δίαυλο (backplane) του συστήματος, τον συνολικό έλεγχο της κάρτας αλλά και την εποπτεία των διαφόρων διαδικασιών που εκτελούν τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά

εξαρτήματα. Επιπλέον ο μικροεπεξεργαστής υλοποιεί τα πρωτόκολλα σηματοδότησης και τις μετατροπές που απαιτούνται σε αυτά.

Στο Σχήμα 3-5 φαίνεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η υλοποίηση του υλικού της κάρτας.



Σχήμα 3-5 – Η βασική αρχιτεκτονική VoIP Κάρτας.

Καθώς η βασική λειτουργία της κάρτας θα είναι η πραγματοποίηση κλήσεων VoIP, οι βασικότερες επιμέρους διαδικασίες που το υποσύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει είναι οι εξής:

- ⇒ Διασύνδεση με δίκτυα IP. Η διεπαφή με τα δίκτυα αυτά θα είναι εφικτή μέσω 2 διαφορετικών τύπων δικτύων: Ethernet & ATM.
- ⇒ Διασύνδεση με τον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος NETGATE, ο οποίος και βρίσκεται σε μια διαφορετική κάρτα του συστήματος. Η επικοινωνία και η ανταλλαγή δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω του διαύλου CompactPCI και πιο συγκεκριμένα μέσω των 2 πρώτων συνδετήρων (connectors J1 & J2) του διαύλου επικοινωνίας του συστήματος.
- ⇒ Διασύνδεση με δεδομένα φωνής που προέρχονται από δίκτυα TDM. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω και πάλι του βασικού διαύλου του συστήματος και συγκεκριμένα μέσω του τέταρτου συνδετήρα (J4) του συστήματος. Ο J4 υλοποιεί τον δίαυλο H.110 ο οποίος και διεκπεραιώνει κίνηση TDM.

- ⇒ Ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων της φωνής που πρόκειται να μεταδοθούν μεταξύ των δικτύων TDM και IP. Το κομμάτι αυτό αναλαμβάνουν οι Επεξεργαστές Ψηφιακού Σήματος (DSPs).
- ⇒ Λειτουργίες σηματοδοσίας για την διεκπεραίωση των κλήσεων
- ⇒ Λειτουργίες διαχείρισης των επιμέρους λειτουργικών υποσυστημάτων

Όπως φαίνεται από το σχήμα η σχεδίαση βασίζεται σε έναν υβριδικό διαύλο που επιλέχθηκε για την διασύνδεση των διαφόρων υποσυστημάτων (καρτών) του συνολικού συστήματος. Η προδιαγραφή Compact PCI προβλέπει την ύπαρξη τόσο ενός παράλληλου διαύλου (PCI) όσο και ενός διαύλου διαμεταγωγής (H.110) στο backplane του συστήματος.

Στο Σχήμα 3-5 αναγνωρίζουμε τις παρακάτω λειτουργικές μονάδες:

- ❖ **Δικτυακός Μικροεπεξεργαστής (Network Processor).** Αποτελεί την βασικότερη λειτουργική μονάδα της κάρτας που αναλαμβάνει τον έλεγχο όλων των άλλων μονάδων. Έτσι ο μικροεπεξεργαστής αρχικοποιεί και ρυθμίζει όλα τα άλλα ολοκληρωμένα ώστε να εκτελέσουν τις απαραίτητες διαδικασίες. Για τον σκοπό αυτό επικοινωνεί μέσω του διαύλου PCI με τις υπόλοιπες κάρτες και κυρίως με την κάρτα συστήματος. Από εκεί ενημερώνεται για τις ρυθμίσεις που πρέπει να έχουν οι υπόλοιπες μονάδες της κάρτας. Μετά την αρχικοποίηση αναλαμβάνει να ελέγξει και να διαθέσει τους πόρους των επεξεργαστών ψηφιακού σήματος (DSPs) στις κατάλληλες διαδικασίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα του ενός DSPs στην κάρτα και οι διαδικασίες πρέπει να ανατεθούν με τον βέλτιστο χρονικά τρόπο ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση. Στον Μικροεπεξεργαστή τρέχει το λειτουργικό σύστημα της κάρτας πάνω στο οποίο αναπτύσσονται οι εφαρμογές ελέγχου και διαχείρισης για τις υπόλοιπες μονάδες. Επιπλέον το λειτουργικό σύστημα αναλαμβάνει την εκτέλεση των απαραίτητων πρωτοκόλλων που επιτρέπουν την επικοινωνία με τα διάφορα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.
- ❖ **Ελεγκτής H.110 (H.110 controller).** Πρόκειται για έναν ελεγκτή συμβατό με την προδιαγραφή H.110 της ECTF που περιλαμβάνεται στην προδιαγραφή CompactPCI. Αποτελεί την βασική μονάδα διαμεταγωγής στην κάρτα, που διαχειρίζεται τις εισερχόμενες PCM ροές δεδομένων. Ο βασικός ρόλος της είναι να επιλέγει από τις 4096 ροές που υπάρχουν στο σύστημα και μεταφέρονται μέσω του διαύλου H.110, αυτές που θα συνδεθούν με τις μονάδες επεξεργασίας της κάρτας. Η επιλεγμένες ροές, που ουσιαστικά ανά δύο αποτελούν ένα κανάλι φωνής μεταφέρονται είτε στους επεξεργαστές ψηφιακού σήματος είτε στον μικροεπεξεργαστή ώστε να εκτελεστούν οι απαραίτητες

διαδικασίες επεξεργασίας. Έτσι ο ελεγκτής αυτός δημιουργεί έναν τοπικό διάυλο διαμεταγωγής για δεδομένα που βασίζεται σε πολυπλεξία διαχωρισμού χρόνου (TDM exchange bus) και έχει την δυνατότητα να διασυνδέει μέχρι 512 ροές μεταξύ του αντίστοιχου διαύλου του συστήματος και του τοπικού.

❖ **Επεξεργαστές Ψηφιακού Σήματος (DSPs).** Οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος αναλαμβάνουν να εκτελέσουν τις απαραίτητες διαδικασίες επεξεργασίας της φωνής. Το πλήθος των επεξεργαστών που χρησιμοποιεί η κάρτα εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής που θα υλοποιηθεί. Για εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων που υποστηρίζουν περιορισμένο αριθμό καναλιών φωνής ένα DSP συνήθως παρέχει την απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ, ενώ για απαιτητικές εφαρμογές όπως αυτές των εταιριών τηλεπικοινωνιών απαιτούνται περισσότερα. Οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος αναλαμβάνουν να εκτελέσουν τις διαδικασίες επεξεργασίας φωνής που όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι:

- Κωδικοποίηση-Αποκωδικοποίηση.
- Τερατισμός κλήσεων δεδομένων και FAX.
- Καταστολή ηχούς.
- Αναγνώριση τόνων DTMF και αναπαραγωγή τους.
- Ανίχνευση σιωπής και αναπαραγωγή θορύβου.
- Αποθήκευση και διόρθωση διαταραχών συγχρονισμού.
- Εισαγωγή σε πακέτα.

❖ **Μνήμη.** Η μνήμη της κάρτας χωρίζεται σε FLASH και RAM. Στην μνήμη FLASH, λόγω του ότι διατηρεί τα δεδομένα της χωρίς παροχή ρεύματος, αποθηκεύονται το λειτουργικό σύστημα, τα δικτυακά πρωτόκολλα, οι εφαρμογές ελέγχου καθώς και οι πληροφορίες αρχικοποίησης που είναι απαραίτητες κατά την εκκίνηση του συστήματος. Μετά την εκκίνηση ο εκτελέσιμος κώδικας (λειτουργικό σύστημα, πρωτόκολλα και εφαρμογές) μεταφέρεται στην μνήμη RAM καθώς από εκεί μπορεί να εκτελεστεί πιο γρήγορα.

❖ **Γέφυρα PCI σε PCI (PCI to PCI bridge).** Ο σκοπός αυτού του εξαρτήματος είναι να απομονώσει ηλεκτρικά τον τοπικό διάυλο PCI από τον γενικό διάυλο PCI του όλου συστήματος. Αυτό είναι απαραίτητο αφού η προδιαγραφή Compact PCI ορίζει ότι μόνο μια συσκευή PCI μπορεί να συνδεθεί σε κάθε θέση κάρτας στο backplane. Στην περίπτωση μας απαιτείται η σύνδεση τουλάχιστον δύο συσκευών (μιας γέφυρας για την διασύνδεση των DSPs με τον τοπικό διάυλο PCI και μίας γέφυρας διασύνδεσης με τον

τοπικό διάυλο του επεξεργαστή) και μιας επιπλέον σύνδεσης επέκτασης συμβατής με την προδιαγραφή PMC (PMC connector). Κατά συνέπεια η χρήση της γέφυρας είναι επιβεβλημένη.

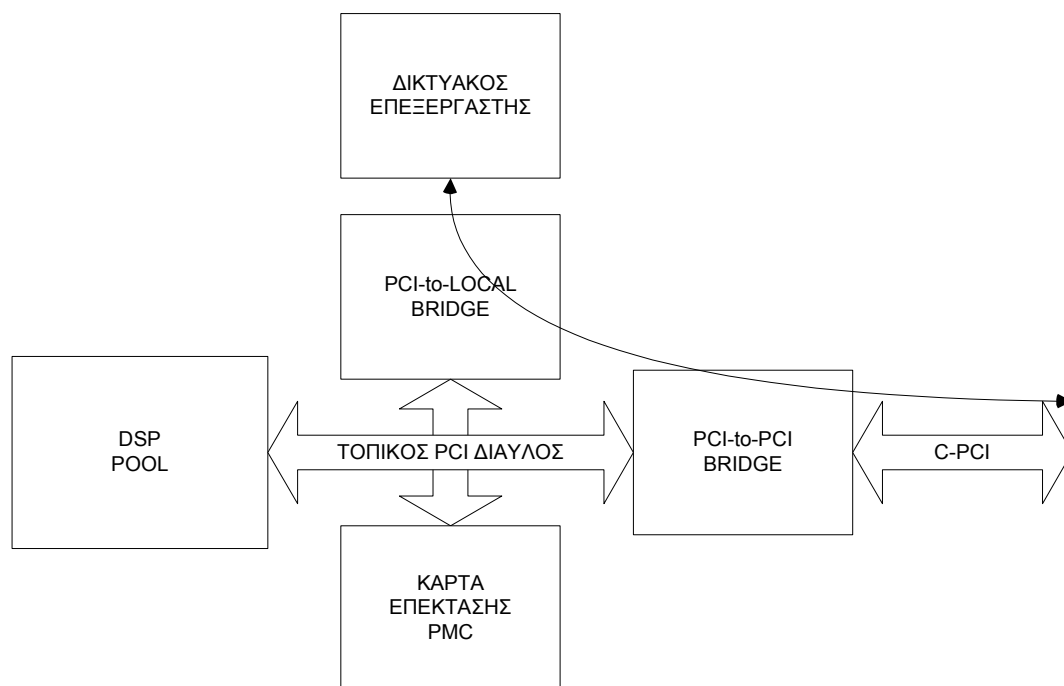
- ❖ **Γέφυρα PCI στον τοπικό διάυλο του μικροεπεξεργαστή (PCI to Local uP bus bridge).** Το εξάρτημα αυτό διασυνδέει τον διάυλο PCI με τον τοπικό διάυλο του μικροεπεξεργαστή. Επιτρέπει έτσι την επικοινωνία του επεξεργαστή με το υπόλοιπο σύστημα.
- ❖ **Γέφυρα PCI στον τοπικό διάυλο των DSPs (PCI to DSP bridge).** Το εξάρτημα αυτό αναλαμβάνει την διασύνδεση των ψηφιακών επεξεργαστών σήματος στον τοπικό διάυλο PCI. Έτσι οι διαθέσιμοι πόροι επεξεργασίας της κάρτας είναι προσβάσιμες από τον επεξεργαστή αλλά και από οποιαδήποτε άλλη κάρτα του συστήματος μέσω του διαύλου PCI και της γέφυρας PCI σε PCI.
- ❖ **Ελεγκτής δικτύου μεταγωγής πακέτου (Packet network Interface controller).** Πρόκειται για τον ελεγκτή που εξασφαλίζει την σύνδεση με το δίκτυο μεταγωγής πακέτου για την παροχή υπηρεσιών φωνής αλλά και δεδομένων πάνω από αυτό το δίκτυο. Εάν μιλάμε για υπηρεσίες που βασίζονται στο πρωτόκολλο IP τότε η τεχνολογία δικτύου που χρησιμοποιείται είναι συνήθως Ethernet. Υπηρεσίες φωνής μπορούμε να έχουμε όμως και πάνω από άλλα δίκτυα μεταγωγής πακέτου όπως το ATM και το Frame Relay. Αναλυτικότερη παρουσίαση της διασύνδεσης με δίκτυα μεταγωγής πακέτου ακολουθεί σε επόμενη παράγραφο.

3.4.1 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΔΙΑΥΛΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.

Γεγονός είναι ότι η τυπική PCI αρχιτεκτονική αρχίζει να δημιουργεί προβλήματα συμφόρησης στις σχεδιάσεις υλικού (hardware). Αυτό αποδίδεται στην γρήγορη εξέλιξη της τεχνολογίας των επεξεργαστών, με την εσωτερική ταχύτητα λειτουργίας να έχει ξεπεράσει το 1 GHz κάτι που δημιουργεί μεγαλύτερες ανάγκες διαμεταγωγής στον εξωτερικό διάυλο. Ο διάυλος PCI εξελίσσεται για να αντιμετωπίσει αυτές τις ανάγκες με διεύρυνση του πλάτους στα 64 bit και αύξηση της συχνότητας στα 66 ή ακόμη και στα 100 MHz (PCI-X [13]). Παρόλα αυτά η δομή των διαθέσιμων ολοκληρωμένων γεφύρωσης περιορίζει το κέρδος από την βελτίωση αυτή λόγω της ύπαρξης αποθηκευτών (buffers) που λειτουργούν με τεχνολογία FIFO. Η υλοποίηση της βασικής αρχιτεκτονικής που παρουσιάζουμε στο Σχήμα 3-5 και σχετίζεται με την αρχιτεκτονική ενός τυπικού υπολογιστή, προβλέπει την χρήση δύο

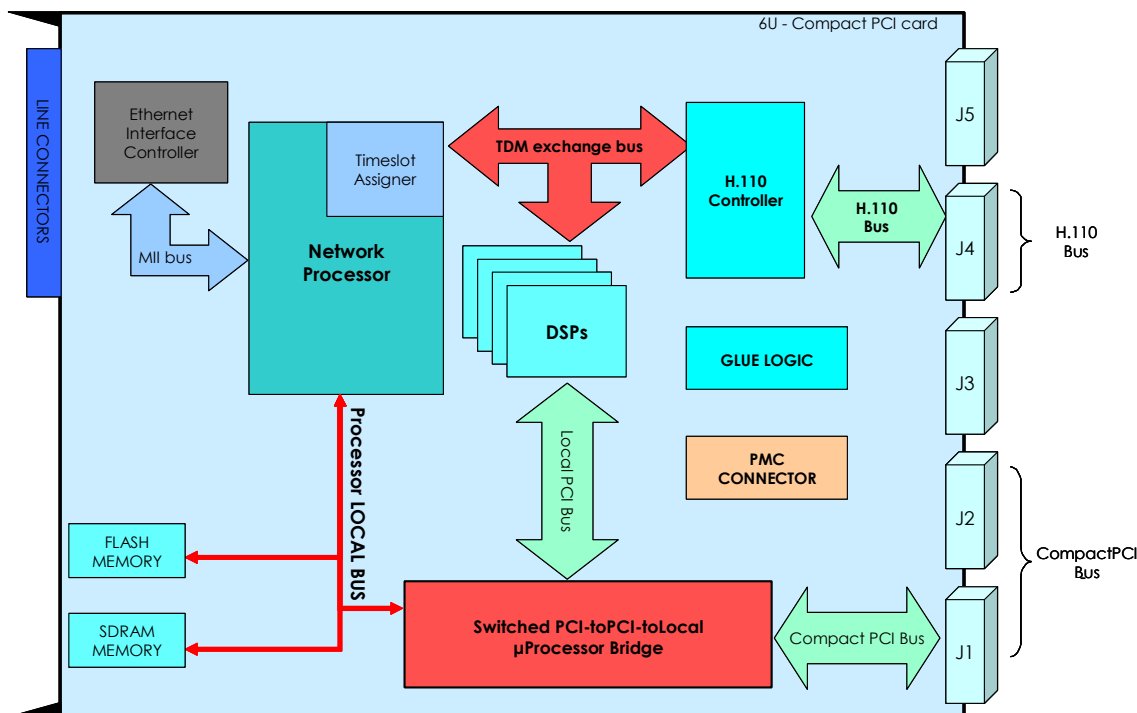
ανεξάρτητων ολοκληρωμένων γεφύρωσης, ένα για τον μικροεπεξεργαστή και ένα για την σύνδεση του εξωτερικού με τον τοπικό διάυλο PCI. Με τον τρόπο αυτό επιλύονται ηλεκτρικοί περιορισμοί στον διάυλο PCI αλλά δεν αντιμετωπίζεται το θέμα της απόδοσης.

Στην αρχιτεκτονική στο Σχήμα 3-5 η πρόσβαση από τον εξωτερικό διάυλο C-PCI στον επεξεργαστή και την μνήμη του γίνεται μέσω του τοπικού PCI διαύλου. Αυτό σημαίνει ότι δεσμεύεται εύρος ζώνης (βλ. Σχήμα 3-6) από το τοπικό PCI το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με καλύτερο τρόπο από άλλες συσκευές του διαύλου αυτού όπως τα DSPs ή η κάρτα επέκτασης PMC. Επιπλέον υπάρχει διπλάσια καθυστέρηση στην μεταφορά δεδομένων αφού αυτά μεταφέρονται μέσω δύο ολοκληρωμένων. Το πρόβλημα γίνεται ακόμη μεγαλύτερο σε σχεδιάσεις υλικού με δικτυακό επεξεργαστή, όπως αυτή που υλοποιήθηκε. Και αυτό γιατί λόγω των πολλαπλών ροών εισόδων / εξόδων στον επεξεργαστή απαιτούνται διαδοχικές μεταφορές μπλοκ δεδομένων μικρού μήκους στους εξωτερικούς διαύλους.



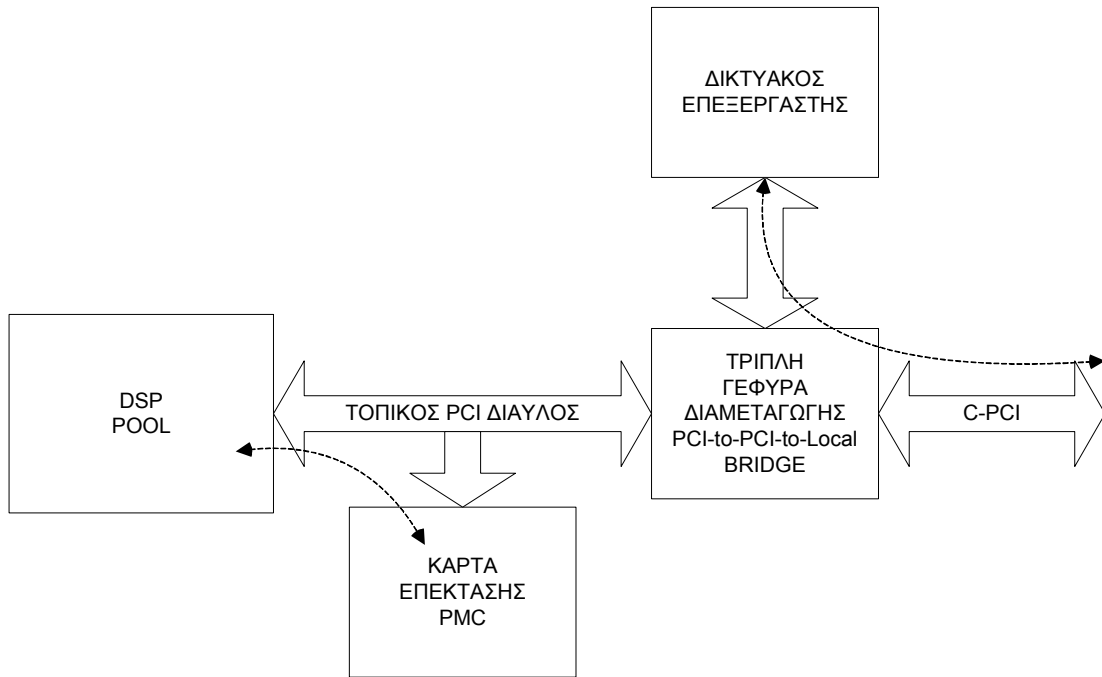
Σχήμα 3-6 – Μεταφορά δεδομένων στην βασική αρχιτεκτονική

Για την βελτίωση της απόδοσης επιλέχθηκε και υλοποιήθηκε η αρχιτεκτονική στο Σχήμα 3-7 που ενοποιεί τα δύο αυτά ολοκληρωμένα σε ένα.



Σχήμα 3-7 – Βελτιωμένη αρχιτεκτονική της κάρτας με τριπλή γέφυρα διαμεταγωγής

Το ολοκληρωμένο αυτό έχει τρεις διαφορετικές πόρτες, δύο συμβατές με PCI και μια για τον τοπικό διάυλο του επεξεργαστή. Έτσι προκύπτει άμεσα πλεονέκτημα στην σχεδίαση αφού δεσμεύεται λιγότερος χώρος στην κάρτα σε επίπεδο PCB. Επιπλέον όμως υποστηρίζει μη-διαφανή μετάδοση μεταξύ των διαύλων αυτών κάτι που επιτρέπει μεταφορές δεδομένων μεταξύ δύο οποιονδήποτε διαύλων χωρίς να εμποδίζεται η λειτουργία του τρίτου. Στο Σχήμα 3-8 φαίνεται μια τέτοια μεταφορά από το εξωτερικό διάυλο C-PCI στον επεξεργαστή με παράλληλη μεταφορά στον τοπικό διάυλο PCI από τα DSP στην κάρτα επέκτασης PMC ή μια οποιαδήποτε άλλη συσκευή στο τοπικό PCI. Το ολοκληρωμένο που χρησιμοποιήθηκε επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση αποφεύγοντας την τυπική FIFO-τεχνολογία ενταμιευτών που χρησιμοποιούν οι γέφυρες διαύλων-σε-διαύλους. Με την χρήση «λογικής διαμεταγωγής» (switching fabric) υποστηρίζει σύγχρονες ροές δεδομένων μεταξύ των τριών διαύλων, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερο εύρος διαμεταγωγής. Παράλληλα εμφανίζονται μικρότερες καθυστερήσεις τόσο λόγω της απαλοιφής του δεύτερου επιπέδου μεταφοράς (γέφυρα PCI-to-PCI) αλλά και γιατί ο τρόπος μεταγωγής περιορίζει την μετατροπή των δεδομένων σε σειριακή διάταξη (serialization).



Σχήμα 3-8 – Μεταφορά δεδομένων στην βελτιστοποιημένη μη-διαφανή αρχιτεκτονική

Βασικό πλεονέκτημα της σχεδίασης αυτής είναι ότι βασίζεται σε έναν πλήρως προδιαγεγραμμένο διάυλο. Όλα τα λειτουργικά υποσυστήματα της κάρτας που περιγράφουμε συνδέονται στον διάυλο PCI. Σαν αποτέλεσμα αυτού μια οποιαδήποτε άλλη κάρτα του συστήματος μπορεί να έχει πρόσβαση τόσο στον δικτυακό επεξεργαστή όσο και στους επεξεργαστές ψηφιακού σήματος. Αλλά και ο δεύτερος διάυλος του συστήματος, ο διάυλος H.110 βασίζεται σε ένα πλήρως προδιαγεγραμμένο πρωτόκολλο και έτσι είναι εφικτή η ανάπτυξη λογισμικού σε πειραματικές κάρτες και η χρήση προγραμμάτων με ελεύθερες άδειες χρήσης (freeware). Συνολικά η κάρτα έχει σχεδιαστεί πάνω σε μια γενικευμένη αρχιτεκτονική σε αντίθεση με την συνηθισμένη πρακτική κατά την σχεδίαση τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Μέχρι σήμερα οι περισσότερες εταιρίες έχουν αναπτύξει συστήματα τα οποία ακολουθούσαν κλειστή αρχιτεκτονική. Οι προδιαγραφές στις οποίες βασίζονταν τα συστήματα είχαν αναπτυχθεί από τις ίδιες τις εταιρίες, οι οποίες κατείχαν και τα πνευματικά δικαιώματα. Κατά συνέπεια και το λογισμικό αυτών των συστημάτων έπρεπε κατ'ανάγκη να ακολουθεί την ίδια κλειστή αρχιτεκτονική. Το αποτέλεσμα αυτού ήταν να εμφανίζονται πολλά προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ τηλεπικοινωνιακών συσκευών από διαφορετικές εταιρίες που έχουν τοποθετηθεί για να λειτουργήσουν στο ίδιο δίκτυο. Επιπλέον το κόστος των συσκευών αυτών είναι σαφέστατα αυξημένο αφού δεν είναι εφικτό να έχουμε ανταγωνιστικά προϊόντα για κάθε υποσύστημα της τηλεπικοινωνιακής συσκευής

αλλά πρέπει να υιοθετηθεί μια συγκεκριμένη λύση που προσφέρει η εταιρία τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο λογισμικού.

Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής του λειτουργικού συστήματος που θα τρέχει στην κάρτα αλλά ούτε και των εφαρμογών που μπορεί να υποστηρίξει το σύστημα. Αυτό αντιβαίνει με την βασική απαίτηση του κόσμου των τηλεπικοινωνιών τα τελευταία χρόνια, να υπάρχει ένα περιβάλλον πάνω στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν συγκεκριμένες εφαρμογές, προσαρμοσμένες στις κατά περίπτωση απαιτήσεις.

3.4.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΚΤΥΑ ETHERNET

Για την υποστήριξη των υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου, η μονάδα του συστήματος που αναλαμβάνει την διασύνδεση με ένα τέτοιο δίκτυο είναι η κάρτα E1 τερματισμού. Η σύνδεση με ένα τοπικό δίκτυο έχει σκοπό τον τερματισμό φωνητικών κλήσεων στις αντίστοιχες συσκευές άλλα και η μεταφορά της κίνησης δεδομένων από και προς τους Η/Υ που συνδέονται σε αυτό το δίκτυο. Μια γρήγορη ανάλυση των τάσεων που επικρατούν σε αυτόν τον τηλεπικοινωνιακό τομέα δείχνει ότι η τεχνολογία που επικρατεί είναι το Ethernet. Κάποιος θα μπορούσε να χαρακτηρίσει αυτή την επικράτηση καθολική αφού ξεπερνά το 90% των ήδη υπάρχουσων εγκαταστάσεων. Βασικά χαρακτηριστικά που οδήγησαν στην μεγάλη διάδοση της αρχικής τεχνολογίας Ethernet με ρυθμό 100 Mbps είναι η απλότητα και η ευελιξία στην υλοποίησης της.

Η διάδοση της τεχνολογίας Ethernet σε τοπικά δίκτυα επιβάλει την χρησιμοποίηση της σε κάθε σύστημα που απευθύνεται στην παροχή υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Η δικτυακή αυτή σύνδεση θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί τόσο σε ρυθμούς Ethernet των 10 Mbps όσο και σε ρυθμούς Fast Ethernet των 100 Mbps. Αν και το εύρος διαμεταγωγής είναι πολύ κρίσιμο στις εφαρμογές που πρόκειται να υποστηρίξει το σύστημα, η λειτουργία σε ρυθμούς των 10 Mbps είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί συμβατότητα με παλιότερες εγκαταστάσεις δικτύων.

Παρόλα αυτά η λειτουργία σε ρυθμούς των 10 Mbps τείνει να ειλείψει στα σύγχρονα τοπικά δίκτυα. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας των σύγχρονων Η/Υ σε συνδυασμό με τα νέα λειτουργικά συστήματα και τις νέες εφαρμογές που έχουν υψηλές απαιτήσεις διαμεταγωγής δεδομένων. Το ισχυρό υλικό σε συνδυασμό με την εκτεταμένη χρήση πολυμέσων από τις σύγχρονες εφαρμογές αυξάνει την ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης στα τοπικά δίκτυα. Σαν αποτέλεσμα αυτού έχουμε την αναβάθμιση των τοπικών δικτύων από τα 10 Mbps στην τεχνολογία Fast Ethernet των 100 Mbps. Η

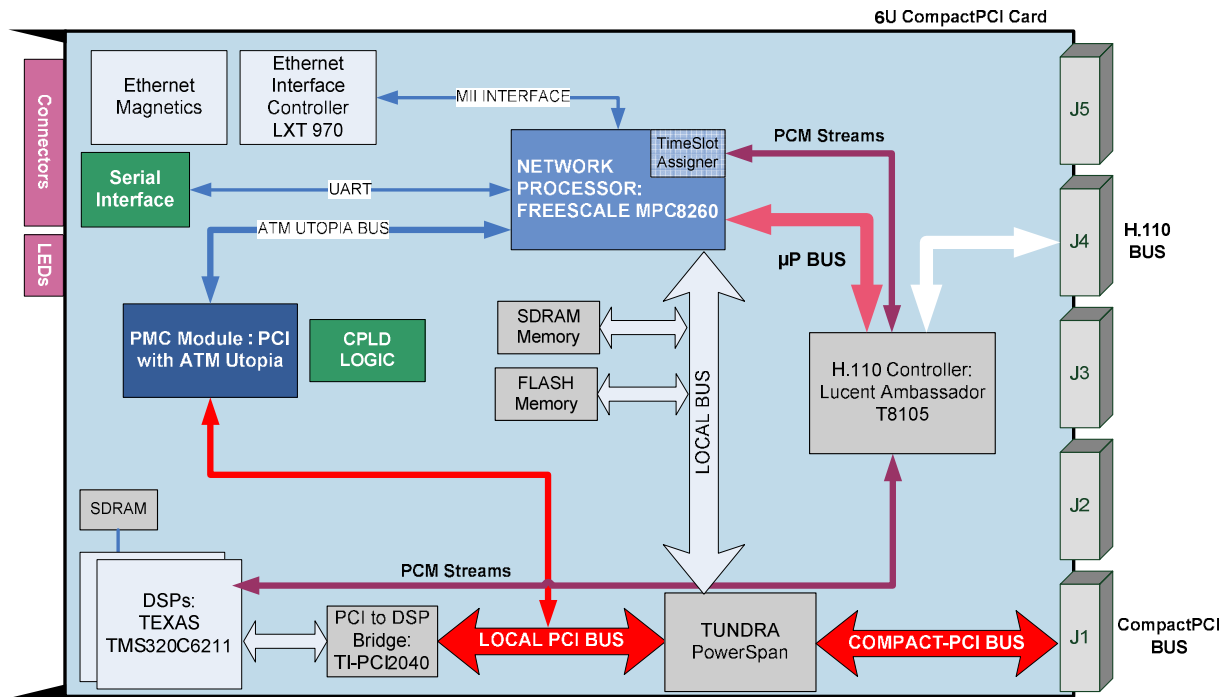
αυξημένη διάδοση του Fast Ethernet ενισχύεται ακόμα περισσότερο από τα χαρακτηριστικά της προς τα πίσω συμβατότητας που διαθέτει. Η συμβατότητα αυτή επιτρέπει την αναβάθμιση των δικτύων χωρίς να είναι απαραίτητη η αναβάθμιση του λογισμικού, των εργαλείων διαχείρισης και των πρωτοκόλλων που απαιτούνται.

Τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης Ethernet της κάρτας περιγράφονται παρακάτω:

- Υποστήριξη λειτουργίας και στους δύο ρυθμούς των 10 και 100 Mbps με βάση τα πρότυπα 10BASE-T και 100BASE-TX
- Αυτόματη διαπραγματεύση και ανίχνευση του ρυθμού λειτουργίας
- Συμβατότητα με την προδιαγραφή IEEE 802.3 100 BASE-X
- Λειτουργία πάνω από καλωδίωση UTP (Unshielded Twisted Pair) κατηγορίας 5 με αντίσταση 100 Ohms. Η απόσταση των συνδέσεων μπορεί να φτάσει τα 140 μέτρα για λειτουργία 100BASE-TX και τα 185 μέτρα για λειτουργία 10BASE-T.
- Επικοινωνία με τον δικτυακό επεξεργαστή μέσω σύνδεσης ΜΠ (Media Independent Interface) που ορίζεται στην προδιαγραφή IEEE 802.3
- Υψηλής απόδοσης υλοποίηση του ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC-Media Access Control)

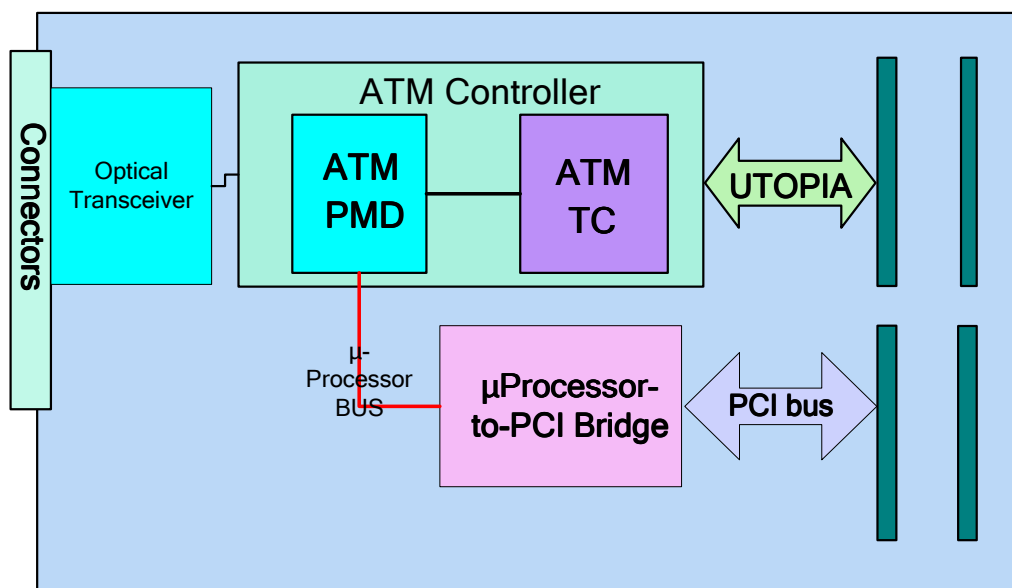
3.4.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΔΙΚΤΥΑ ΑΤΜ

Παράλληλα με την σύνδεση με το δίκτυο Ethernet, για πολλές εφαρμογές χρήσιμη είναι και η σύνδεση με άλλα δίκτυα μεταγωγής πακέτου όπως το ΑΤΜ. Και αυτό γιατί η τεχνολογία ΑΤΜ εμφανίζει πλεονεκτήματα για την μεταφορά κίνησης φωνής παράλληλα με κίνηση δεδομένων μέσω των πολλαπλών υπηρεσιών μετάδοσης που υποστηρίζει. Ο βασικός ρόλος μιας ΑΤΜ σύνδεσης στο σύστημα που περιγράφουμε είναι η μεταφορά των δεδομένων από το ένα άκρο στο άλλο (data transport). Στο Σχήμα 3-9 φαίνονται οι απαραίτητες αλλαγές στην αρχιτεκτονική σε σχέση με το Σχήμα 3-7 για την υποστήριξη ΑΤΜ συνδέσεων από την συγκεκριμένη κάρτα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η σύνδεση PMC που περιγράφεται σε παρακάτω παράγραφο. Στον Jn3 connector, η λειτουργικότητα του οποίου δεν σχετίζεται με τον διάυλο PCI, προσαρμόζονται τα σήματα του διαύλου UTOPIA επιπέδου 2 [14]. Με σκοπό να διατηρηθούν τα χαρακτηριστικά της γενικευμένης και ανοιχτής αρχιτεκτονικής της κάρτας επιλέγεται η αντιστοιχία των σημάτων του UTOPIA bus στους ακροδέκτες της σύνδεσης PMC που περιγράφεται στην προδιαγραφή PTMC (PICMG 2.15 revision 1.0) από την PICMG [15].



Σχήμα 3-9 – Αρχιτεκτονική της κάρτας με δυνατότητα διασύνδεσης ATM.

Η κάρτα που υποστηρίζει λειτουργικότητα ATM διαφοροποιείται με την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων ATM του δικτυακού επεξεργαστή (network processor). Πιο συγκεκριμένα, το τμήμα των ακροδεκτών εισόδου-εξόδου του επεξεργαστή που υποστηρίζει την λειτουργία του διαύλου UTOPIA συνδέεται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες της PMC σύνδεσης. Έτσι μπορούν να κατασκευαστούν κάρτες επέκτασης για την διασύνδεση με ATM δίκτυα. Μια τέτοια κάρτα πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω λειτουργικά τμήματα:



Σχήμα 3-10 – Λειτουργικά τμήματα κάρτας επέκτασης ATM.

Παρατηρούμε ότι και αυτή η κάρτα βασίζεται στην αρχιτεκτονική του συνδυασμένου διαύλου, αφού υπάρχει ο παράλληλος δίαυλος PCI και ο δίαυλος διαμεταγωγής UTOPIA. Η αρχιτεκτονική αυτή επιλέχθηκε έτσι ώστε μέσω του διαύλου UTOPIA να είναι διαθέσιμες όλες οι σχετικές με το ATM λειτουργίες του δικτυακού επεξεργαστή στην κάρτα επέκτασης. Ο παράλληλος δίαυλος PCI χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση και τον έλεγχο του ATM controller από τον επεξεργαστή της μητρικής κάρτας που στην περίπτωση μας είναι ο δικτυακός επεξεργαστής.

Τα εξαρτήματα και οι λειτουργίες που εξυπηρετούν οι δομικές μονάδες της κάρτας επέκτασης ATM είναι τα εξής:

- **Ο ελεγκτής ATM (ATM controller)**. Πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που συνδέεται μέσω του διαύλου UTOPIA με τον δικτυακό επεξεργαστή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου ολοκληρωμένου είναι το PM5350 της PMC Sierra. Οι βασικές λειτουργίες που υποστηρίζει από την μεριά της λήψης είναι η επεξεργασία των cells, η επεξεργασία των πλαισίων και των επικεφαλίδων, όπως και η μετατροπή από παράλληλη σε σειριακή ροή των δεδομένων (serialization). Οι αντίθετες λειτουργίες εκτελούνται στην μεριά της εκπομπής.
- **Ο οπτικός πομποδέκτης (optical transceiver)**. Ο πομποδέκτης αυτός, από την μεριά του πομπού λαμβάνει την σειριακή ροή από τον ελεγκτή και την μεταδίδει στην οπτική ίνα προς το άλλο άκρο της ATM σύνδεσης. Η αντίθετη διαδικασία γίνεται από την μεριά του δέκτη, όπου τα οπτικά σήματα αποκωδικοποιούνται σε μια ηλεκτρική σειριακή ροή. Λειτουργικά αποτελεί το μέσο προσαρμογής της ηλεκτρικής πληροφορίας στην οπτική γραμμή μεταφοράς. Στην περίπτωση που το μέσο μετάδοσης είναι συζευγμένα ζεύγη καλωδίων χαλκού (twisted pair), τότε ο οπτικός πομποδέκτης αντικαθίσταται από μαγνητικά κυκλώματα προσαρμογής (magnetics).

Το ολοκληρωμένο γεφύρωσης του ελεγκτή ATM με τον δίαυλο PCI (PCI bridge).

Το ολοκληρωμένο αυτό εξυπηρετεί λειτουργικά την μετατροπή των σημάτων του διαύλου PCI σε σήματα του τοπικού διαύλου του ελεγκτή ATM. Μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα προγραμματιζόμενο λογικό κύκλωμα (FPGA) και επιτρέπει τον έλεγχο της κάρτας επέκτασης ATM από τον κεντρικό επεξεργαστή (στην μητρική κάρτα).

Στο Σχήμα 3-11 παρουσιάζεται η Voice/Ethernet κάρτα του συστήματος Netgate.



Σχήμα 3-11: Η κάρτα Voice/Ethernet του συστήματος Netgate.

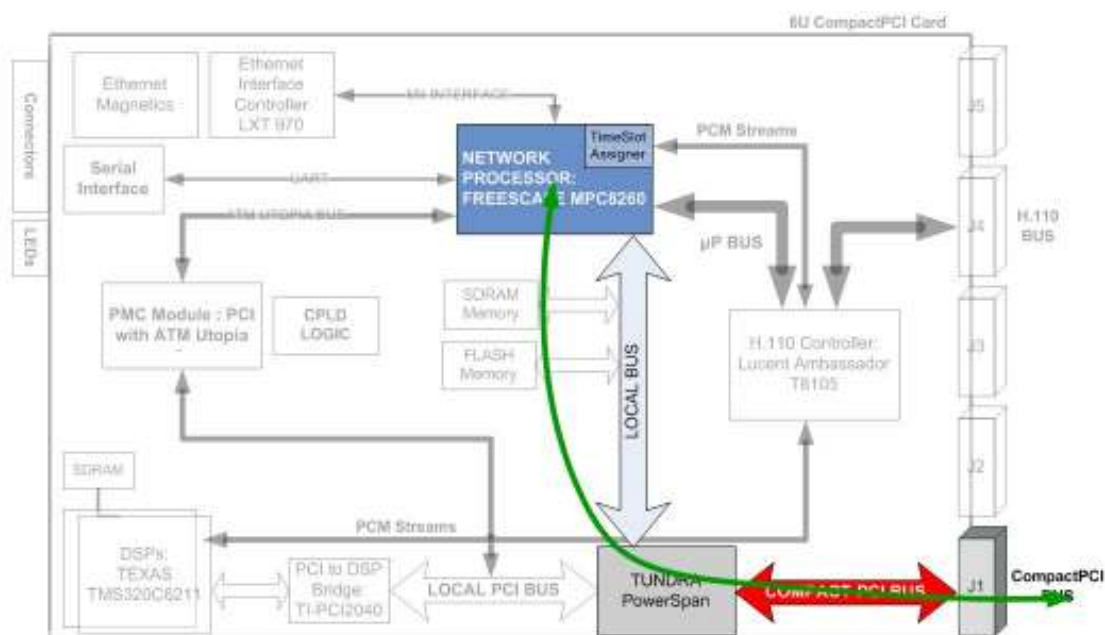
3.5 ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ VOIP.

Η βασική λειτουργία που το υποσύστημα Ethernet/VoIP πρόκειται να πραγματοποιήσει είναι η διασύνδεση των δικτύων TDM και IP για την πραγματοποίηση κλήσεων φωνής. Για να είναι κάτι τέτοιο δυνατό, όλα τα επιμέρους συστήματα της κάρτας πραγματοποιούν μια σειρά από λειτουργίες υπό τη συνολική εποπτεία του ΔΕ αλλά και εν μέρει της κεντρικής κάρτας ελέγχου του συστήματος. Στην παράγραφο αυτή θα αναλυθούν αυτές ακριβώς οι λειτουργίες.

Προκειμένου να είναι πιο σαφής ο τρόπος με τον οποίο κάθε υποσύστημα συμμετέχει στη διαδικασία αυτή, θα αναλύσουμε τα παραδείγματα 2 κλήσεων από και προς την TDM/H.110 διασύνδεση της κάρτας.

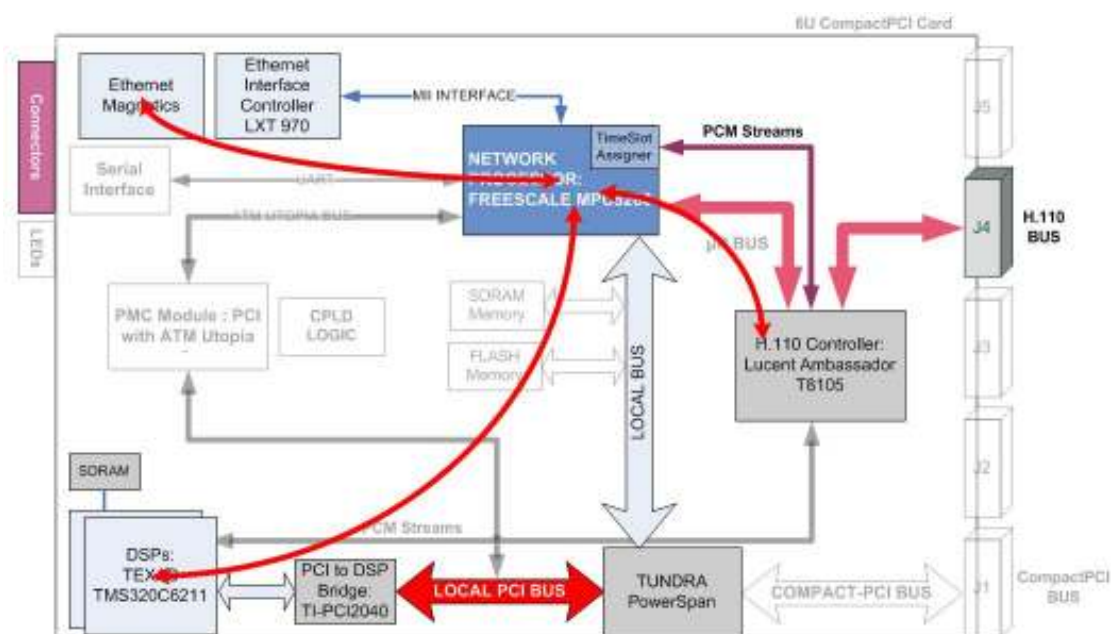
3.5.1 ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ TDM ΔΙΚΤΥΟ.

Οι κλήσεις από το TDM δίκτυο τερματίζονται στην κάρτα E1 του συστήματος. Από πλευράς σηματοδότησης, η κάρτα E1 ειδοποιεί την κεντρική κάρτα ελέγχου του συστήματος ότι υπάρχει μια κλήση η οποία και πρέπει να δρομολογηθεί.



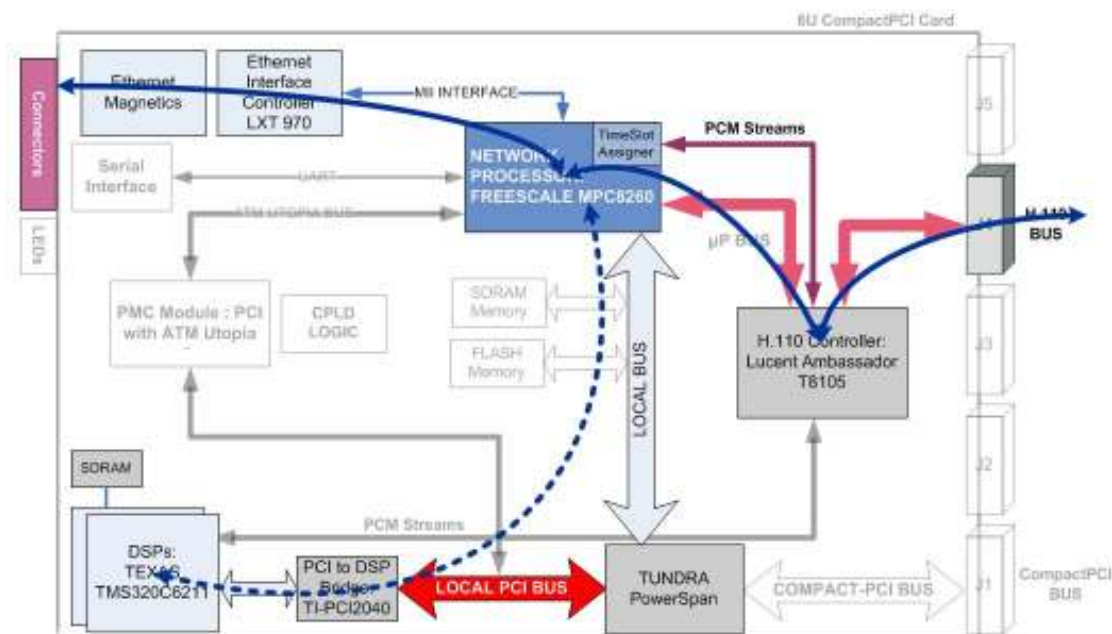
Σχήμα 3-12 : Εξυπηρέτηση εισερχόμενης κίνησης από TDM δίκτυα. (Βήμα 1).

Εφ' όσον η κλήση πρόκειται να δρομολογηθεί δια μέσου του δικτύου VoIP, η δρομολόγηση προς την κάρτα VoIP θα πραγματοποιηθεί δια μέσου του διαύλου H.110. Η κεντρική κάρτα ελέγχου του συστήματος δεσμεύει τους απαραίτητους πόρους για το δίαυλο H.110 και ενημερώνει την κάρτα VoIP για την ύπαρξη της εισερχόμενης κλήσης, δίνοντας τα χαρακτηριστικά της H.110 χρονοσχιμής στην οποία και αναμένεται να φτάσει η εισερχόμενη κίνηση. Παράλληλα ενημερώνει και την κάρτα E1 για το πως πρέπει να δρομολογήσει την εισερχόμενη κίνηση.



Σχήμα 3-13 : Εξυπηρέτηση εισερχόμενης κίνησης από TDM δίκτυα. (Βήμα 2).

Καθώς το αίτημα για εισερχόμενη κλήση φτάνει στην κάρτα VoIP, ο επεξεργαστής πραγματοποιεί τις κατάλληλες διαδικασίες αρχικοποίησης του διαύλου H.110 δια μέσου του ελεγκτή του ενώ παράλληλα ενημερώνει τους DSPs για την ύπαρξη μιας νέας κλήσης. Ταυτόχρονα πραγματοποιεί και τις κατάλληλες λειτουργίες προκειμένου από πλευράς σηματοδοσίας, η κλήση να μπορεί να προωθηθεί στον κατάλληλο προορισμό δια μέσου της διεπαφής Ethernet.



Σχήμα 3-14 : Εξυπηρέτηση εισερχόμενης κίνησης από TDM δίκτυα. (Βήμα 3).

Ο ελεγκτής E1 αρχίζει και αποστέλλει τα δεδομένα της φωνής τα οποία και η κάρτα VoIP επεξεργάζεται και αποστέλλει στον κατάλληλο δικτυακό προορισμό.

Μόλις η κλήση ολοκληρωθεί, το σύστημα απελευθερώνει όλους τους πόρους που είχε δεσμεύσει για την πραγματοποίηση της κλήσης και περιμένει την επόμενη κλήση.

3.5.2 ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΕΤHERNET ΔΙΚΤΥΟ.

Για τις κλήσεις VoIP που φτάνουν στη δικτυακή διεπαφή του συστήματος ο δικτυακός επεξεργαστής είναι εκείνος που ξεκινά τις διαδικασίες της σηματοδοσίας. Ειδοποιεί την κεντρική κάρτα για την ύπαρξη εισερχόμενης κίνησης και με βάση την απάντηση της αρχικοποιεί τις κατάλληλες παραμέτρους στον ελεγκτή του διαύλου H.110. Επίσης δεσμεύει πόρους (εφ' όσον αυτό είναι απαραίτητο) στους DSPs για την επεξεργασία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.

Η κλήση εγκαθιδρύεται και τα πακέτα φωνής δρομολογούνται μέσω των DSPs και του διαύλου H.110 προς την κάρτα τερματισμού της κίνησης E1.

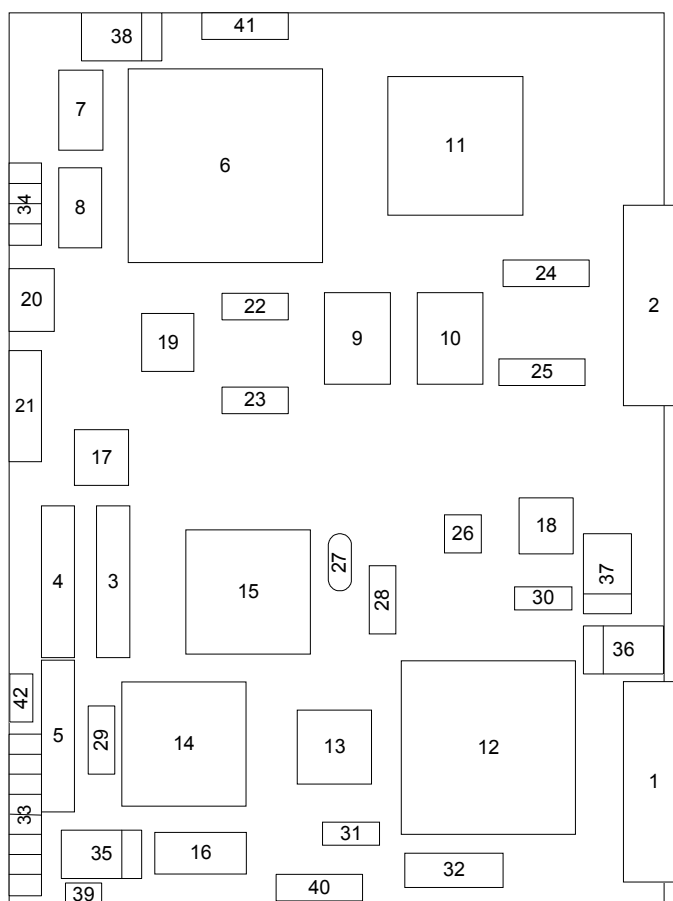
3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΡΤΑΣ.

Μετά από τον σχεδιασμό σε επίπεδο PCBs της κάρτας του συστήματος NetGate, πριν από οποιαδήποτε ανάπτυξη των συστημάτων λογισμικού, ήταν απαραίτητη η αρχική επιβεβαίωση ότι όλα τα σχεδιασμένα υποσυστήματα βρίσκονται σε σωστή λειτουργική κατάσταση και δεν υπάρχουν κατασκευαστικά ελαττώματα στην κάρτα. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται οι βασικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να διαπιστωθεί η κατάσταση στην οποία βρίσκονται όλα τα υποσυστήματα της κάρτας.

3.6.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.

Στην παράγραφο αυτή περιγράφουμε τα βασικές ηλεκτρικές δοκιμές που έγιναν πάνω στο σύστημα μας αμέσως μετά από την παραλαβή του από το εργοστάσιο κατασκευής.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται εποπτικά τα διάφορα υποσυστήματα όπως ακριβώς είναι τοποθετημένα πάνω στην κάρτα.



Σχήμα 3-15: Περιγραφή της τοπολογίας των υποσυστημάτων.

Στο σχήμα αναγνωρίζουμε τα επιμέρους λειτουργικά στοιχεία:

1. J1 cPCI connector (32-bit PCI I/F).
2. J4 cPCI connector (H.110 I/F).
3. J11 PMC connector.
4. J12 PMC connector.
5. J13 PMC connector.
6. Embedded Microprocessor (Motorola MPC8260).
7. Embedded Microprocessor SDRAM IC 1.
8. Embedded Microprocessor SDRAM IC 2.
9. Embedded Microprocessor FLASH IC 1.
10. Embedded Microprocessor FLASH IC 2.
11. H.110 switching IC (Lucent Ambassador T8105).
12. PowerPC to PCI Bus Switch (Tundra Dual PCI Powerspan).
13. PCI–DSP Bridge Controller (Texas Instruments PCI 2040).
14. Embedded DSP 1 (Texas Instruments TMS320C6211).
15. Embedded DSP 2 (Texas Instruments TMS320C6211).
16. Embedded DSP SDRAM IC.
17. Board Control CPLD 1.
18. Board Programmable Switch CPLD 2.
19. Ethernet Transceiver.
20. RJ 45 Connector.
21. RS 232 Connector.
22. Microprocessor 60x Bus Buffer.
23. Microprocessor 60x Bus Buffer.
24. Microprocessor 60x Bus Buffer.
25. Microprocessor 60x Bus Buffer.
26. Clock Distribution IC.
27. Master Clock Crystal (14.31818 MHz).
28. Clock Synthesizer.
29. DSP Clock Oscillator.
30. PowerPC to PCI Bus Switch Configuration EEPROM.
31. PCI –DSP Bridge Controller Configuration EEPROM.
32. Hot Swap Controller.
33. Board control leds.

34. Ethernet control leds.
35. +5V to +1.8V Regulator.
36. +5V to EARLY +2.5V Regulator.
37. +5V to EARLY +3.3V Regulator.
38. +5V to +2.5 V Regulator.
39. Hot Swap micro-switch connector.
40. PowerPC to PCI Bus Switch JTAG Port.
41. Microprocessor JTAG/COP port.
42. Hot Swap Blue LED.

Στα επόμενα περιγράφονται οι δοκιμές ορθής λειτουργίας που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε ένα από τα μέρη της κάρτας.

3.6.1.1 TEST 1: ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΑΡΤΑΣ.

Με την παραλαβή της κάρτας έγινε λεπτομερής οπτικός έλεγχος προκειμένου να διαπιστωθεί:

- Αν υπάρχουν εξαρτήματα που λείπουν,
- Αν όλα τα εξαρτήματα έχουν τοποθετηθεί στη σωστή τους θέση,
- Αν η ευθυγράμμιση των εξαρτημάτων είναι σωστή,
- Αν οι τιμές των τοποθετημένων εξαρτημάτων είναι οι σωστές,
- Αν οι κολλήσεις έχουν γίνει με σωστό τρόπο.

Ο οπτικός έλεγχος έδειξε ότι κατά την κατασκευή όλες οι διαδικασίες είχαν γίνει σωστά και όλα τα εξαρτήματα είναι σωστά τοποθετημένα στις θέσεις τους.

3.6.1.2 TEST 2: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΡΤΑΣ ΜΕ ΤΟΝ ΣΚΕΛΕΤΟ COMPACTPCI.

Προκειμένου να ελέγξουμε τη μηχανική συμβατότητα της κάρτας, η κάρτας εφαρμόστηκε σε έναν σκελετό CompactPCI. Δεν παρουσιάστηκε κανένα πρόβλημα και η εισαγωγή έγινε με απολύτως κανονικό τρόπο.

3.6.1.3 TEST 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ & ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.

Προκειμένου να διαπιστωθεί ότι κατά την κατασκευή δεν υπήρχαν βραχυκυκλώματα έγινε έλεγχος μεταξύ των βασικών επιπέδων τροφοδοσίας της κάρτας και των αντιστοίχων γειώσεων.

- Έλεγχος βραχυκυκλώματος τροφοδοσίας +5V
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος τροφοδοσίας +3.3V
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος τροφοδοσίας +2.5V
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος τροφοδοσίας +1.8V

- Έλεγχος βραχυκυκλώματος μεταξύ τροφοδοσιών +5V, +3.3V, +2.5V και +1.8V
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης μεταξύ Host PCI VCC I/O supply
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης του ρολογιού Host PCI
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης του ρολογιού Master clock
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης του ρολογιού Local PCI clock
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης του ρολογιού Local bus clock
- Έλεγχος βραχυκυκλώματος και διασύνδεσης του ρολογιού Local 16.384MHz clock

Από τους παραπάνω ελέγχους διαπιστώθηκε ότι η κάρτα δεν παρουσίαζε κανένα βραχυκύκλωμα μεταξύ των βασικών επιπέδων τροφοδοσίας.

3.6.1.4 TEST 4: ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ DC.

Πριν την εγκατάσταση του υποσυστήματος στο CompactPCI rack που ενσωμάτωνε όλα τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος Netgate, η κάρτα τροφοδοτήθηκε με εξωτερική παροχή ισχύος προκειμένου να διαπιστωθεί ότι μπορεί και φτάνει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας (από πλευράς ρεύματος) μόλις τροφοδοτηθεί με ισχύ. Το blue led του διαύλου CompactPCI στην περίπτωση αυτή ανάβει στιγμιαία και στη συνέχεια σβήνει. Αυτό υποδηλώνει ότι οι τροφοδοσίες έχουν γίνει με σωστό τρόπο συστήματος. Η δοκιμή με την εξωτερική τροφοδοσία του συστήματος ήταν επιτυχής. Η κατανάλωση ρεύματος στην κατάσταση ηρεμίας του συστήματος μετρήθηκε στα 9.60 W.

3.6.1.5 TEST 9: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟ COMPACTPCI RACK.

Μετά την ανεξάρτητη τροφοδότηση του συστήματος με ρεύμα, το σύστημα τοποθετήθηκε στο CPCI rack προκειμένου να διαπιστωθεί ότι μπορεί να τροφοδοτείται κανονικά με ρεύμα και να φτάνει στην κατάσταση της ηρεμίας χωρίς πρόβλημα τόσο για το ίδιο όσο και για το συνολικό σύστημα το οποίο και το φιλοξενεί.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με απόλυτη επιτυχία.

3.6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.

Οι βασικές λειτουργικές δοκιμές είναι απαραίτητες προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθή λειτουργία του συστήματος σε επίπεδο υλικού. Οι δοκιμές καλύπτουν όλα τα επιμέρους υποσυστήματα της κάρτας καθώς και τα συστήματα των εξωτερικών διεπαφών.

3.6.2.1 ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΥΛΟ COMPACTPCI

Οι δοκιμές έχουν σαν σιόπο να επιβεβαιωθεί η μηχανική και ηλεκτρική συμβατότητα της σχεδιασθείσας κάρτας με το διαύλο Compact PCI σύμφωνα με τις αυστηρά καθορισμένες προδιαγραφές οι οποίες και διέπουν τη λειτουργία του διαύλου. Η

επιβεβαίωση της συμβατότητας προκύπτει από το γεγονός ότι η παρουσία της κάρτας στο σύστημα δεν επηρεάζει με οποιοδήποτε τρόπο την ορθή λειτουργία των υπολοίπων συστημάτων τα οποία και είναι επίσης ενσωματωμένα στον διάυλο.

3.6.2.2 ΟΡΘΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΥΛΩΝ MPC8260 60x & LOCAL.

Οι 2 βασικοί διάυλοι του επεξεργαστή είναι οι ακόλουθοι:

- **60x Bus**, 64-bit data and 32-bit address
- **Local Bus**, 32-bit data and 18-bit address

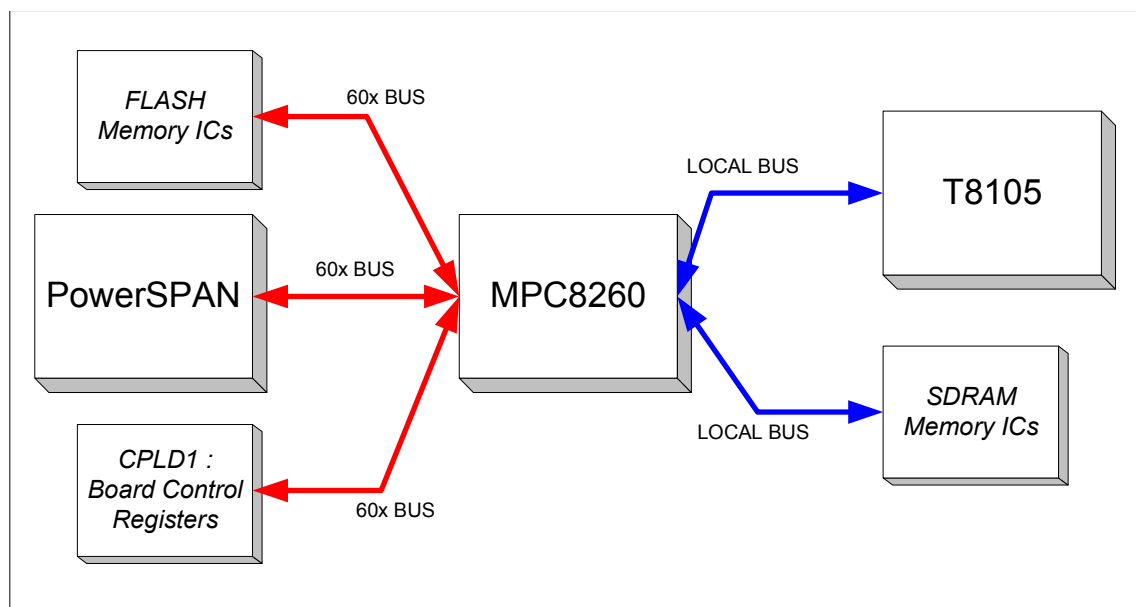
Ο διάυλος MPC8260 60x Bus, φιλοξενεί 3 βασικά λειτουργικά στοιχεία:

- ⇒ Ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης Flash
- ⇒ Ολοκληρωμένο κύκλωμα PowerPC-to-PCI PowerSPAN bridge
- ⇒ Ολοκληρωμένα προγραμματιζόμενα κυκλώματα CPLD1 – Board Control Registers

Ο διάυλος MPC8260 Local Bus, φιλοξενεί 2 βασικά λειτουργικά στοιχεία:

- ⇒ Ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης SDRAM
- ⇒ Ολοκληρωμένα κυκλώματα διαχείριση TDM διαύλου T8105 Timeslot Interchanger

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται σχηματικά τα λειτουργικά στοιχεία των επιμέρους διαύλων του επεξεργαστή.



Σχήμα 3-16: Οι βασικοί διάυλοι του επεξεργαστή MPC8260

Προκειμένου να ελεγχθεί η βασική λειτουργία των συστημάτων μνήμης σε καθένα από τους διαύλους του επεξεργαστή, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από δοκιμές σε όλο το εύρος της εγκατεστημένης μνήμης του συστήματος. Οι δοκιμές αυτές δεν αφορούσαν μόνο στη σχεδίαση της κάρτας και στην σωστή συναρμολόγηση της αλλά παράλληλα και στον έλεγχο της σωστής αρχικής ρυθμίσεις του επεξεργαστή για την πρόσβαση στις μνήμες αυτές. Οι ρυθμίσεις αφορούν στο μέγεθος του διαύλου, στο μέγεθος του πεδίου διευθυνσιοδότησης του, στις ρυθμίσεις του χρονισμού του αλλά και την ορθή επικοινωνία με όλα τα υποσυστήματα που βρίσκονται σε κάθε δίαυλο. Παράλληλα έγιναν λεπτομερείς έλεγχοι για να διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των επιμέρους στοιχείων κάθε διαύλου.

Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία, επιβεβαιώνοντας την ορθή λειτουργία των 2 βασικών διαύλων του επεξεργαστή.

3.6.2.3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ PCI ΣΥΣΚΕΥΩΝ.

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως σκοπό την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των συστημάτων που ελέγχουν τον πρωτεύοντα (primary) και τον δευτερεύοντα (secondary) δίαυλο PCI της κάρτας. Στην κάρτα ενσωματώνονται 2 συσκευές PCI : ο ελεγκτής Tundra Dual PCI PowerSpan και ο ελεγκτής TI PCI2040.

Ο ελεγκτής Tundra Dual PCI PowerSpan αποτελεί μια συσκευή διασύνδεσης τριών πορτών. Περιλαμβάνει 2 πόρτες PCI και μια η οποία και διασυνδέεται απευθείας με το δίαυλο 60x του δικτυακού επεξεργαστή. Η πόρτα PCI 1 (η οποία και είναι ρυθμισμένη ως η πρωτεύουσα πόρτα) συνδέεται με τον ακροδέκτη J1 του διαύλου Compact PCI. Η πόρτα PCI 2 είναι συνδεδεμένη με τον ελεγκτή TI PCI2040.

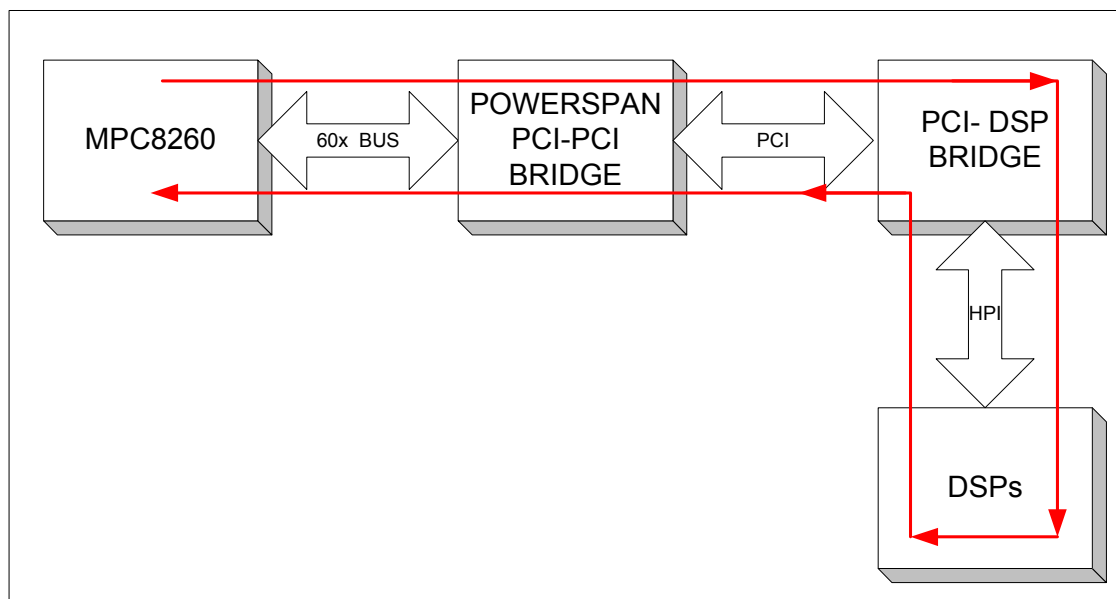
Ο ελεγκτής TI PCI2040 αποτελεί μια συσκευή γεφύρωσης μεταξύ του τοπικού διαύλου PIC και του εσωτερικού διαύλου επικοινωνίας των DSPs. Παρέχει 2 διασυνδέσεις: μια PCI η οποία και είναι απευθείας διασυνδεδεμένη με τον ελεγκτή Tundra Dual PCI PowerSpan και μια δεύτερη τύπου HPI (host port interface) η οποία και διασυνδέεται με τον τοπικό δίαυλο των DSPs.

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- Προσπελάσεις read/write από τον ΔΕ προς στους εσωτερικούς καταχωρητές (PowerSpan Control and Status Registers - PCSR), του ελεγκτή Powerspan. Μέσω αυτών των καταχωρητών πραγματοποιούνται οι βασικές ρυθμίσεις του ελεγκτή.
- Δια μέσου του ελεγκτή Powerspan έγιναν προσπελάσεις τύπου 0 (PCI Configuration (Type 0) read/write transactions) προς το δευτερεύοντα δίαυλο PCI

Εκτιμώντας από τον επεξεργαστή, έγιναν προσπελάσεις μνήμης Read/Write δια μέσου του ελεγκτή Powerspan στο δευτερεύοντα δίκτυο PCI και εν συνεχεία δια μέσου του ελεγκτή PCI2040 προς τη μνήμη η οποία και ελέγχεται από τους DSPs.

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία όλων των υπό δοκιμή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων καθώς και των διαύλων. Τα αποτελέσματα βρίσκονταν σε πλήρη συμφωνία με τις αναμενόμενες τιμές με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.



Σχήμα 3-17: Επιβεβαίωση ορθής λειτουργίας διαύλων & ολοκληρωμένων.

3.6.2.4 ΔΙΕΠΙΦΗ I₂C EEPROM.

Η κάρτα φιλοξενεί δύο μνήμες τύπου EEPROM οι οποίες και διασφαλίζουν την ορθή αρχικοποίηση των καταχωρητών των PCI συσκευών της κάρτας. Η διαδικασία φόρτωσης των δεδομένων στους καταχωρητές πραγματοποιείται δια μέσω του διαύλου I2C ο οποίος και ενσωματώνεται σε κάθε PCI συσκευή. Το πρώτο κύκλωμα EEPROM χρησιμοποιείται για τις αρχικές ρυθμίσεις στον ελεγκτή PowerPC to PCI bridge (Tundra PCI Dual PowerSpan) ενώ παράλληλα ρυθμίζεται και η αρχική λειτουργία του διαύλου του επεξεργαστή. Το δεύτερο κύκλωμα EEPROM ρυθμίζει τους βασικούς καταχωρητές του ελεγκτή TI PCI2040.

Μόλις η κάρτα ενεργοποιείται ηλεκτρικά οι τιμές από τις EEPROMs φορτώνονται στους καταχωρητές. Μετά την αρχικοποίηση οι τιμές των εν λόγω καταχωρητών διαβάζονται και συγκρίνονται με τις τιμές οι οποίες είναι αποθηκευμένες στο εσωτερικό των EEPROMs. Από τις δοκιμές επιβεβαιώθηκε ότι οι τιμές των καταχωρητών των συσκευών ταυτίζονται με

αυτές των μνημών EEPROM. Με τον τρόπο αυτό η ορθή λειτουργία των EEPROMs επιβεβαιώνεται αλλά και του υποδιαύλου I2C επιβεβαιώθηκε.

3.6.2.5 Έλεγχος Σώστης Λειτουργίας Κυκλωμάτων CPLD

Στην κάρτα περιλαμβάνονται 2 διαφορετικά ολοκληρωμένα τύπου CPLD (Complex Programmable Logic Device) τα οποία και χρησιμοποιούνται για την αρχικοποίηση της. Τα 2 CPLDs είναι τα εξής:

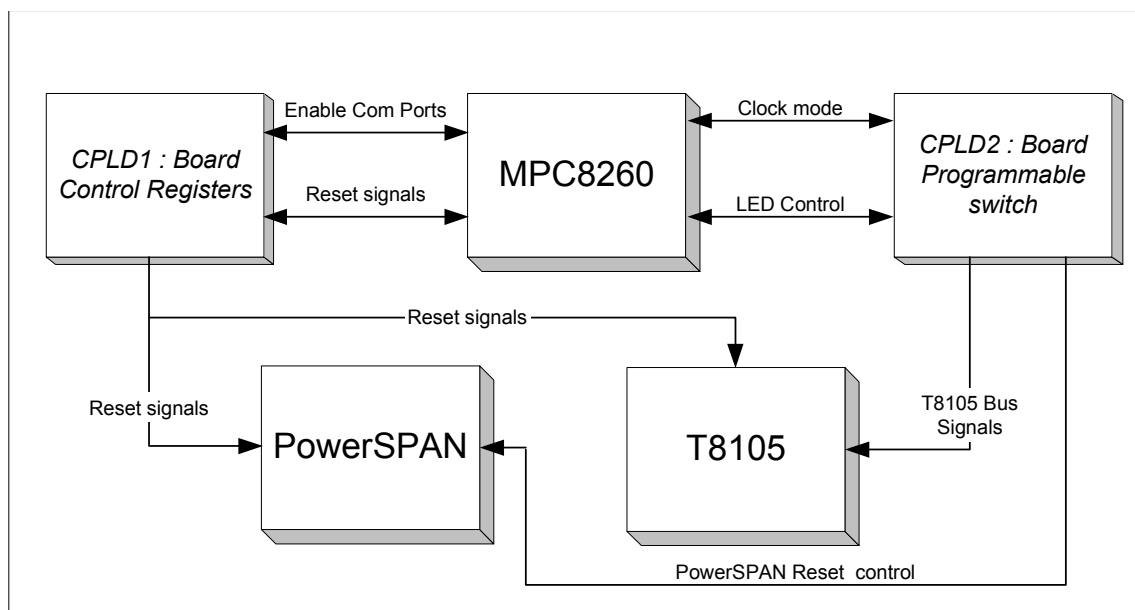
Board Control Register:

- Ενσωματώνει καταχωρητές οι οποίοι και ρυθμίζουν τα σήματα enable της σειριακής πόρτας της κάρτας αλλά και του Ethernet transceiver. Δια μέσω ενδεικτικών LEDs είναι δυνατή η παρακολούθηση της κατάστασης των συγκεκριμένων διεπαφών.
- Ελέγχει τον τρόπο με τον οποίο το σήμα αρχικοποίησης reset του επεξεργαστή μεταδίδεται στα διάφορα σημεία της κάρτας προκειμένου να πραγματοποιείται με σωστή σειρά.

Board Programmable Switch:

- Ρυθμίζει τον τρόπο λειτουργίας του ρολογιού του επεξεργαστή, από το οποίο και καθορίζεται η συχνότητα λειτουργίας τόσο του επεξεργαστή όσο και του διαύλου του.
- Ενσωματώνει την εξωτερική λογική για τη διασύνδεση με το δίαυλο του T8105 ολοκληρωμένου κυκλώματος.
- Ρυθμίζει βασικές αρχικές λειτουργίες χρονισμού για τους clock synthesizers της κάρτας.
- Ελέγχει τα ενδεικτικά LEDs.
- Ελέγχει τα σήματα reset του PowerSpan.

Η εγγραφή των κατάλληλων τιμών κάθε CPLD πραγματοποιείται μέσω διεπαφής JTAG



Σχήμα 3-18: Επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των CPLDs.

Μετά από τον προγραμματισμό του CPLD, ο σωστός προγραμματισμός του αλλά και η σωστή λειτουργία για καθένα από τα κυκλώματα επιβεβαιώθηκε με μία σειρά από δοκιμές που περιελάμβαναν προσπελάσεις read/write στα CPLDs, τα αποτελέσματα του προγραμματισμού των ελεγχόμενων από τα CPLDs κυκλωμάτων.

3.6.2.6 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ LUCENT AMBASSADOR T8105 – MPC8260 BUS INTERFACE

Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν είχαν ως σκοπό τον έλεγχο της σωστής διασύνδεσης του ελεγκτή T8105 16 και του επεξεργαστή MPC8260. Η διασύνδεση πραγματοποιείται δια μέσω του δευτερεύοντος διαύλου του επεξεργαστή (Local Bus) . Με τον τρόπο αυτό ο ελεγκτής μπορεί να επικοινωνήσει με το επεξεργαστή μέσω μια συγκεκριμένης περιοχής μνήμης του επεξεργαστή. Οι δοκιμές επιβεβαίωσαν ότι ο επεξεργαστής έχει πρόσβαση σε όλους τους καταχωρητές του T8105. Πραγματοποιήθηκαν τόσο προσπέλασης εγγραφής όσο και προσπελάσεις ανάγνωσης, και όλες οι τιμές επιβεβαίωσαν ότι η επικοινωνία των MPC8260 & T8105 πραγματοποιείται χωρίς το παραμικρό πρόβλημα.

3.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΠΥΛΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ.

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης έχει αλλάξει δραματικά τις ταχύτητες με τις οποίες απλοί οικιακοί χρήστες συνδέονται με τα δίκτυα κορμού. Έτσι στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες, ταχύτητες πρόσβασης της τάξης των Mbit αποτελούν

μια κοινή πρακτική. Η ανάπτυξη και εξάπλωση της τεχνολογίας DSL έχει συμβάλλει αποφασιστικά στην αύξηση της ταχύτητας πρόσβασης. Σε πολλές χώρες ταχύτητες της τάξης των 100 Mbps αποτελούν πραγματικότητα ενώ σε σύντομο χρονικό διάστημα η ταχύτητα πρόσβασης της τάξης των Gbps θα αποτελεί καθημερινή πρακτική.

Μέσα σε ένα τέτοιο πλαίσιο διαρκώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος πρόσβασης, η χρησιμοποίηση Δικτυακών Επεξεργαστών για συστήματα οικιακής πρόσβασης αποτελεί μια πρακτική που μπορεί να εξασφαλίσει τη βιωσιμότητα των προϊόντων και να τους προσφέρει την απαραίτητη ευελιξία προσαρμογής στις νέες μεθόδους πρόσβασης αλλά και σε νέους τύπους υπηρεσιών που το σύστημα πιθανόν να κληθεί να πραγματοποιήσει.

Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστεί μια ευέλικτη πλατφόρμα οικιακής πύλης πρόσβασης (Residential Gateway – RG) βασισμένη επίσης στον δικτυακό επεξεργαστή MPC8260 και η οποία εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες που ο επεξεργαστής προσφέρει προκειμένου να εξασφαλίσει την ευελιξία του συστήματος. Η πλατφόρμα βασίζεται στην έκδοση MPC8250 η οποία είναι παραλλαγή του επεξεργαστή MPC8260. Οι μόνες διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των εκδόσεων του επεξεργαστή αφορούν τη συσκευασία του επεξεργαστή, την ταχύτητα λειτουργίας και τον αριθμό ή / και τον τύπο των διαφορικών δικτυακών διεπαφών που ο επεξεργαστής υποστηρίζει. Η χρησιμοποίηση μιας τέτοιας παραλλαγής του επεξεργαστή κρίνεται σκόπιμη, καθώς οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός οικιακού συστήματος δικτύωσης διαφέρουν σημαντικά από αυτές ενός συστήματος δικτύου κορμού. Πέρα από τις βασικές δικτυακές δυνατότητες που μπορεί και προσφέρει η πύλη, παρέχονται και μια σειρά από υπηρεσίες όπως εξελιγμένες τηλεφωνικές υπηρεσίες χάρη στο λειτουργικό σύστημα αλλά και την επαρκή υπολογιστική ισχύ του μP.

Σε σύγκριση με το υποσύστημα VoIP του συστήματος NETGATE, η χρησιμοποίηση του ίδιου δικτυακού επεξεργαστή σε 2 τόσο διαφορετικά συστήματα όσον αφορά στη λειτουργικότητα και το μέγεθος δεν θα πρέπει να ξενίζει. Το υποσύστημα NETGATE VoIP εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες στο πλαίσιο ενός μεγαλύτερου μικροφωματικού συστήματος. Στην περίπτωση της δικτυακής πύλης ολόκληρη η λειτουργικότητα του κόμβου και όχι μόνο οι δικτυακές της λειτουργίες, υλοποιείται αποκλειστικά από την επεξεργαστική ισχύ του δικτυακού επεξεργαστή.

3.7.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΠΥΛΗΣ.

Οι οικιακές δικτυακές πύλες (Residential Gateways – RGs) αποτελούν ένα ιδιαίτερο δικτυακό προϊόν. Μέσα σε μια και μόνο συσκευή ενσωματώνονται μια σειρά από δικτυακές διεπαφές οι οποίες καλούνται να λειτουργούν ταυτόχρονα αλλά και μια σειρά από δικτυακές

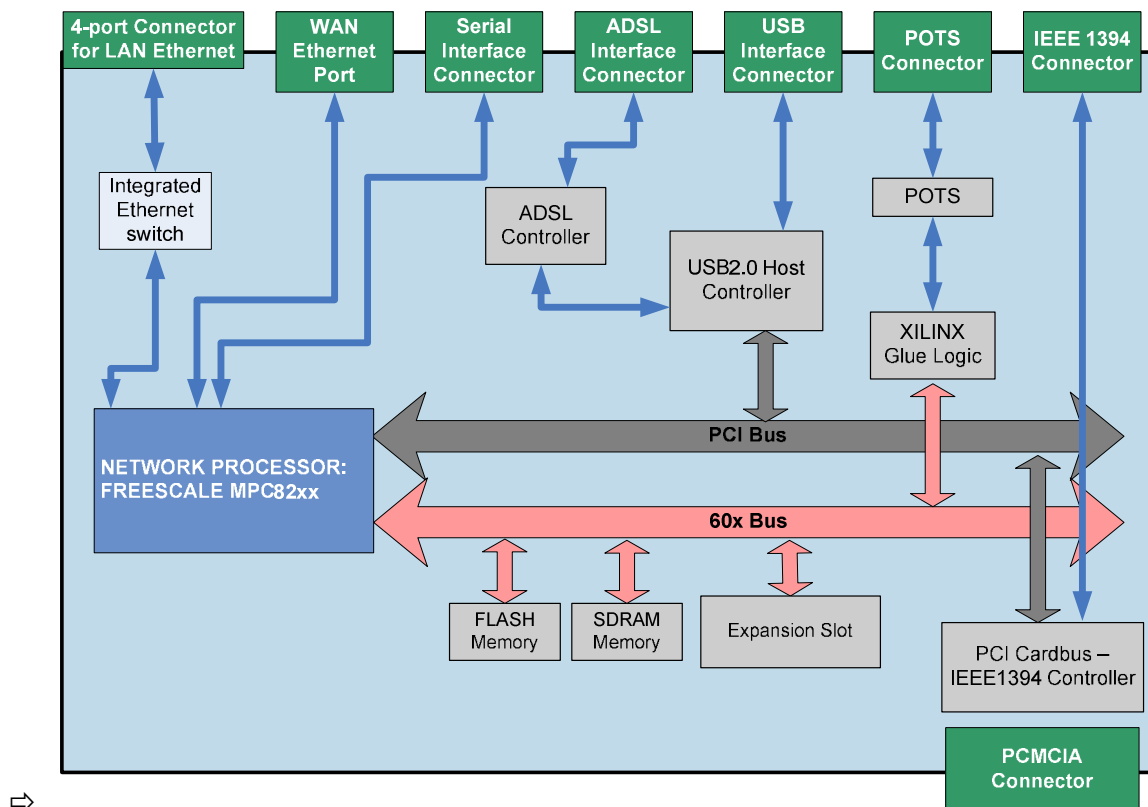
εφαρμογές υποστήριξης. Παράλληλα καθώς τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα φωνής και δεδομένων προχωρούν σε πλήρη ενοποίηση είναι απόλυτα επιθυμητό μια τέτοια πύλη να παρέχει και τη δυνατότητα υπηρεσιών φωνής. Στα επόμενα περιγράφονται τα επιμέρους λειτουργικά συστήματα που αποτελούν την πύλη.

Είναι εξαιρετικά σημαντικό να τονιστεί ότι μια ολόκληρη γκάμα δικτυακών πυλών που περιγράφονται στην παράγραφο αυτή αποτελούν στην ουσία παραλλαγές του ίδιου συστήματος. Οι διαφοροποιήσεις βασίζονται αποκλειστικά στις επιμέρους ενσωματωμένες δικτυακές ή μη λειτουργίες που κάθε παραλλαγή ενσωματώνει. Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι ανάλογα με τις απαιτήσεις, ένα κοινό σύστημα «βάσης» τόσο σε επίπεδο υλικού αλλά και λογισμικού μπορεί να διαμορφωθεί προκειμένου να ανταποκριθεί στις εκάστοτε απαιτήσεις. Όλα όμως τα έχουν σαν κοινό υπόβαθρο :

- ⇒ Τον ίδιο Δικτυακό Επεξεργαστή.
- ⇒ Το ίδιο λειτουργικό σύστημα.
- ⇒ Τις ίδιες βασικές εφαρμογές αρχικοποίησης.
- ⇒ Το ίδιο βασικό λειτουργικό λογισμικό.

Τέτοιου είδους κοινά χαρακτηριστικά αποτελούν ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα για τη διαδικασία εξέλιξης των νέων συστημάτων και την άμεση ανταπόκριση του κατασκευαστή στις αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς καθώς μπορεί να διαμορφώσει κατάλληλα το σύστημα στοχεύοντας στο αντίστοιχο κομμάτι της αγοράς.

- ⇒
- ⇒



Σχήμα 3-19 : Σχηματική απεικόνιση αρχιτεκτονικής οικιακής δικτυακής πύλης.

3.7.1.1 ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΔΙΕΠΑΦΕΣ.

Καθώς το εν λόγω σύστημα αποτελεί μια πύλη διαμεταγωγής οικιακής χρήσης, η έμφαση δόθηκε κατ'αρχάς στην υποστήριξη αυτών ακριβώς των λειτουργιών που είναι απαραίτητες προκειμένου να είναι εφικτή η διασύνδεση του συστήματος με διάφορα δίκτυα. Διαφορετικές παραλλαγές του συστήματος μπορούν να υποστηρίξουν μια πληθώρα από διεπαφές που περιλαμβάνουν:

Ethernet 10 / 100 over UTP: Αποτελεί την πλέον απαραίτητη διεπαφή για τη διασύνδεση του συστήματος με το εσωτερικό δίκτυο στο οποίο και παρέχει τις υπηρεσίες πρόσβασης. Παράλληλα το σύστημα μπορεί και ενσωματώνει και μια δεύτερη πόρτα Fast Ethernet για διασύνδεση με δίκτυα WAN εφόσον η επιλογή αυτή είναι διαθέσιμη.

Ethernet 10 / 100 over Fiber : Αποτελεί την εναλλακτική υλοποίηση του φυσικού επιπέδου της WAN Ethernet διασύνδεση για την περίπτωση όπου η πρόσβαση σε WAN δίκτυα παρέχεται με οπτικά μέσα. Η διασύνδεση είναι εντελώς ανεξάρτητη από τις άλλες Ethernet διεπαφές (ξεχωριστός controller, ξεχωριστό IRQ line).

ADSL – ADSL 2+: Αποτελεί το πιο διαδεδομένη προς το παρόν τρόπο διασύνδεσης με το δίκτυο WAN.

WiFi Capabilities : Ένα σύγχρονο RG απαιτείται να περιλαμβάνει τουλάχιστο ένα ασύρματο Interface. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και πάνω από τη διεπαφή PCMCIA προσφέρει τη δυνατότητα αυτή. Το σύστημα μπορεί να ενσωματώσει έως και 2 ξεχωριστές κάρτες διασύνδεσης PCMCIA.

ATM over E1 & ATM 25 : Σε ειδικές περιπτώσεις το σύστημα μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα προκειμένου να ενσωματώσει και λίγο πιο σπάνιες μεθόδους πρόσβασης σε δίκτυα κορμού.

Σε μια τυπική έκδοση μιας τέτοιας οικιακής δικτυακής πύλης, μπορούμε να διακρίνουμε καταρχήν τις διεπαφές πρόσβασης που μπορεί να είναι ADSL, Ethernet ή ATM over E1 ή ATM 25. Μέσω PCMCIA καρτών το σύστημα μπορεί να έχει πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα ενώ στο PCI διαύλο που ενσωματώνει μπορεί να συνδέονται περιφερειακά συστήματα όπως USB Bridge, FireWire I/F. Όσον αφορά στις τηλεφωνικές διεπαφές, το σύστημα ενσωματώνει PSTN και ISDN τηλεφωνικές συνδέσεις οι οποίες και μπορούν να συνδέονται με τα αντίστοιχα δίκτυα. Η διασύνδεση με τον ΔΕ επεξεργαστή επιτυγχάνεται μέσω του διαύλου PCI.

3.7.2 ΔΙΕΠΑΦΕΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

Πέρα από το ρόλο της συσκευής πρόσβασης προς διαφόρων τύπων δικτύων, το RG έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει και άλλες λειτουργίες οι οποίες και συμπληρώνουν άμεσα ή έμμεσα το δικτυακό του χαρακτήρα. Οι διεπαφές του εκτός από δικτυακές είναι επιθυμητό να μπορούν να υποστηρίξουν και περιφερειακά συστήματα αλλά και συστήματα για υπηρεσίες φωνής.

Τέτοιου είδους εναλλακτικές διεπαφές υλοποιήθηκαν στο εν λόγω σύστημα και περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

Διεπαφή USB : Μέσω της διεπαφής USB το σύστημα είναι σε θέση να επικοινωνήσει με μια σειρά από περιφερειακά συστήματα όπως εκτυπωτές, αποθηκευτικά μέσα, δικτυακούς προσαρμογείς, video cameras κοκ. Η χρήση των περιφερειακών αυτών παρέχει μια σειρά από δυνατότητες στο σύστημα που ξεπερνούν τα στενά δικτυακά όρια.

FireWire : Αποτελεί συμπληρωματική διεπαφή της διεπαφής USB. Μπορεί να επιτελέσει παρόμοιες λειτουργίες αλλά με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες.

Διασύνδεση με τηλεφωνικά δίκτυα ISDN & PSTN: Η αρχιτεκτονική του επεξεργαστή επιτρέπει την ενσωμάτωση τηλεφωνικών διεπαφών μέσω του διαύλου PCI. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα υλοποιεί την ενοποίηση των κόσμων της κλασικής τηλεφωνίας και των τεχνολογιών VoIP. Το μέγεθος ενός τέτοιου συστήματος διαφέρει ασφαλώς

σημαντικά από την αρχιτεκτονική NETGATE που παρέχει περισσότερες δυνατότητες διεκπεραίωσης κλήσεων σε πολύ μεγάλο αριθμό. Σε ένα μικρότερης κλίμακας σύστημα δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη ανεξάρτητων DSPs. Στην περίπτωση αυτή την ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων μπορούν να αναλάβουν εξειδικευμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα που υλοποιούν εκτός από τα πρωτόκολλα διασύνδεσης με δίκτυα TDM και μικρών δυνατοτήτων DSPs. Το σημαντικό πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι το γεγονός ότι μπορεί να αναλάβει εκτός από τις λειτουργίες διασύνδεσης με κάθε είδους υποστηριζόμενα δίκτυα, μια σειρά από παράλληλες λειτουργίες όπως είναι οι λειτουργίες Firewall, NAT, IPSEC αλλά και λειτουργίες όπως printer server, mail server, file server. Οι λειτουργίες αυτές είναι ενσωματωμένες στο λειτουργικό Linux και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς σημαντικές αλλαγές σε όλες τις επιμέρους παραλλαγές των συστημάτων που χρησιμοποιούν τον ίδιο επεξεργαστή ανεξάρτητα από το πλήθος και το είδος των διεπαφών που το σύστημα ενσωματώνει.

Μια τέτοια προσέγγιση στην κατασκευή του συστήματος δικτύωσης καθιστά ένα τέτοιο προϊόν ιδιαίτερα ανθεκτικό στις προκλήσεις που η τηλεπικοινωνιακή αγορά συνεχώς προσφέρει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
Το
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ
ΣΥΣΤΗΜΑ LINUX

Σκοπός της διατριβής αυτής είναι όπως αναφέραμε και νωρίτερα η δημιουργία ανοικτών συστημάτων δικτυακών επεξεργαστών. Η «καρδιά» ενός τέτοιου συστήματος είναι ασφαλώς το λειτουργικό σύστημα και οι εφαρμογές που αυτό ενσωματώνει. Σε ένα ανοικτό σύστημα, η επιλογή του λειτουργικού δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από το πλέον διαδεδομένο και αξιόπιστο λειτουργικό σύστημα ανοικτού κώδικα: το Linux.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο το λειτουργικό σύστημα εφαρμόστηκε στα συστήματα των δικτυακών επεξεργαστών. Θα περιγραφούν με συντομία τα βασικά στάδια που ήταν απαραίτητα τόσο της μορφοποίησης του λειτουργικού συστήματος όσο και των αναγκαίων βασικών λειτουργικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν στα συστήματα προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα της κατασκευής.

Εκτός από το λειτουργικό σύστημα θα παρουσιαστεί και μια σειρά από τις βασικές λειτουργικές εφαρμογές όπως αυτές αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν στο σύστημα. Η διαδικασία αυτή έχει σαν σκοπό να επιδείξει τις δυνατότητες που προσδίδει άμεσα σε ένα σύστημα η ενσωμάτωση του λειτουργικού Linux με την πληθώρα των ήδη ελεγμένων και αξιόπιστων εφαρμογών ανοικτού κώδικα. Η εφαρμογή των συγκεκριμένων λειτουργιών σε ένα μη συμβατικό σύστημα όπως τα συστήματα των δικτυακών επεξεργαστών, απαιτεί ασφαλώς μια σειρά από μορφοποιήσεις προκειμένου να μπορούν να είναι συμβατές με το συγκεκριμένο υλικό. Παρ' όλα αυτά σε πολύ μικρό διάστημα ανάπτυξης ακόμα και τα πλέον «περίεργα» δικτυακά συστήματα που χρησιμοποιούν το Linux μπορούν να χρησιμοποιούν ολόκληρη τη γκάμα από τις υπάρχουσες εφαρμογές του.

Ένα βασικό στάδιο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος ήταν να γίνει ένας διεξοδικός έλεγχος σε ότι αφορά τη λειτουργικότητα όλων των υποσυστημάτων του και παράλληλα να προετοιμασθεί προκειμένου να προγραμματισθεί με το λειτουργικό σύστημα Linux. Για το σκοπό αυτό ένα πρόγραμμα αρχικοποίησης (bootloader) ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί σε αρχικό στάδιο. Μόλις γίνει η εφαρμογή του προγράμματος αυτού, το σύστημα είναι έτοιμο προκειμένου να ξεκινήσει η εφαρμογή του λειτουργικού συστήματος Linux πάνω σε αυτό. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν τα διαδοχικά στάδια που ακολούθηθηκαν προκειμένου στη διαδικασία αυτή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τόσο στην περίπτωση του bootloader όσο και στην περίπτωση του ίδιου του λειτουργικού συστήματος δεν ήταν απαραίτητες αλλαγές στη φιλοσοφία των 2 προγραμμάτων. Οι μόνες αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν ήταν οι απαραίτητες προκειμένου τα 2 αυτά προγράμματα να προσαρμοστούν στις αρχιτεκτονικές ιδιαιτερότητες της κάρτας (διάταξη και χρονισμός μνήμης RAM, αρίθμηση και διασύνδεση περιφερειακών συστημάτων) ενώ ήταν απαραίτητο να αναπτυχθούν εξ αρχής προγράμματα οδήγησης μόνο για συγκεκριμένες διεπαφές του

συστήματος. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι το Linux αποτελεί εκτός από μια αξιόπιστη και εύρωστη λύση λειτουργικού συστήματος, μια λύση για την γρήγορη ανάπτυξη νέων και ευέλικτων προϊόντων με μικρό χρόνο ανάπτυξης.

4.1 Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Κατά τη διάρκεια του αρχικού σχεδιασμού της κάρτας NETGATE ένα από τα ζητήματα που τέθηκαν εξ' αρχής ήταν το ποιο λειτουργικό σύστημα θα επιλεγεί. Η επιλογή αν και στην αρχή φαινόταν να είναι δύσκολη, ουσιαστικά κατέληξε σε μια και μοναδική εναλλακτική: στο Linux. Μια σειρά από λόγους μας οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος [17].

- **Μικρό μέγεθος.** Το Linux τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλές στο πεδίο των embedded συστημάτων. Οι απαιτήσεις του λειτουργικού σε μνήμη περιορίζονται σε λίγα Kbytes ενώ αντίστοιχα μικρές είναι κι οι ελάχιστες απαιτήσεις για υπολογιστική ισχύ.
- **Μικρός χρόνος ανάπτυξης.** Η σειρά MPC82xx της Freescale αποτελεί μια πολύ δημοφιλή έκδοση δικτυακών επεξεργαστών. Ήδη από πολύ νωρίς, υπάρχει στο Linux ειδική έκδοση με την οποία και υποστηρίζεται η αρχιτεκτονική των επεξεργαστών MPC82xx αλλά και μια σειρά από συστήματα που ενσωματώνουν τους επεξεργαστές αυτούς. Για την εγκατάσταση σε νέα συστήματα που περιέχουν τους επεξεργαστές αυτούς, είναι απαραίτητες μόνο μια σειρά από αλλαγές οι οποίες και έχουν να κάνουν με συγκεκριμένα στοιχεία του Hardware και με τον τρόπο με τον οποίο είναι σχεδιασμένη και υλοποιημένη το κάθε διαφορετικό σύστημα.
- **Ελεύθερο λειτουργικό.** Τόσο στο σύστημα Netgate όσο και στα RGs μια βασική προϋπόθεση για το λειτουργικό ήταν το χαμηλό κόστος. Για μια τέτοια επιλογή το Linux αποτελεί μονόδρομο.
- **Πολύ μεγάλη αξιοπιστία.** Το Linux από τις πρώτες κιόλας εκδόσεις του, έδωσε σημαντική έμφαση στην αξιοπιστία και τη σταθερότητα. Σήμερα είναι γενικώς παραδεκτό ότι οι σταθερές (stable) εκδόσεις του πυρήνα, αποτελούν ιδιαίτερα αξιόπιστες λύσεις. Παράλληλα, η συνεχής εξέλιξη του κώδικα του πυρήνα, διορθώνει τυχόν λάθη ενώ προσθέτει νέα χαρακτηριστικά βελτιώνοντας την απόδοση του.
- **Μεγάλος αριθμός developers, διαρκής υποστήριξη.** Μπορεί η έκδοση του Linux να υπήρχε ήδη για το συγκεκριμένο τύπο επεξεργαστή, αλλά κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του λειτουργικού στα συστήματα, ποτέ δεν έλειψαν τα προβλήματα. Η μεγάλη κοινότητα που υποστηρίζει το λειτουργικό αλλά και η προθυμία να συμβάλλουν

την επίλυση των προβλημάτων μας αποτελεί ένα επίσης πλεονέκτημα του Linux όσον αφορά στο χρόνο ανάπτυξης .

- **Δικτυακές λειτουργίες.** Το Linux έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια σαν ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο λειτουργικό σύστημα όσον αφορά στις δικτυακές λειτουργίες του. Τόσο οι δικτυακές εφαρμογές που το συνοδεύουν όσο και οι δικτυακές λειτουργίες που ενσωματώνει ο πυρήνας μπορούν να εφαρμοσθούν εύκολα στο υπό ανάπτυξη σύστημα.
- **Πληθώρα εφαρμογών.** Πέρα από τις δικτυακές εφαρμογές, το Linux παρέχει μια πληθώρα από εξειδικευμένες ή μη εφαρμογές οι οποίες καλύπτουν όλο το φάσμα των δυνατοτήτων ενός υπολογιστικού συστήματος. Η ανάπτυξη και η διάθεση των εφαρμογών αυτών πραγματοποιείται επίσης μέσω GPL πράγμα που σημαίνει ότι είναι διαθέσιμα με μηδενικό κόστος αλλά και με πολύ μεγάλη υποστήριξη.

Real time δυνατότητες για εξειδικευμένες λειτουργίες. Μια σειρά από προσπάθειες έχουν καταγραφεί, προκειμένου το Linux να αποκτήσει τη δυνατότητα απόκρισης σε πραγματικό χρόνο. Καθώς οι υπηρεσίες φωνής είναι ευαίσθητες σε ότι αφορά στη χρονική απόκριση των συστημάτων η εφαρμογή των real time extensions του Linux ήταν ένα ακόμα πλεονέκτημα για το ίδιο το λειτουργικό.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά που εξ' ορισμού το Linux ενσωματώνει αποτελούσαν ακριβώς και τα χαρακτηριστικά που το λειτουργικό σύστημα της πλατφόρμας NETGATE θα πρέπει να ικανοποιεί. Όλα τα παραπάνω καθιστούν το linux μια ιδανική επιλογή τόσο για την εμπορική έκδοση (RG) αλλά και για την ερευνητική έκδοση του Netgate.

4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ LINUX.

Προκειμένου να είναι εφικτή η εγκατάσταση του λειτουργικού αλλά και του προγράμματος αρχικοποίησης του συστήματος, είναι απαραίτητη η δημιουργία του κατάλληλου περιβάλλοντος λογισμικού με βάση το οποίο θα γίνει η προσαρμογή αλλά και η μεταγλώττιση (compiling) του λογισμικού.

Το περιβάλλον αυτό αποτελείται απαραίτητα από τον μεταγλωττιστή(compiler) , τις βιβλιοθήκες (libraries) αλλά και τον πηγαίο κώδικα (source code). Ο μεταγλωττιστής είναι ειδικού τύπου. Καθώς η αρχιτεκτονική των desktop συστημάτων είναι βασισμένη σε επεξεργαστές Intel και το λογισμικό πρέπει να μεταγλωττιστεί σε κώδικα άλλης αρχιτεκτονικής, (PowerPC) είναι απαραίτητο να γίνεται η μετάφραση μεταξύ των 2 αρχιτεκτονικών. Για το λόγο αυτό ο compiler είναι ένας cross-compiler ο οποίος και επιτρέπει τη δημιουργία των εφαρμογών για την αρχιτεκτονική MPC8260 δια μέσου μιας απλής πλατφόρμας Intel x86.

Όλο το λογισμικό που απαιτήθηκε για την ανάπτυξη των εφαρμογών αλλά και για τα εργαλεία της ανάπτυξης αποτελούν επίσης ελεύθερο λογισμικό. Η λεπτομέρεια αυτή είναι επίσης σημαντική, καθώς με τον τρόπο αυτό ο προγραμματιστής έχει πρόσβαση σε όλα τα κομμάτια τα οποία και συνθέτουν το σύστημα. Έτσι για κάθε ένα από τα στοιχεία που τελικά συνθέτουν το λογισμικό υπάρχει πρόσβαση αλλά και δυνατότητα μετατροπών όπου και στο βαθμό που κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο.

4.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Ο Bootloader είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα που αρχικοποιεί όλες τις επιθυμητές λειτουργίες του επεξεργαστή, τις διεπαφές και τα διάφορα υποσυστήματα του ενώ παράλληλα προσφέρει εκτεταμένες ικανότητες ελέγχου σωστής λειτουργίας της πλατφόρμας. Μετά την επιτυχή εφαρμογή ενός τέτοιου προγράμματος, το σύστημα είναι σε θέση να εκτελεί βασικές εντολές, ενώ παράλληλα παρέχεται τόσο δικτυακή διασύνδεση Ethernet όσο και λειτουργική σειριακή διεπαφή μέσω των οποίων μπορεί να υπάρχει επικοινωνία με το σύστημα. Η αρχική εφαρμογή ενός τέτοιου προγράμματος κατά την κατασκευή του συστήματος και την ανάπτυξη του λειτουργικού είναι απολύτως απαραίτητη. Και στην περίπτωση αυτή, το ελεύθερο λογισμικό ήταν σε θέση να προσφέρει μια λύση.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε ονομάζεται PPCBOOT (μετονομάστηκε σε U-BOOT στη συνέχεια)^[18] και διανέμεται ελεύθερα μέσω του Διαδικτύου. Για τη δημιουργία του έχουν συνεργασθεί δεκάδες μηχανικοί υπολογιστών και χρησιμοποιείται σαν πρόγραμμα αρχικοποίησης σε μια πλειάδα από πλατφόρμες βασισμένες σε διάφορους τύπους επεξεργαστών. Εφαρμόζεται ήδη για έναν αριθμό συστημάτων που είναι βασισμένα στον επεξεργαστή MPC8260 της Freescale. Ολόκληρος ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος είναι δημιουργημένος υπό άδεια ευρέος κοινού GNU (GPL) και είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού C. Προσφέρει τη δυνατότητα προγραμματισμού της μνήμης flash, ελέγχου των εσωτερικών καταχωρητών του επεξεργαστή, καθώς και όλες τις απαραίτητες διαδικασίες προκειμένου να αρχικοποιηθεί η SDRAM, οι διεπαφές Ethernet και η σειριακή διεπαφή. Επιπλέον προσφέρει μια τυποποιημένη διαδικασία για εφαρμογή του LINUX στην πλατφόρμα και εκκίνησης του λειτουργικού συστήματος.

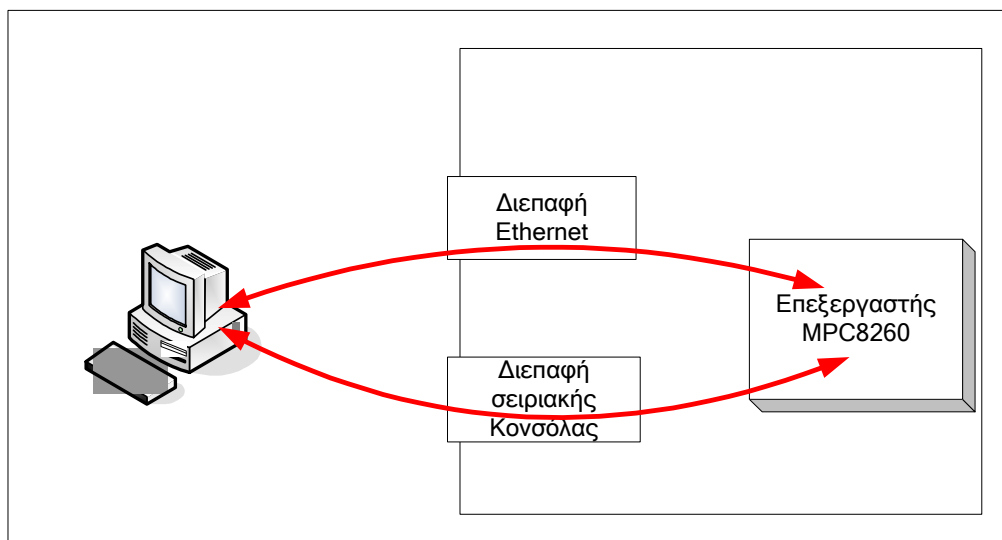
Ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό γνώρισμα του PPCBOOT είναι η ικανότητα αυτόνομης εκτέλεσης προγραμμάτων. Παραδείγματος χάριν, ειδικά διαγνωστικά εργαλεία μπορούν να υλοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν ότι το υλικό του συστήματος λειτουργεί όπως αναμένεται. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα μας πρόσφερε τη δυνατότητα να προετοιμάσει και να πραγματοποιήσει μια σειρά λειτουργικών δοκιμών στον σύστημα, προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργία του.

4.3.1 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΟΥ PPCBOOT.

Καθώς το PPCBOOT είναι ένα γενικό πρόγραμμα που αναφέρεται σε μια σειρά από επεξεργαστές και πλατφόρμες ήταν αναγκαίο να γίνουν πολλές τροποποιήσεις στον πηγαίο κώδικα. Αυτό ήταν απαραίτητο προκειμένου να προσαρμοσθεί το πρόγραμμα στην αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του πίνακά μας. Οι αλλαγές αυτές αφορούσαν:

- Τη μνήμη SDRAM του συστήματος,
- Τη μνήμη Flash του συστήματος,
- Τις διεπαφές Ethernet,
- Τη ρύθμιση της λειτουργίας των διαύλων επικοινωνίας του επεξεργαστή,
- Την αρχικοποίηση της σειριακής διεπαφής προκειμένου το σύστημα να μπορεί να είναι ελέγξιμο μέσω αυτής

Μετά από τις ρυθμίσεις αυτές, μια “εικόνα” του προγράμματος τοποθετήθηκε στην μνήμη Flash του συστήματος και έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις προκειμένου ο επεξεργαστής να εκτελεί το πρόγραμμα ppcboot μόλις βγει από την κατάσταση reset. Για να είναι εφικτή η παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος, αυτό συνδέθηκε με έναν υπολογιστή ελέγχου τόσο μέσω της σειριακής κονσόλας όσο και μέσω του Ethernet όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

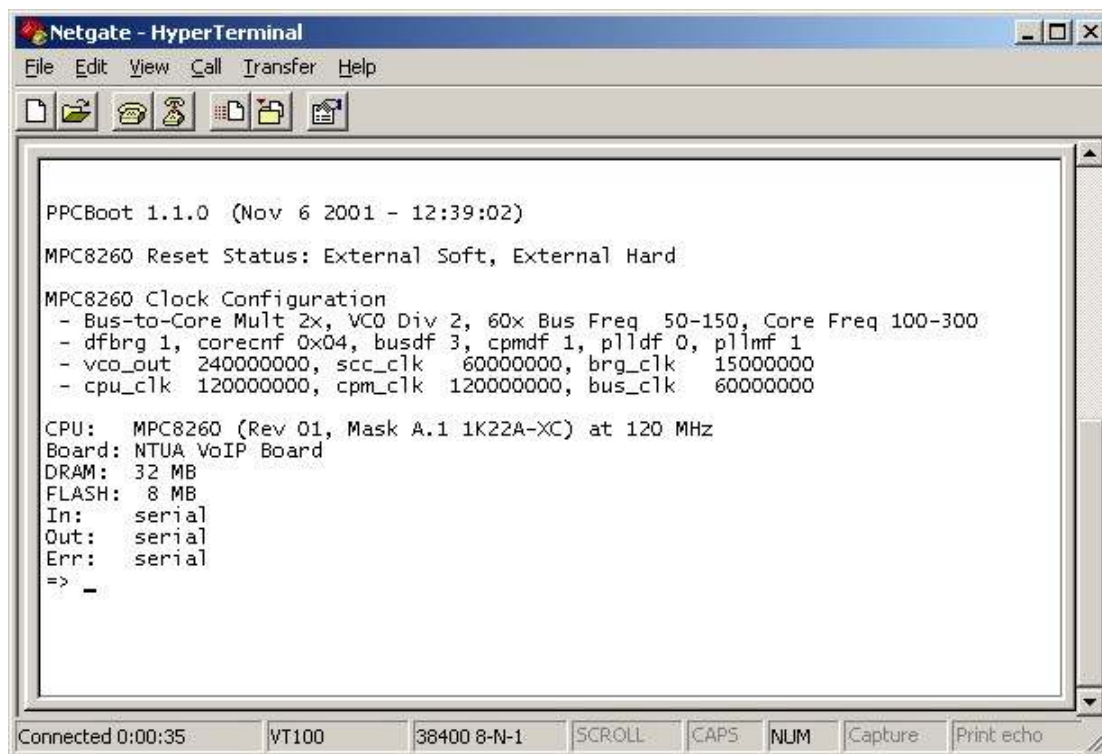


Σχήμα 4-20: Σύνδεση υπολογιστή ελέγχου με το σύστημα.

Κατά την αρχικοποίηση του συστήματος, ο επεξεργαστής αφού εξέλθει της κατάστασης reset διαβάζει από τη μνήμη Flash τον κώδικα του ppcboot, τον μεταφορτώνει στη μνήμη SDRAM και στη συνέχεια εκτελεί τον κώδικα. Κατά την εκτέλεση του ppcboot

γίνεται μια σειρά από αρχικοποιήσεις σε όλα τα περιφερειακά που το ppcboot μπορεί και ελέγχει.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η αρχική οθόνη του ppcboot μέσω της σειριακής κονσόλας του συστήματος.



```
Netgate - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help

PPCBoot 1.1.0 (Nov 6 2001 - 12:39:02)
MPC8260 Reset Status: External Soft, External Hard
MPC8260 Clock Configuration
- Bus-to-Core Mult 2x, VCO Div 2, 60x Bus Freq 50-150, Core Freq 100-300
- dfbrg 1, corecnf 0x04, busdf 3, cpmdf 1, plldf 0, pllmf 1
- vco_out 240000000, scc_clk 60000000, brg_clk 15000000
- cpu_clk 120000000, cpm_clk 120000000, bus_clk 60000000
CPU: MPC8260 (Rev 01, Mask A.1 1K22A-XC) at 120 MHz
Board: NTUA VoIP Board
DRAM: 32 MB
FLASH: 8 MB
In: serial
Out: serial
Err: serial
=> -

Connected 0:00:35 VT100 38400 8-N-1 SCROLL CAPS NUM Capture Print echo
```

Σχήμα 4-1: Αρχική οθόνη του ppcboot.

Στη συνέχεια μέσω του ppcboot έγιναν μια σειρά από ελέγχους του συστήματος. Το στάδιο αυτό είναι απολύτως απαραίτητο προκειμένου να εφαρμοσθεί στην πλατφόρμα το λειτουργικό σύστημα. Το Linux δεν κάνει βασικές αρχικοποιήσεις μνημών και λοιπών περιφερειακών αλλά περιμένει να τα βρει σε μια συγκεκριμένη κατάσταση αρχικοποίησης προκειμένου να τα χρησιμοποιήσει..

Όσον αφορά στην μνήμη RAM έγιναν όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι οι χρονισμοί αλλά και όλες οι γραμμές σημάτων από και προς τη μνήμη λειτουργούν χωρίς πρόβλημα ακόμα και στη μέγιστη επιτρεπτή συχνότητα. Εξασφαλίζεται έτσι ότι το σύστημα δεν έχει κατασκευαστικό πρόβλημα που να επηρεάζει τη σωστή λειτουργία του.

Στη συνέχεια μέσω του PPCBOOT έγινε αρχικοποίηση των δικτυακών διεπαφών Ethernet για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας τους τόσο όσον αφορά τη διεπαφή του μικροεπεξεργαστή αλλά και τον ελεγκτή της Ethernet διεπαφής. Έγιναν έλεγχοι για τη σωστή διάγνωση της ταχύτητας σύνδεσης (10 / 100 Mbps) καθώς και έλεγχος της

απόδοσης της διεπαφής. Διαπιστώθηκε ότι η διεπαφή είναι λειτουργική για όλες τις ταχύτητες και μπορεί να επιτύχει μέγιστους ονομαστικούς ρυθμούς για κάθε μια από αυτές.

Το επόμενο στάδιο αφορούσε τα επιμέρους περιφερειακά συστήματα τα οποία ελέγχει ο επεξεργαστής. Τα συστήματα αυτά είναι ο ελεγκτής του TDM δικτύου H.110, η τριπλή γέφυρα διασύνδεσης, οι γέφυρα διασύνδεσης με τους επεξεργαστές Ψηφιακού Σήματος, οι επεξεργαστές ψηφιακού σήματος και τα CPLDs τα οποία και επιτελούν την λειτουργική διασύνδεση σημαντικών σημάτων αλλά και του χρονισμού των επιμέρους συστημάτων.

Το PPCBoot παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης (διαμέσου του διαύλου του επεξεργαστή) σε όλα τα περιφερειακά τα οποία επίσης είναι κατανεμημένα στο δίαυλο. Έτσι στη λειτουργικότητα του προγράμματος, προστέθηκαν τα κατάλληλα κομμάτια του κώδικα προκειμένου κατά την αρχικοποίηση της κάρτας να πραγματοποιούνται και όλες οι βασικές λειτουργίες αρχικοποίησης της τριπλής γέφυρας διασύνδεσης, του ελεγκτή του διαύλου H.110 και των DSPs.

4.3.2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΤΟΥ LINUX.

Από τη στιγμή που ο δικτυακός επεξεργαστής και τα βασικά περιφερειακά του υποσυστήματα αρχικοποιήθηκαν από το PPCBOOT, οι αλλαγές που ήταν απαραίτητο να γίνουν στον πηγαίο κώδικα του Linux ήταν ακόμα λιγότερες. Οι αλλαγές έγιναν και πάλι σε συγκεκριμένα σημεία στα οποία τα προγράμματα οδήγησης των υποσυστημάτων εξαρτώνταν από την αρχιτεκτονική χαμηλού επιπέδου (low level design) του συστήματος. Πρόκειται για μικρές (πλην όμως ουσιαστικές αλλαγές) στον κώδικα, οι οποίες για έναν έμπειρο προγραμματιστή συστημάτων αποτελούν σχετικά εύκολη δουλειά. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι από τη στιγμή κατά την οποία οι αλλαγές αυτές εντοπιστούν και ολοκληρωθούν, το λειτουργικό σύστημα είναι έτοιμο για λειτουργία τουλάχιστον σε βασικό επίπεδο.

Οι βασικές αλλαγές στον πυρήνα του Linux αφορούσαν τα παρακάτω πεδία

1. Τύπος επεξεργαστή

Η υλοποίηση του Linux για τη σειρά των δικτυακών επεξεργαστών MPC82xx βασίζεται σε συγκεκριμένο τύπο και συγκεκριμένη έκδοση του επεξεργαστή. Έγιναν οι αλλαγές σε καταχωρητές όπου και καταγράφεται ο τύπος του επεξεργαστή προκειμένου να υποστηριχθεί η συγκεκριμένη έκδοση του επεξεργαστή.

2. Ρυθμίσεις τοπολογίας μνημών.

Ο επεξεργαστής μπορεί να υποστηρίξει μια πολλή μεγάλη σειρά από τοπολογίες μνημών και του τρόπου διασύνδεσης τους με τους διαύλους επικοινωνίας του επεξεργαστή. Έγιναν οι

απαραίτητες ρυθμίσεις προκειμένου ο επεξεργαστής να μπορεί να επικοινωνεί σε κατάλληλο χρονισμό αλλά και σε κατάλληλο δίαυλο με τη συγκεκριμένη τοπολογία μνημών που το σύστημα ενσωματώνει.

3. Αρχικές ρυθμίσεις χρονισμού.

Ο επεξεργαστής MCP82xx ανάλογα με το σύστημα στο οποίο ανήκει μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να μπορεί να εκκινήσει με διαφορετικούς χρονισμούς. Έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις ώστε το σύστημα να εκκινεί στη βέλτιστη ρύθμιση χρονισμού τόσο όσον αφορά τα εσωτερικά του συστήματα αλλά και όλα τα περιφερειακά τα οποία απαιτούν ο χρονισμός τους να παράγεται από τον κεντρικό επεξεργαστή.

4. Ρύθμιση των περιφερειακών διεπαφών.

Η πληθώρα των προγραμματίσιμων διεπαφών αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά του δικτυακού επεξεργαστή. Καθώς κάθε υλοποίηση είναι διαφορετική, χρειάστηκε στον πηγαίο κώδικα του πυρήνα να γίνουν οι κατάλληλες αλλαγές έτσι ώστε να μπορεί κάθε διεπαφή να λειτουργεί όπως η σχεδίαση του συστήματος απαιτεί. Έτσι στην περίπτωση τόσο της κάρτας του Netgate όσο και της RG πλατφόρμας, έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις ώστε οι διεπαφές να υποστηρίζουν την επιθυμητή λειτουργικότητα (από τη σειρά των δυνατοτήτων που κάθε διεπαφή έχει).

5. Ρύθμιση των Modules που θα φορτωθούν στον βασικό πυρήνα του LINUX.

Η διαμόρφωση των λειτουργιών του πυρήνα έχει ιδιαίτερη σημασία σε ένα embedded σύστημα. Λόγω των μειωμένων δυνατοτήτων σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα, είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή επιλογή μόνο των αναγκαίων στοιχείων του πυρήνα που απαιτούνται για τη συγκεκριμένες λειτουργίες του συστήματος. Παράλληλα, ακόμα και για τα συγκεκριμένα modules η σωστή παραμετροποίηση τους είναι σημαντική για να επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρησιμοποίηση όλων των διαθέσιμων πόρων του συστήματος στις αναγκαίες λειτουργίες.

6. Μετατροπή αρχιτεκτονικής x86 – PPC.

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις, και προκειμένου να εφαρμοστεί στο σύστημα κάποια έτοιμη λειτουργικότητα / πρόγραμμα οδήγησης που έχει ήδη αναπτυχθεί στο Linux αλλά για αρχιτεκτονική x86 ήταν απαραίτητο να γίνουν αλλαγές στον κώδικα προκειμένου να ενσωματωθεί και στην PPC αρχιτεκτονική PPC. Οι αλλαγές οφείλονταν κυρίως στο διαφορετικό endianness μεταξύ των αρχιτεκτονικών x86 & PPC και αφορούσαν μεμονωμένα σημεία του κώδικα σε Low level επίπεδο. Για τη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών του Linux δεν είναι απαραίτητες τέτοιου είδους αλλαγές στον κώδικα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΑΝΑΠΤΥΞΗ &
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
Η
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
ΟΔΗΓΗΣΗΣ
ΑΤΜ.

Το Linux είναι πλέον το ευρέως προτιμώμενο λειτουργικό σύστημα σε ενσωματωμένα (embedded) συστήματα, κυρίως λόγω του ανοικτού κώδικα, της ωριμότητας, της ευρωστίας του, το μεγάλο αριθμό ελεύθερων προγραμμάτων λογισμικού που το υποστηρίζουν, το μέγεθος της κοινότητας που το αναπτύσσει καθώς και την ευελιξία που προσφέρει στην προσαρμογή των συγκεκριμένων προγραμμάτων σε οποιοδήποτε τύπο υλικού ή για την υποστήριξη εξειδικευμένων εφαρμογών [19]. Η βιομηχανία λογισμικού προσανατολίζεται όλο και περισσότερο στην υιοθέτηση του Linux για τις ανάγκες ενσωματωμένου λογισμικού, ειδικά για τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες δικτύωσης που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία και υψηλή διαθεσιμότητα.

Το ATM αποτελεί μια βασική τεχνολογία μετάδοσης στα WAN δίκτυα κορμού και πρόσβασης, ειδικά λόγω των μεγάλων επενδύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί από Τηλεπικοινωνιακές Εταιρείες (TelCos) και Παρόχους Υπηρεσιών Internet (ISPs), την υποστήριξη ευέλικτων εύρων ζώνης και εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας (Quality of service – QoS) από άποψη throughput και jitter, η οποία αποτελεί και απαραίτητη προϋπόθεση για τις υπηρεσίες πολυμέσων. Αποτελεί την κατάλληλη υποδομή για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης που επιτρέπουν γρήγορα και οικονομικά την επέκταση νέων κερδοφόρων επιχειρησιακών προτύπων αλλά και της συνολικής προσφοράς υπηρεσιών. Εντούτοις, καθώς ο υπόλοιπος δικτυακός κόσμος είναι βασισμένος στα δίκτυα IP είναι απαραίτητη η συνεργασία των 2 πρωτοκόλλων. Η μετάδοση IP μέσω του ATM αποτελεί μια διαδικασία ενθυλάκωσης, η οποία και καθορίζεται στα RFC1483 [20] και RFC1577 [21].

Οι επεξεργαστές MPC860 και MPC8260 Motorola QUICC και PowerQUICC-II αποτελούν παραδείγματα δικτυακών επεξεργαστών αρχιτεκτονικής single-chip που συνδυάζουν έναν ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή καθώς και μια πληθώρα περιφερειακών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έναν ευρύ σειρά των εφαρμογών ελεγκτών, ιδιαίτερα μέσα σε προϊόντα τηλεπικοινωνιών και δικτύωσης [22]. Ο MPC8260 αποτελεί την επόμενη γενεά του MPC860. Επιτυγχάνει πολύ πιο υψηλά επίπεδα απόδοσης, μεγαλύτερη ολοκλήρωση και καλύτερη προγραμματισιμότητα. περιφερειακών. Η ολοκλήρωση ενός PowerPC πυρήνα, και της RISC-βασισμένης μονάδας (CPM) καθώς και μια ολόκληρη σειρά από διεπαφές και λειτουργίες ελέγχου σε μια αρχιτεκτονική διπλού-επεξεργαστή παρέχει απεριόριστες δυνατότητες ανάπτυξης προϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά από συστήματα, όπως SOHO δρομολογητές, DSLAMs, routers κλπ μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο ανάπτυξης των προϊόντων. Η μονάδα CPM αναλαμβάνει τις διεργασίες των περιφερειακών διεπαφών και επιτυγχάνει την υποστήριξη πρωτοκόλλων επικοινωνιών με ιδιαίτερα υψηλό bit rate απαλλάσσοντας ταυτόχρονα τον κεντρικό πυρήνα

του επεξεργαστή από τις λειτουργίες αυτές. Ο βαθμός ολοκλήρωσης των συστημάτων που ενσωματώνουν επεξεργαστές αρχιτεκτονικής PowerQuicc II ελαττώνει σημαντικά τα επιμέρους κυκλώματα ενός συστήματος και μειώνει σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Η τεχνικές λεπτομέρειες και ο σχεδιασμός του προγράμματος οδήγησης της συσκευής ATM (device driver) για το Linux (στον πυρήνα 2.4) και την οικογένεια MPC8260, είναι βασισμένοι στον αντίστοιχο οδηγό SourceForge Linux ATM για MPC86x ESAR [23]. Και οι 2 τύποι των επεξεργαστών υποστηρίζουν ATM ρυθμούς μετάδοσης τύπου UBR και CBR, AAL0 και AAL5 καθώς επίσης και τη διεπαφή UTOPIA. Η διεπαφή ATM του MPC8260 ATM εκτός από την σημαντική αύξηση της απόδοσης σε σχέση με τους MPC86x ESAR, υποστηρίζει επιπλέον υπηρεσίες VBR πραγματικού χρόνου, καθώς επίσης και την υλοποίηση σειριακού ATM.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η ανάπτυξη του προγράμματος οδήγησης για την διεπαφή ATM στον επεξεργαστή MPC8260 καθώς και οι συνολικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να πιστοποιηθεί η λειτουργικότητα και να ελεγχθεί η αποδοτικότητα του. Θα γίνει κατ' αρχάς αναφορά στον μηχανισμό SAR που αποτελεί επέκταση του μηχανισμού SAR του επεξεργαστή MPC860, θα περιγραφούν με λεπτομέρεια οι προδιαγραφές και η διαδικασία προγραμματισμού του διαύλου UTOPIA, ενώ παράλληλα θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα ενσωματώνει στο λογισμικό Linux διαδικασίες όπως η μεταγωγή της κίνησης από το δίκτυο ATM σε δίκτυα IP.

Πέρα όμως από την καθαρά τεχνική πλευρά της ανάπτυξης ενός προγράμματος οδήγησης για το ένα Linux σύστημα, το κεφάλαιο αυτό καταδεικνύει το γεγονός ότι μέσα από ένα λειτουργικό σύστημα ανοικτού κώδικα, η δημιουργία ενός αξιόπιστου και αποδοτικού προγράμματος οδήγησης αποτελεί μια τελείως διαφορετική διαδικασία από ότι στο παρελθόν για 2 βασικούς λόγους. Πρώτον, λόγω της πληθώρας των υπαρχόντων υλοποιήσεων σε μια σειρά από προγράμματα οδήγησης, η ανάπτυξη δεν είναι απαραίτητο ότι θα ξεκινήσει από το μηδέν. Οι προγραμματιστές μπορούν να στηριχθούν σε υπάρχοντα προγράμματα και να μειώσουν κατά πολύ το χρόνο ανάπτυξης. Το πρόγραμμα οδήγησης ATM για τον επεξεργαστή MPC8260 αποτελεί παράδειγμα αυτού ακριβώς του χαρακτηριστικού του Linux. Δεύτερον, η πληθώρα των υπαρχόντων προγραμματιστών που είναι διαθέσιμοι αλλά και πρόθυμοι να βοηθήσουν, αποτελεί ένα ακόμα χαρακτηριστικό του Linux αλλά και της κοινότητας που το υποστηρίζει. Ο προγραμματιστής μπορεί και ξεπερνάει έτσι πολλές δυσκολίες, εκμεταλλευόμενος της βοήθειας και εμπειρίας που η κοινότητα του Linux του προσφέρει.

Τα προγράμματα οδήγησης Linux ATM για MPC86x ESAR και MPC8260 συμμορφώνονται με το “Linux ATM device driver Interface” [24], το οποίο και καθορίζει διεπαφή του πυρήνα μεταξύ της στοίβας του πρωτοκόλλου ATM και των προγραμμάτων οδήγησης των αντίστοιχων συσκευών και συνδυάζονται με το πακέτο “ATM on Linux distribution” [25]. Το πακέτο αυτό περιλαμβάνει τις απαραίτητες διαμορφώσεις στον κώδικα του πυρήνα για το πρωτόκολλο ATM, εργαλεία διαχείρισης και τροποποίησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης κ.ο.κ.

Τα αποτελέσματα του κεφαλαίου έχουν δημοσιευθεί στο [26]

5.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ATM.

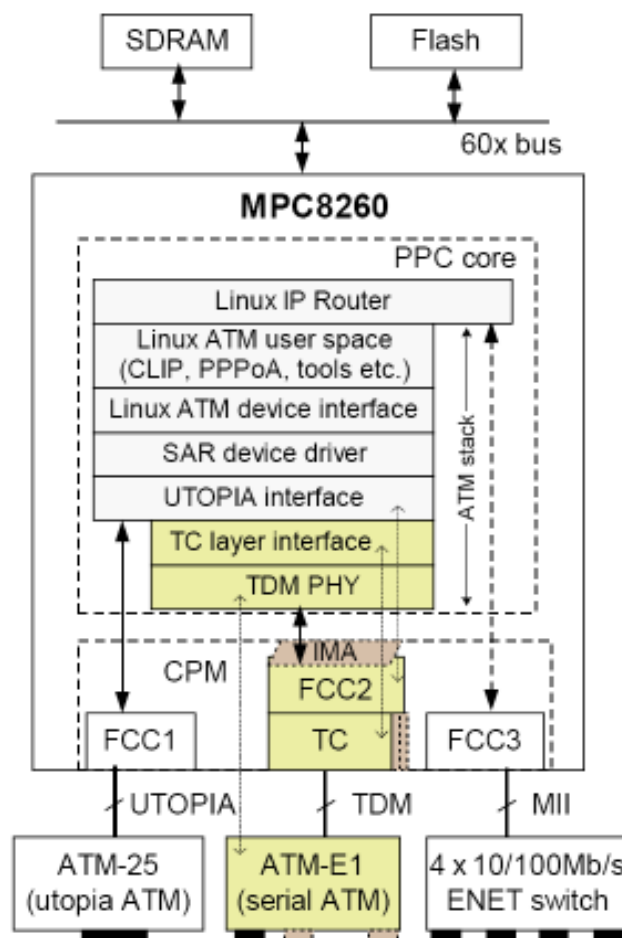
Στο Σχήμα 5-1 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική αναφοράς MPC8260 Linux ATM. Το σύστημα αναφοράς αποτελείται από τον επεξεργαστή MPC8264 και περιλαμβάνει μια διεπαφή UTOPIA ATM, μια WAN διεπαφή ATM T1/E1 μέσω του υποστρώματος σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence layer) και μια διεπαφή γρήγορου Ethernet πολλαπλών θυρών. Οι 3 αυτές διεπαφές συνδέονται με την μονάδα CPM μέσω των περιφερειακών FCC1, FCC2 και FCC3 αντίστοιχα.

Προκειμένου να είναι εφικτή η υλοποίηση του προγράμματος οδήγησης του ελεγκτή ATM, είναι απαραίτητη η κατανόηση των λειτουργικών διαδικασιών για τη μετάδοση και την λήψη καθώς και των διάφορων δομών δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση και τη λειτουργία της διεπαφής ATM. Η υλοποίηση της σειριακής διεπαφής ATM (serial ATM) και η εφαρμογή T1/E1 [27] είναι δευτερογενείς υλοποιήσεις που απαιτούν ύπαρξη του ATM SAR και των υποσυστημάτων UTOPIA. Η αρχιτεκτονική μπορεί να υποστηρίξει τις εφαρμογές DSL και Inverse Multiplexing over ATM πάνω από πολλαπλές T1/E1 διεπαφές.

Το «Linux ATM Device interface» αποτελείται από ένα σύνολο κοινών δομών δεδομένων και συμβάσεων για υπηρεσίες ATM σε συστήματα Linux. Με τον όρο «Linux ATM user space» αναφέρεται οποιαδήποτε εφαρμογή χρησιμοποιεί τη συσκευή του ATM, όπως π.χ. μια εφαρμογή που μεταφέρει δεδομένα IP πάνω από το ATM.

Ο «SAR device driver» είναι αρμόδιος για τον έλεγχο της διαδικασίας κατάτμησης και επανασυναρμολόγησης (Segmentation And Reassembly) τη λειτουργία διαμόρφωσης της κυκλοφορίας (Traffics Shaping) που πραγματοποιείται απ’ ευθείας στο υλικό, τη σωστή κατανομή των πόρων και το συντονισμό με το πρωτόκολλο. Μπορεί να λειτουργήσει τόσο πάνω από τον δίαυλο UTOPIA όσο και πάνω από σειριακό ATM. Η διεπαφή σειριακού ATM μπορεί μόνο να συνδεθεί με το μηχανισμό SAR μέσω της διεπαφής UTOPIA FCC2. Τα επίπεδα SAR και PHY εμφανίζονται σε διαφορετικές και όχι σε μια ενιαία οντότητα

επειδή πολλαπλά διαφορετικά ολοκληρωμένα φυσικού στρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το ίδιο SAR. Ο πυρήνας είναι σε θέση δρομολογεί την κίνηση IP μεταξύ των υποστηριζόμενων διεπαφών που διασύνδεει μέσω του υποσυστήματος IP router, που ενσωματώνει και το οποίο είναι μια διαδικασία που τρέχει αυτόνομα στον κεντρικό πυρήνα του επεξεργαστή.

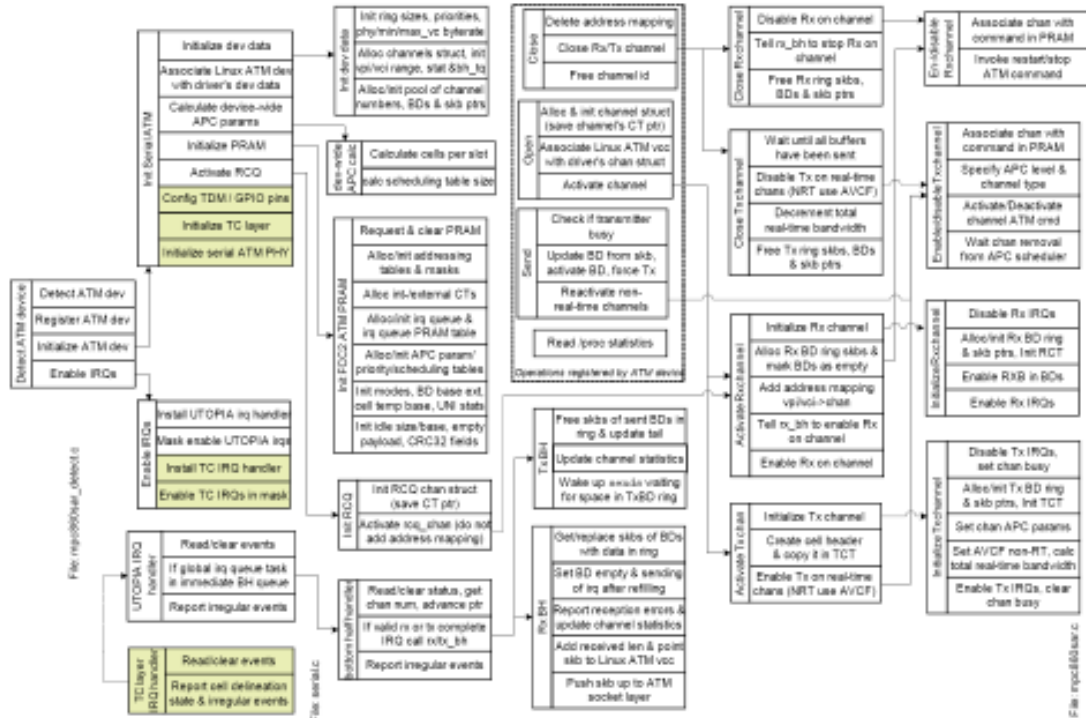


Σχήμα 5-1: Σχηματική περιγραφή λογισμικού διεπαφής ATM.

Στο Σχήμα 5-2 παρουσιάζεται συνοπτικά η αρχιτεκτονική του ATM driver. Στο σχήμα αναφέρονται οι διαδικασίες ρυθμίσεων και λειτουργίας για τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων καθώς και ο μηχανισμός ρυθμίσεων των απαιτούμενων δομών δεδομένων όπως οι πίνακες διευθυνσιοδότησης και συνδέσεων (addressing and connection tables) οι ουρές των σημάτων διακοπής προς τον κεντρικό επεξεργαστή, οι παράμετροι ATM pace control, οι πίνακες προτεραιότητας και χρονικού προγραμματισμού - scheduling. Παρουσιάζεται επίσης και ο τρόπος με τον οποίο το πρόγραμμα οδήγησης διασυνδέεται με τις δομές δεδομένων και τις συναρτήσεις του υποστρώματος Linux ATM του πυρήνα.

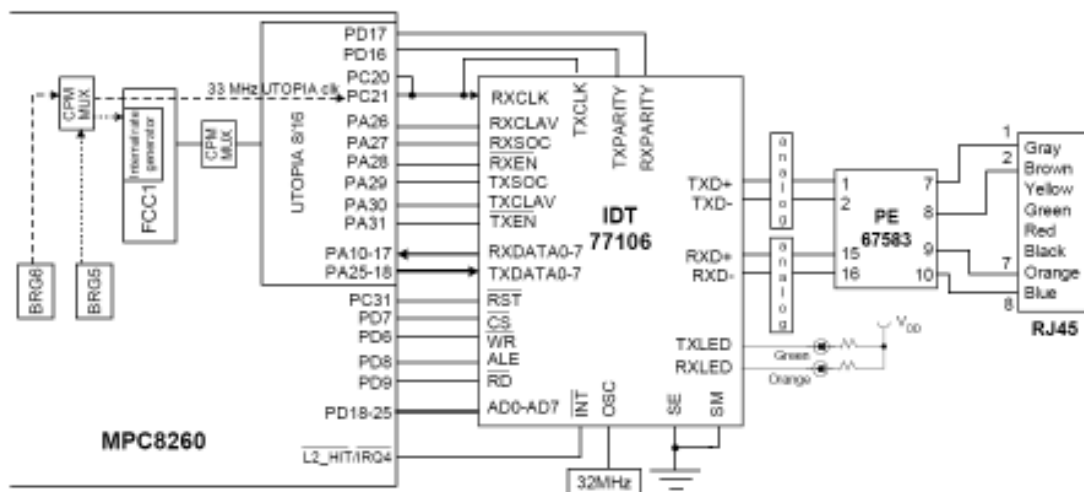
Όσον αφορά στη εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος, ιδιαίτερη σημασία έχει ο μηχανισμός διαχείρισης των διακοπών προς τον κεντρικό επεξεργαστή (Interrupt Handling)

τόσο για τη λήψη όσο και για τη μετάδοση των πακέτων καθώς και η διαχείριση των buffers μετάδοσης και λήψης αντίστοιχα. Οι υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης είναι UBR, CBR, VBR-rt και VBR-nrt.

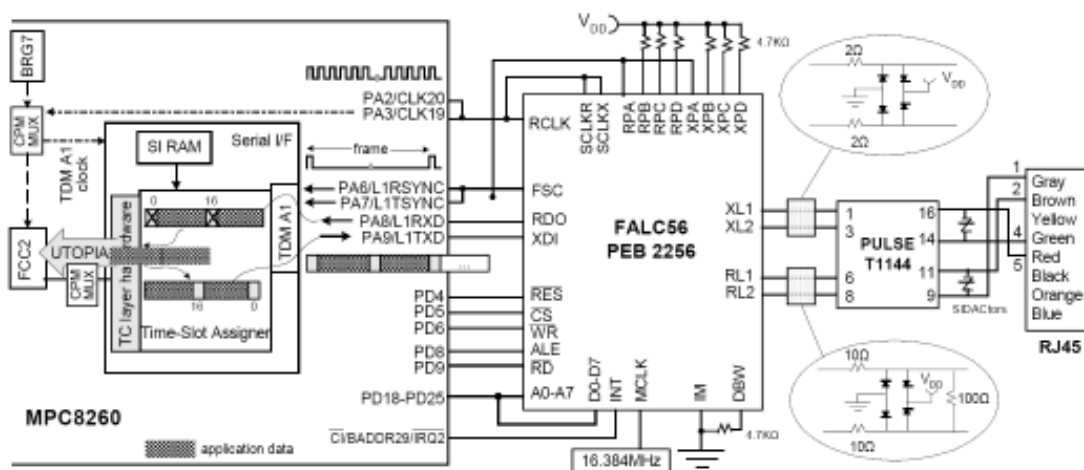


Σχήμα 5-2: Αρχιτεκτονική προγράμματος οδήγησης διεπαφής ATM.

Στο Σχήμα 5-3 και στο Σχήμα 5-4 παρουσιάζονται η διασύνδεση του ATM25 και του E1 με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που διασυνδέουν τον μικροεπεξεργαστή και συγκεκριμένα τη μονάδα CPM με το φυσικό δίκτυο. Στα 2 αυτά σχήματα παρουσιάζονται οι ακροδέκτες CPM που διασυνδέονται καθώς και οι ρυθμίσεις για το χρονοισμό και τη διαχείριση των διεπαφών.



Σχήμα 5-3: Διάγραμμα διασύνδεσης της διεπαφής ATM 25.



Σχήμα 5-4: Διάγραμμα διασύνδεσης της διεπαφής σειριακού E1 ATM.

5.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΥΛΟΥ ΥΤΟΡΙΑ.

Η απόδοση της διεπαφής ATM εκτιμήθηκε για 2 διαφορετικές ρυθμίσεις του συστήματος αναφοράς, όσον αφορά στην ταχύτητα λειτουργίας των εσωτερικών υποσυστημάτων. Έτσι παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ταχύτητες CPU/CPM/Bus clock speed 166/133/33 MHz και 300/200/66 MHz. Η απόδοση ATM του συστήματος αναφοράς, προκειμένου να υπάρχει μια συνολική εικόνα της, αντιπαραβάλλεται τόσο με το θεωρητικό μέγιστο που η διεπαφή ATM μπορεί να υποστηρίξει, όσο και με την απόδοση ATM ενός συστήματος Pentium III 667/133 MHz Desktop PC το οποίο και είναι εφοδιασμένο με μια κάρτα PCI ForeRunner LE ATM-25. Για τον υπολογισμό της απόδοσης της δρομολόγησης της κίνησης σε επίπεδο 3 (IP επίπεδο) χρησιμοποιήθηκε το

σύστημα Smartbits 2000 Performance Analyzer το οποίο είναι εφοδιασμένο με κάρτες ML-7110 καθώς και τα προγράμματα SmartWindows και SmartApplications Ver. 2.54 [28]. Το σύστημα Smartbits αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και αξιόπιστα συστήματα μέτρησης επιδόσεων δικτυακού εξοπλισμού. Για τις μετρήσεις σε επίπεδο 3, η διαδικασία των μετρήσεων είναι σε απόλυτη συμφωνία με τις προδιαγραφές RFC1242 [29] & RFC2544 [30].

Λόγω της πλεονάζουσας πληροφορίας των ATM cells, η αποστολή N-bytes από το επίπεδο εφαρμογής, απαιτεί τη συνολική μετάδοση πάνω από το φυσικό μέσο τουλάχιστον

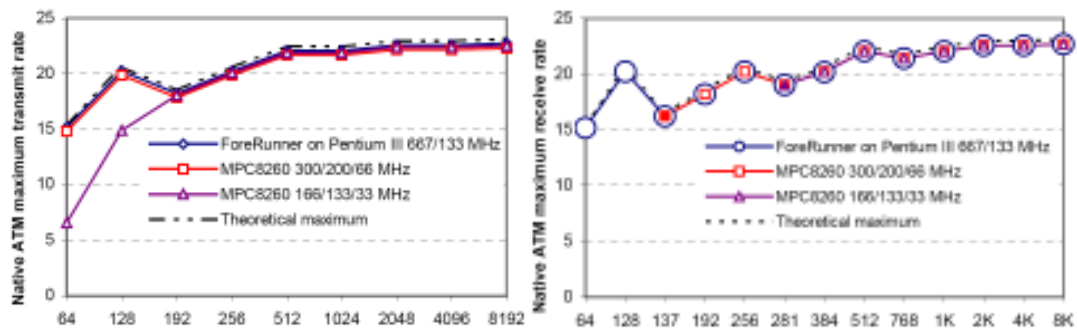
$$\frac{53 \cdot (N + 8)}{48} \text{ bytes}$$

Επομένως, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που το επίπεδο εφαρμογής μπορεί να επιτύχει κατά την δρομολόγηση κίνησης πάνω από μια διεπαφή ATM 25 είναι περιορισμένη από το μέγιστο:

$$\frac{25.6 \cdot N}{53 \cdot (N + 8)} \text{ Mbps}$$

Για καθένα από τα επιμέρους tests ο χρόνος διάρκειας ήταν 60 δευτερόλεπτα. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η μετάδοσης κίνησης με σταθερό φορτίο για διαφορετικά μεγέθη των μεταδιδόμενων IP πακέτων. Στον πραγματικό δικτυακό κόσμο, η μετάδοση κίνησης με σταθερό μέγεθος και ρυθμό είναι μια μη ρεαλιστική κατάσταση. Παρ' όλα αυτά προκειμένου η αξιολόγηση της απόδοσης να γίνει με συστηματικό τρόπο και να εξαχθούν εύκολα συγκρίσιμα αποτελέσματα μεταξύ διαφορετικών τύπων εξοπλισμού, η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη σε εργαστηριακό επίπεδο.

Στα υπό εξέταση συστήματα, οι επιπλέον διεργασίες που το λειτουργικό πραγματοποιεί έχουν περιοριστεί στο ελάχιστο και αφορούν μόνο στις εφαρμογές που πρέπει να τρέχουν προκειμένου να είναι δυνατή η δρομολόγηση των πακέτων αλλά και η καταγραφή των αποτελεσμάτων. Τέτοια είναι τα προγράμματα sh, inetd, syslogd και klogd.



Σχήμα 5-5: Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης και λήψης μηδενικής απώλειας για το πρόγραμμα οδήγησης ATM-25.

Στο Σχήμα 5-5 παρουσιάζονται οι αποδόσεις του ATM πομπού και δέκτη σε συνάρτηση με το συνολικό φάσμα των μεγεθών πακέτων AAL 5. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες σταθερού φορτίου κίνησης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα Pentium III 667/133 MHz PC με λειτουργικό Linux 2.4.18 ενώ για τη διασύνδεση του πυρήνα με το ATM χρησιμοποιείται η εφαρμογή Linux-atm-4.1. Η κάρτα PCI που χρησιμοποιήθηκε για το ATM είναι η ForeRunner LE ATM-25. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις και να μετρηθεί η απόδοση της διεπαφής, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή TTCP για την δημιουργία και τη μετάδοση των πακέτων AAL5.

Όσον αφορά τώρα στο σύστημα αναφοράς με τον επεξεργαστή MPC8260 ρυθμισμένο στις συχνότητες λειτουργίας 300/200/66 MHz, παρατηρούμε ότι για όλο το εύρος των δυνατών μεγεθών πακέτων, το σύστημα μπορεί και μεταδίδει αλλά και λαμβάνει ATM κίνηση που ταυτίζεται με το θεωρητικό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης του ATM. Στο σύστημα αναφοράς και στις συχνότητες λειτουργίας 166/133/33 MHz η απόδοση του συστήματος ταυτίζεται και πάλι με το θεωρητικό μέγιστο για τα μεγέθη πακέτου 192 bytes και πάνω. Για πακέτα μικρότερου μεγέθους, το σύστημα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στον υψηλό ρυθμό των διακοπών προς τον επεξεργαστή. Ο μέγιστος αριθμός διακοπών εξυπηρέτησης εξερχόμενης κίνησης που το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει στις ρυθμίσεις 166/133/33 MHz είναι 13489 interrupts/sec. Ο αριθμός των διακοπών αυξάνεται σημαντικά στις 30327 interrupts/sec για τις ρυθμίσεις συστήματος 300/200/66 MHz.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μετάδοση, ο πομπός χρησιμοποιεί ένα δακτύλιο από buffers. Το μέγεθος του δακτυλίου αυτού (Transmitter Buffer Descriptor Ring) επηρεάζει άμεσα την απόδοση της μετάδοσης. Όσο μικρότερος είναι ο δακτύλιος, τόσο μικρότερος είναι και ο διαθέσιμος χρόνος που η εφαρμογή διαχείρισης των διακοπών προκειμένου να ελευθερώσει τους buffers που ήδη έχουν μεταδοθεί και να αδειάσει το δακτύλιο. Παράλληλα το ελάχιστο μέγεθος πακέτου κάτω από το οποίο η διεπαφή ATM μπορεί να μεταδώσει τα πακέτα (σε μετάδοση πακέτων υπό σταθερό ρυθμό) χωρίς να υπερχειλίσει ο δακτύλιος αυξάνεται. Στο σημείο αυτό υπάρχει ένα φαινομενικό παράδοξο: το ότι δηλαδή το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί από πλευράς χειρισμού των διακοπών το σταθερό φορτίο πακέτων μικρού μεγέθους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι κατά τη διάρκεια του χειρισμού μιας διακοπής, το πρόγραμμα διαχείρισης των διακοπών σαρώνει περισσότερες από μια φορές τον δακτύλιο με αποτέλεσμα να μπορεί να ελευθερώνει μεγάλο αριθμό buffers προτού ο δακτύλιος καταστεί πλήρης.

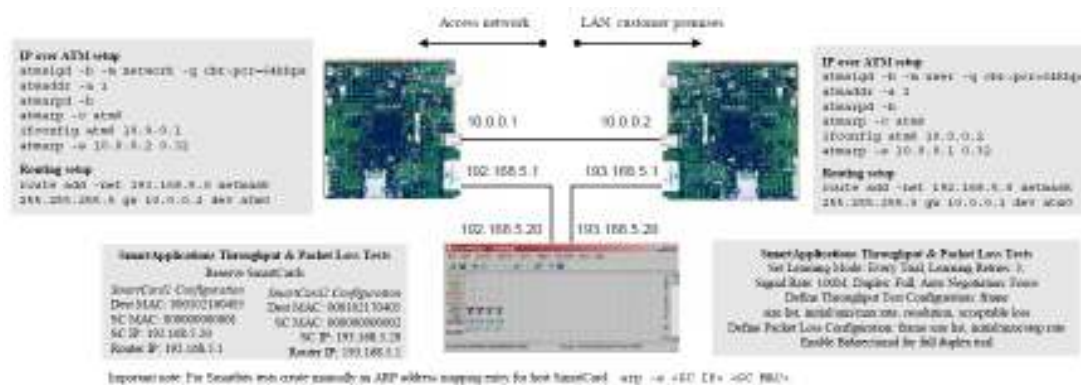
Το σύστημα αναφοράς στις ρυθμίσεις 300/200/66 MHz και για την λήψη τηλεπικοινωνιακής κίνησης από την διεπαφή ATM επιτυγχάνει ταχύτητες οι οποίες και

ταυτίζονται με το θεωρητικό μέγιστο που το ATM μπορεί να υποστηρίξει για μεγέθη πακέτων μεγαλύτερα από 136 bytes. Στην ρύθμιση 166/133/33 το σύστημα μπορεί να αντεπεξέλθει στο θεωρητικό μέγιστο μόνο για πακέτα με μέγεθος μεγαλύτερο από 280 bytes. Κάτω από τα όρια αυτά ο δέκτης ATM δεν μπορεί να ανταποκριθεί στο ρυθμό που επιτυγχάνει ο πομπός του ATM και μάλιστα, ανεξάρτητα από το μέγεθος του δακτυλίου εξυπηρέτησης της εισερχόμενης κίνησης. Ο μέγιστος αριθμός διακοπών εξυπηρέτησης εισερχόμενης κίνησης που το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει στις ρυθμίσεις 166/133/33 MHz είναι 8877 interrupts/sec. Ο αριθμός των διακοπών αυξάνεται σημαντικά στις 15535 interrupts/sec για τις ρυθμίσεις συστήματος 300/200/66 MHz. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε μέγεθος δακτυλίου εισερχόμενης κίνησης 256 , μέγεθος δακτυλίου εξερχόμενης κίνησης 256 ενώ η ουρά εξυπηρέτησης των διακοπών για τη διεπαφή ATM είχε μέγεθος 1024.

5.2.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΠΑΚΕΤΩΝ IP.

Στο Σχήμα 5-6 παρουσιάζεται η τοπολογία που χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιηθούν τα πειράματα αξιολόγησης της απόδοσης της διεπαφής κατά τη δρομολόγηση των πακέτων IP. Η δρομολόγηση πραγματοποιείται μεταξύ 2 ομοίων συστημάτων αναφοράς, τα οποία και συνδέονται μέσω της διεπαφής ATM. Τα συστήματα εν συνεχεία συνδέονται μέσω της διεπαφής Fast Ethernet στο σύστημα SmartBits προκειμένου να μετρηθεί η συνολική απόδοση δρομολόγησης. Η διασύνδεση ATM μεταξύ των 2 συστημάτων πραγματοποιείται πάνω από μια μοναδική σύνδεση UBR που έχει εγκατασταθεί μεταξύ τους. Μέσω του συστήματος SmartBits πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την επίδοση δρομολόγησης, τόσο μέσω της μεθόδου της απώλειας πακέτων (packet loss) όσο και μέσω της μεθόδου throughput. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν τα tests, το SmartBits παράγει κίνηση μέσω της θύρας του No 1 και την προωθεί προς τα υπό δοκιμή συστήματα A και B. Αυτά μέσω των διεπαφών τους Fast Ethernet αλλά και της ενδιάμεσης διασύνδεσης τους με τη διεπαφή ATM προωθούν τελικά τα πακέτα προς την πόρτα No 2 του SmartBits και αντίστροφα για την πραγματοποίηση και των tests διπλής κατεύθυνσης. Το σύστημα A παραλαμβάνει τα πακέτα από τη διεπαφή του Ethernet και την προωθεί μέσω της ATM διεπαφής προς το σύστημα B. Αυτό με τη σειρά του παραλαμβάνει την IP κίνηση και μέσω της Fast Ethernet διεπαφής προωθεί την κίνηση προς το SmartBits και συγκεκριμένα την πόρτα No 2. Η διαδικασία δρομολόγησης των πακέτων είναι μια εσωτερική διαδικασία του λειτουργικού συστήματος. Προκειμένου η σηματοδότηση του ATM να πραγματοποιείται χωρίς πρόβλημα καθ' όλη τη διάρκεια των

τεστ, ορίστηκε ένα ATM κανάλι CBR με μικρό εύρος ζώνης προκειμένου να την εξυπηρετήσει. Μια τέτοια ρύθμιση θεωρήθηκε αναγκαία προκειμένου η ροή των πειραμάτων να μην υπόκειται σε τυχαίες και συνεχείς διακοπές λόγω της σηματοδοσίας.



Σχήμα 5-6 : Διασύνδεση συστημάτων για την πραγματοποίηση πειραματικών μετρήσεων απόδοσης.

Ένα Ethernet πακέτο μπορεί να μεταφερθεί πάνω από το AAL5 μέσω ενός πακέτου S-10 αφαιρώντας τα 18 bytes της MAC διεύθυνσης αποστολέα και παραλήπτη, τα πεδία type/length καθώς και το πεδίο ελέγχου σωστής μετάδοσης (CRC). Για τη μετάδοση όμως πάνω από το ATM είναι απαραίτητη η προσθήκη 8 bytes για την επικεφαλίδα ενθυλάκωσης LLC/SNAP του πρωτοκόλλου CLIP (RFC 1483). Τα μεταδιδόμενα IP δεδομένα καταφθάνουν με τον τρόπο αυτό με ρυθμό μετάδοσης στο επίπεδο 3 της συσκευής

$$\frac{G \cdot (S - 10)}{S} \text{ Mbps,}$$

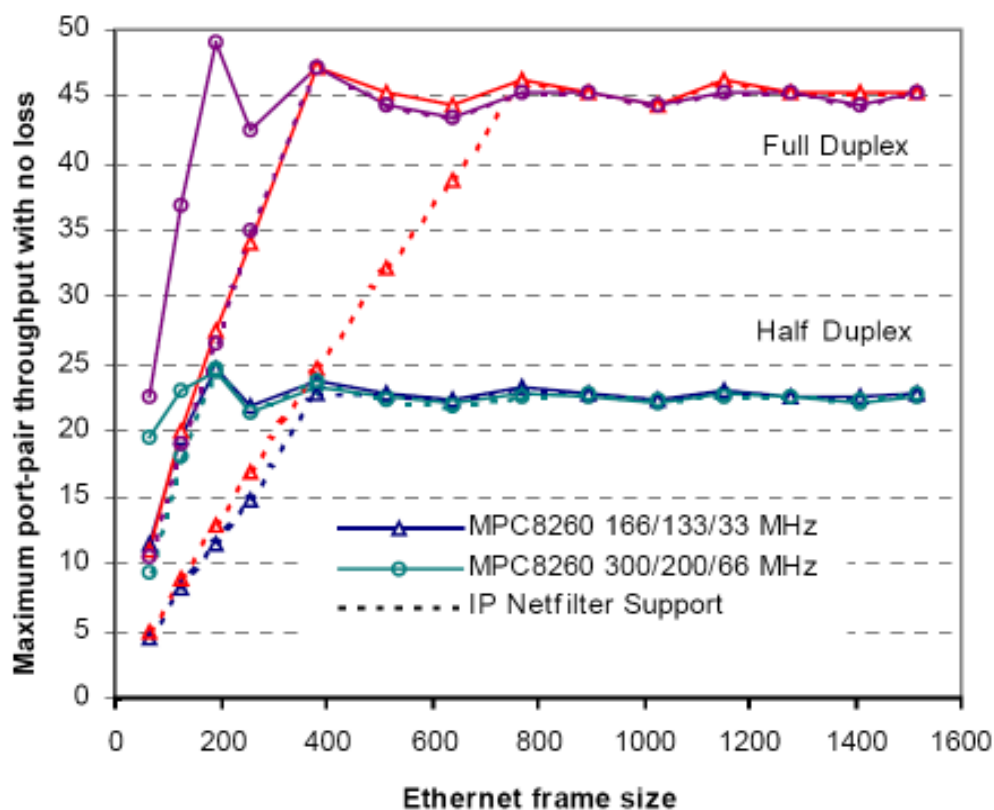
όπου G είναι ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων από το SmartBits.

Στο Σχήμα 5-7 παρουσιάζονται συνολικά η επιδόσεις του συστήματος όσον αφορά στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης μηδενικής απώλειας (Maximum throughput with zero packet loss). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω του ATM αλλά και του Fast Ethernet όπως αναλύθηκε και παραπάνω σε συνθήκες σταθερού φορτίου και αφορούν τόσο μετρήσεις μετάδοσης μιας κατεύθυνσης (half duplex) αλλά και σε αμφίδρομη μετάδοση (full duplex). Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται για κάθε διαφορετικό μέγεθος πακέτου αποτελούν το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για τον οποίο όλα τα μεταδιδόμενα πακέτα φθάνουν επιτυχώς προς τον προορισμό τους. Καθώς η απώλεια ενός και μόνο πακέτου από ένα data stream μπορεί να επιφέρει σημαντικές καθυστερήσεις στα υψηλότερα επίπεδα χειρισμού της κίνησης, το μέτρο του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης μηδενικών απωλειών, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τις δυνατότητες του συστήματος. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, είναι προφανές ότι το σύστημα που λειτουργεί στις συχνότητες 300/200/66 MHz έχει πολύ υψηλότερες δυνατότητες στο χειρισμό πακέτων μικρού μεγέθους. Αυτό αποτελεί από μόνο του ένα πολύ ενδιαφέρον σημείο καθώς στο σύνολο των WAN δικτύων,

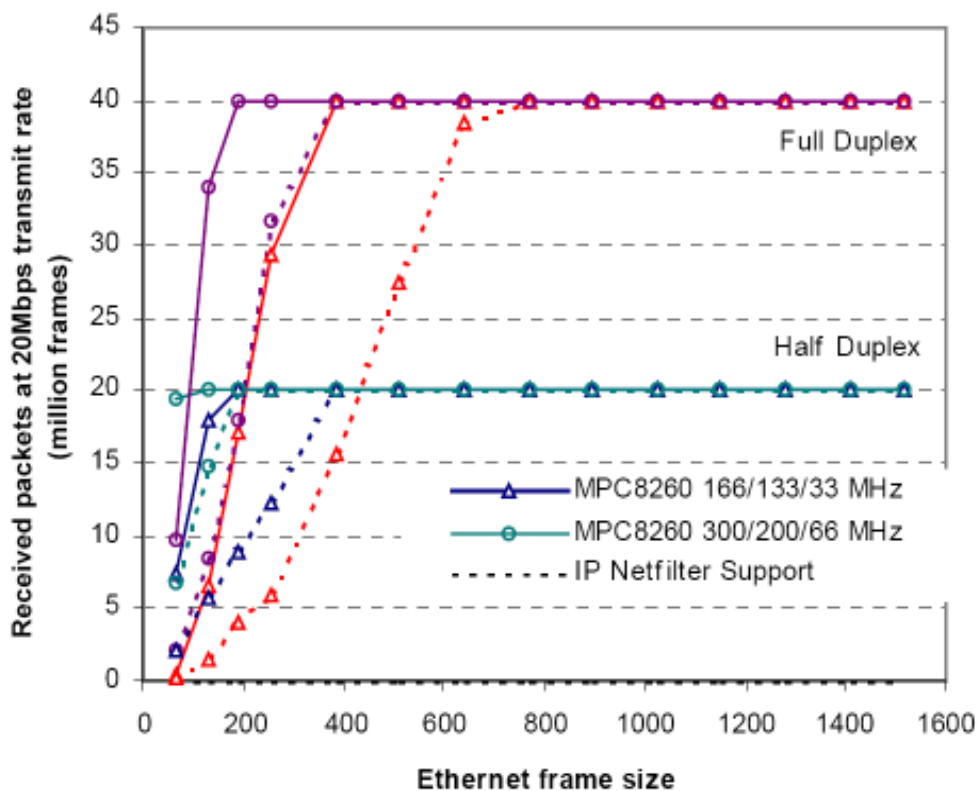
τα πακέτα με μικρό μέγεθος αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των πακέτων. Το μέσο μέγεθος πακέτου στα δίκτυα WAN είναι περί τα 250 bytes. Η δυνατότητα επομένως ενός συστήματος με καθήκοντα δρομολόγησης να μεταδίδει σε υψηλούς ρυθμούς και χωρίς απώλειες πακέτα μικρού μεγέθους, απόκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς μπορεί να επηρεάσει τη συνολική δυνατότητα δρομολόγησης του δικτύου.

Πέρα από τα αποτελέσματα αυτά, παρουσιάζονται επίσης και τα αποτελέσματα της δρομολόγησης ενώ παράλληλα το σύστημα εκτελεί και τις επιπλέον διαδικασίες NetFiltering και QoS. Οι δυνατότητες αυτές αποτελούν κομμάτι του λειτουργικού, αλλά λόγω της σπονδυλωτής μορφής του μπορούν εναλλακτικά να αποτελούν κομμάτι του πυρήνα. Οι επιπλέον λειτουργίες που το σύστημα καλείται να εκτελέσει οφείλονται κυρίως στο module ConnTrack (Connection Tracking). Το module αυτό καταχωρεί τις ήδη εγκατεστημένες συνδέσεις σε επίπεδο IP και ελέγχει τα πακέτα της κίνησης που διέρχονται του συστήματος προκειμένου να αποφασίσει αν αποτελούν πακέτα μιας ήδη εγκατεστημένης σύνδεσης. Η λειτουργία του ConnTrack είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις όπου ο πυρήνας χρησιμοποιεί NAT (masquerading, port forwarding) ή packet filtering (πχ για firewall). Η απόδοση του συστήματος πέφτει κατά 50 % περίπου για τα μικρά πακέτα.

Στο Σχήμα 5-8 παρουσιάζονται επίσης τα αποτελέσματα για τις μετρήσεις απόδοσης απώλειας πακέτων. Στις μετρήσεις αυτές, το σύστημα καλείται να δρομολογήσει κίνηση με μέγιστη ταχύτητα σε διάφορα μεγέθη πακέτων. Στην περίπτωση αυτή μετριέται το ποσοστό των πακέτων που επιτυγχάνουν να μεταδοθούν σε σχέση με τον αριθμό των πακέτων που θα έπρεπε να μεταδοθούν. Η απόρριψη των πακέτων οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα δεν μπορεί να δρομολογήσει το σύνολο της κίνησης λόγω περιορισμένων δυνατοτήτων. Οι μετρήσεις της μορφής αυτής, αποτελούν ένα πολύ καλό μέτρο της συμπεριφοράς του συστήματος σε συνθήκες σταθερά υψηλού φορτίου, όπως είναι και οι συνθήκες που το σύστημα πρόκειται να συναντήσει υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Από το σχήμα παρατηρούμε ότι το σύστημα στην ρύθμιση των 33MHz παρουσιάζει χαμηλή απόδοση για μικρά πακέτα σε μετάδοση Full Duplex.



Σχήμα 5-7 : Μέγιστη επίδοση δρομολόγησης μονόδρομης & αμφίδρομης κίνησης για το πρόγραμμα οδήγησης ATM 25.



Σχήμα 5-8 : Μέτρηση απώλειας πακέτων μονόδρομης & αμφίδρομης κίνησης για το πρόγραμμα οδήγησης ATM 25.

5.2.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΑΤΜ.

Όσον αφορά στην διεπαφή σειριακού ΑΤΜ μετά την ανάπτυξη του προγράμματος οδήγησης, έγιναν τεστ διαλειτουργικότητας της διεπαφής με συστήματα CISCO 7200 Router [31] και LUCENT PSAX PACKETSTAR 1250 [32]. Σε όλα αυτά τα τεστ έγιναν οι απαραίτητοι έλεγχοι προκειμένου να διαπιστωθεί αν η λειτουργία της διεπαφής είναι συμβατή με τις προδιαγραφές τις οποίες οι δυο αυτές συσκευές ακολουθούν. Όλα τα τεστ ήταν επιτυχή. Όσον αφορά στην απόδοση του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν πάλι 2 διαφορετικές διαμορφώσεις του όσον αφορά στη συχνότητα λειτουργίας: 166/133/33 MHz και 300/200/66 MHz. Στο σύστημα αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 2.4.20 του πυρήνα του Linux. Επιπλέον και προκειμένου να ελεγχθούν ακόμα περισσότερο οι δυνατότητες του συστήματος, οι επιλογές για IP filtering και QoS Support συμπεριελήφθησαν στον πυρήνα του Linux. Όπως και στην περίπτωση της διεπαφής ΑΤΜ 25, οι μετρήσεις της απόδοσης έγιναν με τη βοήθεια του συστήματος SmartBits. Λόγω της απ' ευθείας μετατροπής των ΑΤΜ cells σε E1 transmission slots, οι οποίες δεν μπορούν να συμπεριλάβουν της θυρίδες 0 και 16, το μέγιστο της απόδοσης περιορίζεται στα

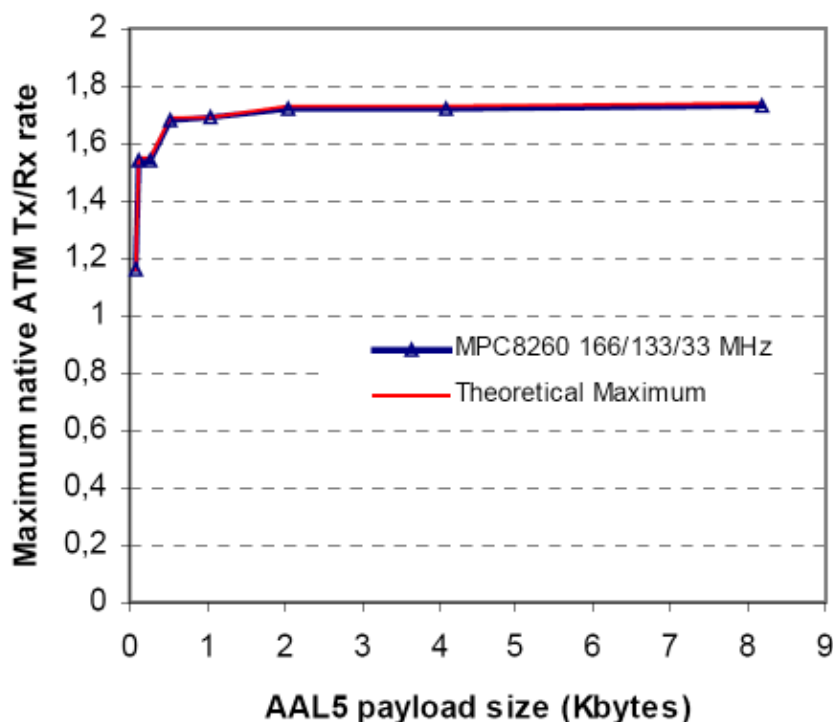
$$\frac{2.048 \cdot \frac{30}{32} \cdot N}{53 \cdot \frac{[N+8]}{48}} \text{ Mbps}$$

Η διάρκεια των δοκιμών ήταν για κάθε διαφορετικό μέγεθος πακέτου 60 sec. Σε όλες τις περιπτώσεις πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις υπό σταθερό φορτίο ενώ οι λειτουργίες του συστήματος περιορίστηκαν στις απολύτως απαραίτητες προκειμένου να είναι δυνατή η πραγματοποίηση των δοκιμών.

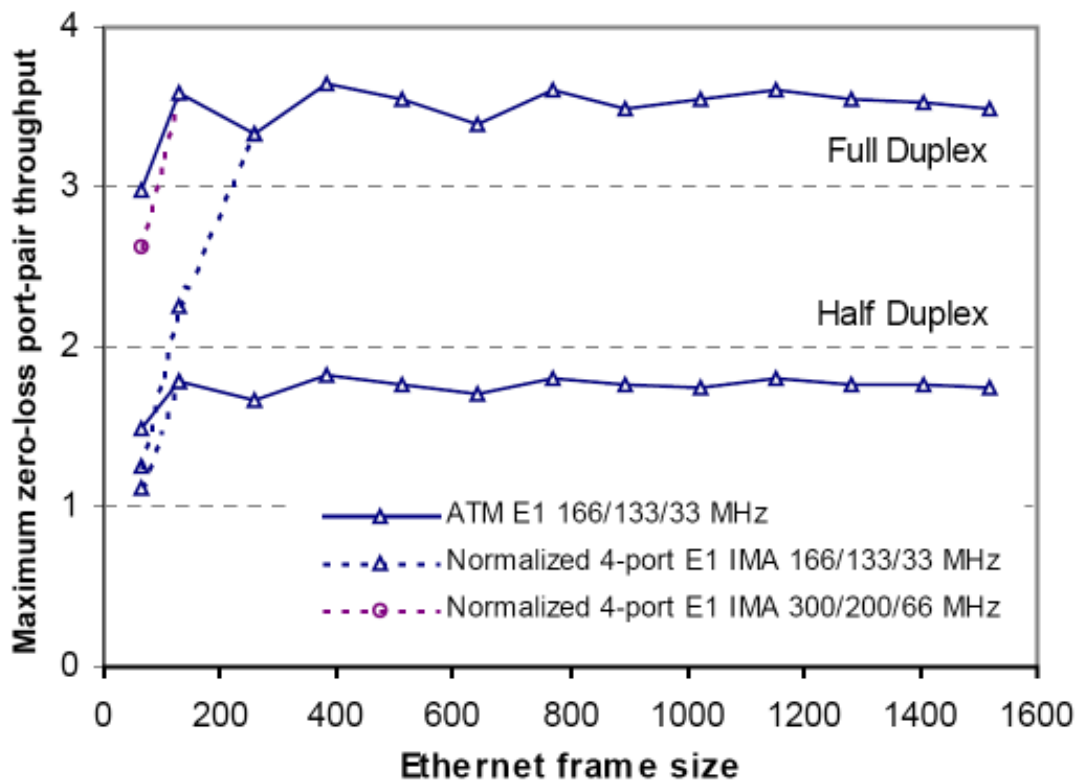
Στο Σχήμα 5-9 παρουσιάζεται η απόδοση του πομπού και του δέκτη ΑΤΜ για ολόκληρο το φάσμα των μεγεθών πακέτου AAL5 υπό σταθερό φορτίο κίνησης. Μέσω της εφαρμογής ΤΤCΡ έγιναν οι μετρήσεις αποστολής και λήψης ΑΤΜ AAL5 κίνησης. Για ολόκληρο το φάσμα των μεγεθών πακέτου, το σύστημα μπορεί και δρομολογεί κίνηση που ταυτίζεται με το θεωρητικό μέγιστο. Οι πολύ μικρές διαφορές απόκλισης που παρατηρούνται μεταξύ της απόδοσης του συστήματος και των μέγιστων θεωρητικών τιμών, οφείλονται σε μικρές διαφορές στο ρολόι χρονισμού του ΑΤΜ. Από τα αποτελέσματα φαίνεται επίσης ότι το σύστημα είναι σε θέση να ανταποκριθεί με επιτυχία στο μέγιστο ρυθμό εξυπηρέτησης των διακοπών προς τον επεξεργαστή ακόμα και στη χαμηλή ρύθμιση των συχνοτήτων λειτουργίας και για το ελάχιστο μέγεθος πακέτου των 64 bytes. Το θεωρητικό μέγιστο του ρυθμού εξυπηρέτησης διακοπών για το πρόγραμμα οδήγησης ΑΤΜ

Ε1 είναι 2264 διακοπές/sec τόσο στην κατεύθυνση αποστολής όσο και λήψης. Οι κυκλικοί δακτύλιοι Tx / Rx BD που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών έχουν μέγεθος 512/32 αντίστοιχα, ενώ το μέγεθος της ουράς εξυπηρέτησης των διακοπών είναι 512.

Στο Σχήμα 5-10 παρουσιάζεται το μέγιστο throughput που το σύστημα επιτυγχάνει σε σχέση με ολόκληρο το φάσμα των μεγθών πακέτου που το AAL5 επίπεδο μπορεί να υποστηρίξει, υπό σταθερό φορτίο σε ρυθμίσεις half duplex & full duplex. Η εφαρμογή SmartBits ρυθμίστηκε με βήμα 0.05 Mbps για την εκτέλεση των δοκιμών. Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι ακόμα και με το σύστημα ρυθμισμένο σε συχνότητες 166/133/33 MHz και με τις λειτουργίες IP filtering και QoS ενεργοποιημένες στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος, η απόδοση δρομολόγησης ταυτίζεται με το θεωρητικό μέγιστο στις περιπτώσεις half και full duplex.



Σχήμα 5-9 : Μέγιστη επίδοση δρομολόγησης μονόδρομης & αμφίδρομης κίνησης για το πρόγραμμα οδήγησης serial ATM.



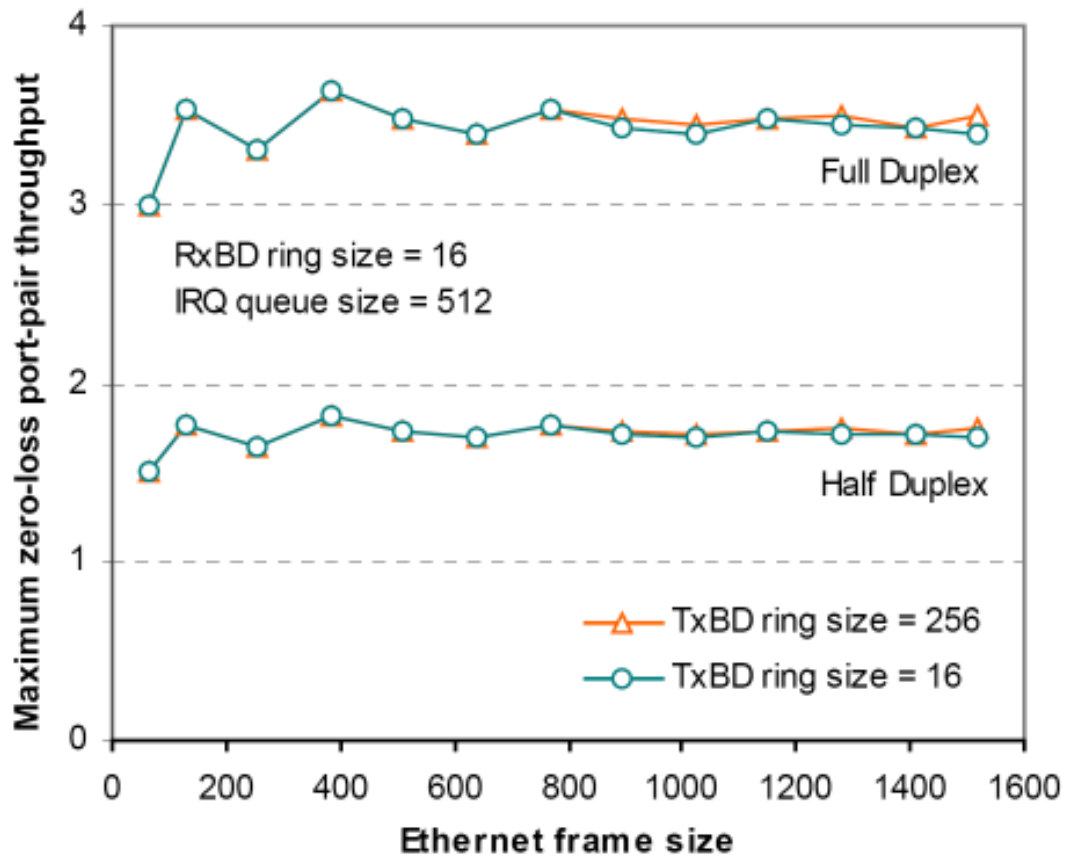
Σχήμα 5-10 : Μέτρηση απώλειας πακέτων μονόδρομης & αμφίδρομης κίνησης για το πρόγραμμα οδήγησης serial ATM.

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της απόδοσης για τη διεπαφή ATM 25 όσον αφορά στο μέγιστο αριθμό των διακοπών που το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται τόσο από το πρόγραμμα οδήγησης αλλά και από το μηχανισμό χειρισμού του πρωτοκόλλου ATM που υλοποιείται στο λειτουργικό σύστημα. Ο μέγιστος αριθμός των διακοπών που το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει στη διεπαφή ATM 25 κατά την αποστολή και λήψη κίνησης είναι 12864 και 8466 διακοπές/sec στη ρύθμιση 166/133/33 MHz ενώ στη ρύθμιση 200/300/66 MHz η απόδοση αυξάνεται σημαντικά και φτάνει τις 28922 και 14815 διακοπές/sec. Επειδή οι ίδιοι ακριβώς μηχανισμοί είναι αυτοί που εξυπηρετούν την κίνηση και στην περίπτωση του σειριακού ATM μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα παραπάνω αποτελέσματα αποκαλύπτουν την απόδοση του συστήματος για το σειριακό ATM πολλαπλών πορτών. Στο Σχήμα 5- παρουσιάζεται επίσης η επίδοση δρομολόγησης του συστήματος για την περίπτωση των 4-port IMA E1. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι κανονικοποιημένα ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση με τα αποτελέσματα της απλής διεπαφής E1. Για τη ρύθμιση του συστήματος στα 300/200/66 MHz δεν παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα. Το σύστημα μπορεί εύκολα να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για τη διαχείριση των διακοπών. Η υπολογιζόμενη χωρητικότητα του συστήματος για την 4-πλή περίπτωση, στη ρύθμιση

166/133/33 MHz και για την περίπτωση της ειπομπής κίνησης δείχνει ότι το σύστημα θα μπορεί αν ανταποκριθεί στο θεωρητικό μέγιστο ακόμα και για το ελάχιστο μέγεθος των πακέτων. Ο ίδιος ισχυρισμός είναι αληθής και για την περίπτωση της λήψης πακέτων με μέγεθος μεγαλύτερο από 88 bytes όπου ο ρυθμός εξυπηρέτησης των διακοπών απαιτείται να είναι 1509 διακοπές/sec. Στην προηγούμενη παράγραφο, η διεπαφή ATM 25 φαίνεται ότι δεν μπορεί να εξυπηρετήσει εισερχόμενη κίνηση με μέγιστο ρυθμό διακοπών 10063 διακοπές/sec στη ρύθμιση 166/133/33 MHz. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας παραγράφου, ο δέκτης κίνησης ATM μπορεί και λειτουργεί χωρίς απώλεια πακέτων για κίνηση μέχρι τις 8466 διακοπές/sec. Επομένως είναι λογικό να υποθέσουμε ότι κάπου στο διάστημα 8466 και 10063 ο δέκτης υπερχειλίζει. Στην περίπτωση της διεπαφής 4-port E1 IMA, ο αναμενόμενος ρυθμός παραγωγής των διακοπών κατά τη λήψη θα είναι περίπου 9056 διακοπές/sec για σταθερό ρυθμό αφίξεως φορτίου και για μέγεθος πακέτου μεταξύ 64 και 88 bytes. Επομένως για το διάστημα αυτό ο δέκτης στα 33 MHz θα λειτουργεί χωρίς πρόβλημα στα 64 bytes ή θα υπερχειλίζει για πακέτα μεγέθους < 89 bytes.

Καθώς ο μηχανισμός SAR είναι κοινός και για τις 2 διεπαφές ATM-25 και E1 η απόδοση δρομολόγησης που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, απεικονίζει και την απόδοση της διεπαφής 4-port E1 IMA η οποία και υπολογίζεται στο σχήμα 8 β με κανονικοποίηση των αποτελεσμάτων της απλής πόρτας σειριακού ATM. Η απόδοση half-duplex για τη ρύθμιση των 66 MHz ταυτίζεται με τη βέλτιστη απόδοση που η διεπαφή μπορεί να επιτύχει. Όταν στον πυρήνα του λειτουργικού δεν συμπεριληφθεί η επιλογή netfilter, τότε οι κανονικοποιημένες καμπύλες ταυτίζονται με το θεωρητικό μέγιστο.

Στο Σχήμα 5-11 παρουσιάζονται η μέγιστη απόδοση μηδενικής απώλειας του συστήματος για διάφορα μεγέθη του δακτυλίου TxBD. Η ίδια απόδοση παρατηρείται και στις 2 ρυθμίσεις του συστήματος όσον αφορά στη συχνότητα λειτουργίας. Το μέγιστο της απόδοσης παρατηρείται για μέγεθος δακτυλίου αποστολής 512 και για μέγεθος δακτυλίου λήψης 16. Στην κατεύθυνση της λήψης, το σύστημα συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα επειδή η κίνηση ATM που φτάνει στο σύστημα χρονίζεται με χαμηλότερο ρυθμό από το ρυθμό που το ATM hardware παραδίδει τα προς μετάδοση data στον κυκλικό δακτύλιο αποστολής δια μέσου του προγράμματος οδήγησης. Τόσο στην περίπτωση half-duplex όσο και στην περίπτωση full-duplex τα αποτελέσματα συμπίπτουν με το θεωρητικό μέγιστο ρυθμό που η διεπαφή μπορεί να υποστηρίξει.



Σχήμα 5-11 : Επίδοση δρομολόγησης του συστήματος για διεπαφή *serial ATM* και για διαφορετικά μεγέθη του δακτυλίου TxBD.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΒΕΛΤΙΩΣΗ
ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΔΙΕΠΑΦΗΣ
F.ETHERNET

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια εκτενής περιγραφή της ανάπτυξης του προγράμματος οδήγησης της διεπαφής ATM για τον Δικτυακό Επεξεργαστή MPC8260 ενώ παρουσιάστηκαν και τα αποτελέσματα της απόδοσης του προγράμματος οδήγησης σε σχέση με τη μέγιστη απόδοση του μέσου μετάδοσης. Πέρα όμως από την ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης ενός νέου προγράμματος οδήγησης, εξίσου σημαντική είναι και η βελτιστοποίηση της απόδοσης των ήδη ανεπτυγμένων προγραμμάτων οδήγησης που παρέχονται από το Linux. Η ανάγκη αυτή είναι ακόμα πιο έντονη σε ενσωματωμένα συστήματα τα οποία και έχουν περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά στην υπολογιστική ισχύ τους αλλά και τους διαθέσιμους πόρους αποθήκευσης.

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται οι τεχνικές μέσω των οποίων είναι δυνατή η βελτιστοποίηση της απόδοσης δρομολόγησης πακέτων για την διεπαφή Fast Ethernet. Οι τεχνικές αυτές δεν περιορίζονται μόνο σε δικτυακές διεπαφές Ethernet, αλλά μπορούν να επεκταθούν και σε πλήθος άλλων διεπαφών. Παράλληλα και με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων, θα επιχειρήσουμε να εξάγουμε ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης της απόδοσης του συστήματος σε σχέση με την μεταβολή στον τρόπο εξυπηρέτησης των διακοπών. [33]

6.1 ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί το βασικό μοντέλο εξυπηρέτησης των διακοπών του Linux προς τον επεξεργαστή. Αν και η περιγραφή είναι βασισμένη στη διεπαφή Ethernet, το μοντέλο αυτό εφαρμόζεται χωρίς βασικές λειτουργικές αλλαγές σε μια σειρά από δικτυακά (και όχι μόνο) περιφερειακά συστήματα του επεξεργαστή.

Στην τυπική έκδοση του Linux 2.6.10, το πρόγραμμα οδήγησης της διεπαφής Fast Ethernet, ακολουθεί το τυπικό μοντέλο προγράμματος οδήγησης που ενεργοποιείται μέσω της παραγωγής **σημάτων διακοπής (Interrupts)** από τον ελεγκτή της δικτυακής διεπαφής προς τον μικροεπεξεργαστή.

6.1.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ OS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ.

Τα σήματα διακοπών, είναι ένας διαδομένος τρόπος επικοινωνίας του κεντρικού επεξεργαστή με τα περιφερειακά του συστήματα. Κάθε επεξεργαστής περιλαμβάνει μια σειρά από **γραμμές παραγωγής διακοπών (Interrupt Request Lines)**. Κάθε τέτοιο σήμα μπορεί να ανατεθεί αποκλειστικά για χρήση μιας περιφερειακής συσκευής, ή να χρησιμοποιείται από κοινού από δύο ή ακόμα και περισσότερες συσκευές. Όταν μια περιφερειακή συσκευή θέλει να αποσπάσει την προσοχή του κεντρικού επεξεργαστή τότε

ενεργοποιεί το σήμα διακοπής. Τούτο μπορεί να συμβεί στην περίπτωση που η περιφερειακή συσκευή έχει συλλέξει δεδομένα τα οποία και θέλει να προωθήσει προς τον μP, θέλει να ενημερώσει για κάποια αλλαγή της κατάστασής της, να ζητήσει πληροφορίες από τον μP, κ.ο.κ. Στις περιπτώσεις δικτυακών ασύγχρονων περιφερειακών συσκευών, οι χρόνοι εμφάνισης τέτοιων διακοπών δεν είναι εκ των προτέρων γνωστοί. Άμα τη αφίξει ενός εισερχομένου πακέτου, ένα τέτοιο σήμα διακοπής ενεργοποιείται ειδοποιώντας τον μP. Μόλις το σήμα ενεργοποιηθεί και εφόσον δεν εξυπηρετείται ήδη κάποιο σήμα διακοπής μεγαλύτερης προτεραιότητας, τότε ο μP είναι υποχρεωμένος να διακόψει την τρέχουσα λειτουργία του, αφού αποθηκεύσει ασφαλώς τα απαραίτητα για αυτή δεδομένα σε κατάλληλες θέσεις μνήμης. Για κάθε καταχωρημένο σήμα διακοπών, έχει καθοριστεί από το OS και μία αντίστοιχη συνάρτηση εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται ρουτίνα επεξεργασίας του συγκεκριμένου σήματος διακοπής (Interrupt Service Routine - ISR). Η εμφάνιση λοιπόν του συγκεκριμένου σήματος έχει ως αποτέλεσμα την κλήση της συγκεκριμένης συνάρτησης. Αφού αυτή αναγνωρίσει τον τύπο της διακοπής, προβαίνει στις κατάλληλες λειτουργίες και μόλις αυτές ολοκληρωθούν επιτυχώς, παραχωρεί και πάλι τον έλεγχο του μP προκειμένου να συνεχίσει την λειτουργία που ήδη επιτελούσε. Ο μP ξαναφορτώνει τα δεδομένα της λειτουργίας που επιτελείτο κατά την εμφάνιση της διακοπής και συνεχίζει την εκτέλεση των αντίστοιχων εντολών. Η διαδικασία αυτή της εναλλαγής των λειτουργιών του επεξεργαστή προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι διακοπές προς αυτόν, ονομάζεται **Interrupt Context Switching**.

Για την εξυπηρέτηση της διακοπής είναι απαραίτητη μια τέτοια σειρά διαδικασιών, η οποία όμως και επιφέρει ένα επιπλέον φόρτο εργασίας (overhead) στο σύστημα, ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης των εν λόγω διακοπών αλλά και με τον χρόνο που απαιτείται από την ISR να εκτελέσει τις κατάλληλες λειτουργίες.

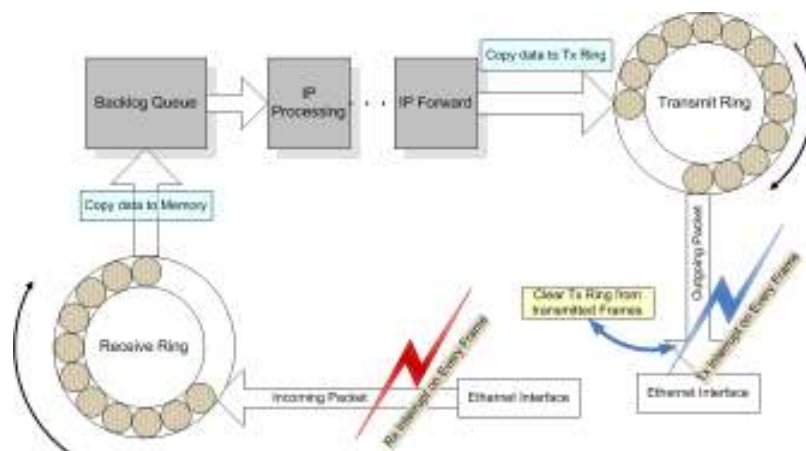
6.1.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ.

Σκοπός του προγράμματος οδήγησης είναι η λήψη και η αποστολή πακέτων δεδομένων δικτύου. Τα εισερχόμενα πακέτα υπόκεινται μιας αρχικής επεξεργασίας από τον ελεγκτή του δικτύου, και στη συνέχεια παραδίδονται στη στοίβα πρωτοκόλλου IP του Linux. Εκεί το λειτουργικό σύστημα ελέγχει και πάλι τα πακέτα και αποφασίζει με ποιο τρόπο θα τα διαχειρισθεί: Αν τα πακέτα έχουν σαν τελικό προορισμό το συγκεκριμένο σύστημα, το Linux παραδίδει τα πακέτα στην κατάλληλη εφαρμογή για την οποία τα πακέτα προορίζονται. Αν ο τελικός προορισμός όμως των πακέτων είναι κάποιο τρίτο σύστημα που το σύστημα του ΔΕ εξυπηρετεί σαν δρομολογητής δικτύου, τότε τα πακέτα θα πρέπει να

δρομολογηθούν προς την κατάλληλη διεπαφή, προκειμένου να αποσταλούν προς τον τελικό προορισμό τους.

Η διαδικασία της λήψης των πακέτων ενεργοποιείται μέσω της πυροδότησης ενός σήματος διακοπής που ο ελεγκτής του δικτύου προκαλεί στον μP. Ο ελεγκτής της δικτυακής διεπαφής συγκεντρώνει τα εισερχόμενα πακέτα σε ένα δακτύλιο θέσεων μνήμης προσωρινής αποθήκευσης και στη συνέχεια ενεργοποιεί το κατάλληλο σήμα διακοπής. Ο επεξεργαστής, μόλις λάβει το σήμα διακοπής καλεί τη συνάρτηση ISR. Η ρουτίνα αφού δεσμεύσει τις κατάλληλες θέσεις μνήμης, αντιγράφει τα δεδομένα από το δακτύλιο προς την κεντρική μνήμη για περαιτέρω επεξεργασία και τυχόν προώθηση. Η ISR επιστρέφει τον έλεγχο στον επεξεργαστή προκειμένου να συνεχίσει τις διεργασίες που διέκοψε. Από τη στιγμή αυτή και μετά, υπεύθυνο για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων είναι το λειτουργικό σύστημα.

Στην περίπτωση της **αποστολής πακέτων** από το σύστημα, το λειτουργικό ετοιμάζει τα προς αποστολή δεδομένα και τα προωθεί προς τον αντίστοιχο δακτύλιο προσωρινής αποθήκευσης εξερχόμενων δεδομένων. Εκεί αναλαμβάνει δράση ο ελεγκτής του δικτύου, ο οποίος μόλις αντιληφθεί την ύπαρξη ενός πακέτου έτοιμου προς αποστολή διαβάζει τα δεδομένα από τον δακτύλιο και τα αποστέλλει προς το φυσικό μέσο. Όταν η διαδικασία της αποστολής ολοκληρωθεί, ο ελεγκτής ειδοποιεί τον μP για το γεγονός αυτό μέσω ενός νέου σήματος διακοπής. Ο μP διακόπτει και πάλι την τρέχουσα εργασία του και αναλαμβάνει (μέσω και πάλι της ISR) τον καθαρισμό της μνήμης από τα δεδομένα που μεταδόθηκαν, την απελευθέρωση των αντίστοιχων δομών, ενώ παράλληλα ενημερώνει τους δείκτες των κενών θέσεων του δακτυλίου και τα στατιστικά στοιχεία της διεπαφής. Η ISR επιστρέφει τον έλεγχο και πάλι στον μP. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία λήψης και μετάδοσης δεδομένων.



Σχήμα 6-1 : Σχηματική απεικόνιση λήψης και αποστολής πακέτων μέσω του αυθεντικού προγράμματος οδήγησης.

Το μοντέλο αυτό του προγράμματος οδήγησης της δικτυακής διεπαφής, προϋποθέτει την ύπαρξη 2 κυκλικών δακτυλίων προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων: ένα για τη αποστολή και ένα για τη λήψη των δεδομένων. Το μέγεθος των δακτυλίων είναι μεταβλητό και ρυθμίζεται μέσω του λειτουργικού συστήματος.

Το μοντέλο που μόλις περιγράψαμε για τη διαχείριση ης εισερχόμενης και της εξερχόμενης δικτυακής κίνησης επιβαρύνει το σύστημα με ένα σημαντικό επιπλέον φόρτο εργασίας (overhead), ενώ παράλληλα (και υπό συνθήκες υψηλού δικτυακού φόρτου) μπορεί να το οδηγήσει σε υπερφόρτωση [34].

Όσον αφορά στο επιπλέον φορτίο, θα πρέπει να αναζητηθούν τρόποι μείωσης των παραγόμενων διακοπών, προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο αποδοτική διαχείριση των πόρων του συστήματος.

Όσον αφορά στην υπερφόρτωση του συστήματος, αυτή μπορεί να εμφανιστεί σε περιπτώσεις υψηλής δικτυακής κίνησης. Καθώς ο επεξεργαστής αναγκάζεται να διακόψει κάθε φορά την τρέχουσα λειτουργία του για την εξυπηρέτηση της δικτυακής κίνησης, όταν ο ρυθμός των άφιξης των εισερχομένων πακέτων είναι υψηλός τότε όλη η επεξεργαστική ισχύς καταναλώνεται στη λειτουργία αυτή. Εφόσον ο ρυθμός άφιξης των πακέτων γίνει αρκούντως υψηλός, η μοναδική λειτουργία που ο επεξεργαστής καταφέρνει να ολοκληρώσει είναι η εξυπηρέτηση των διακοπών και η αντιγραφή των δεδομένων από τον δακτύλιο της εισερχόμενης κλήσης στην κεντρική μνήμη του συστήματος. Οι υπόλοιπες λειτουργίες του συστήματος παραμένουν ανενεργές αφού οι λειτουργίες που πυροδοτούνται από Interrupts έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα έναντι των υπολοίπων λειτουργιών του συστήματος. Στις λειτουργίες αυτές συγκαταλέγεται και η προώθηση των πακέτων που θα πρέπει να προωθηθούν, με αποτέλεσμα ούτε και αυτή η λειτουργία να ολοκληρώνεται επιτυχώς. Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο έντονο εφ' όσον το σύστημα ενσωματώνει πολλαπλές δικτυακές διεπαφές που παρουσιάζουν αυξημένη κίνηση. Το σύστημα παραμένει σε μια κατάσταση «δυναμικού αδιεξόδου» (receive livelock) από το οποίο και πρόκειται να εξέλθει μόνο στην περίπτωση που ο ρυθμός άφιξης των πακέτων μειωθεί. Οι τεχνικές ευέλικτης διαχείρισης των διακοπών όταν εφαρμόζονται, μπορούν να επιτύχουν την αποφυγή τέτοιου είδους υπερφόρτωσης του συστήματος αλλά και οδηγούν σε μια πιο ορθολογική αξιοποίηση των πόρων του συστήματος.

6.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ.

Σε ένα σύστημα το οποίο πρόκειται να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο αριθμό δικτυακής κίνησης, είναι απαραίτητο να γίνεται όσο το δυνατό πιο αποδοτική η λειτουργία των επιμέρους συστημάτων του λογισμικού, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η δρομολογούμενη

τηλεπικοινωνιακή κίνηση χωρίς το σύστημα να χάνει σε αξιοπιστία. Σε συστήματα που αποτελούνται από Δικτυακούς Επεξεργαστές είναι πιθανό να ενσωματώνεται μια μεγάλη ποικιλία διεπαφών δικτύου. Η κίνηση από κάθε τέτοια διεπαφή θα πρέπει να υποστεί επεξεργασία και προώθηση προς το κατάλληλο δίκτυο. Σε ένας τέτοιο δικτυακά επιβαρημένο περιβάλλον οι εναλλακτικές μορφές διαχείρισης των διακοπών μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση επεξεργασίας και δρομολόγησης των πακέτων. Η ανάγκη αυτή γίνεται ακόμα μεγαλύτερη αν λάβουμε υπ' όψη μας το γεγονός 'τοι τα συστήματα με δικτυακούς επεξεργαστές είναι συνήθως ενσωματωμένα συστήματα.

Οι τεχνικές αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε 2 κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της κίνησης και μπορούν να εφαρμοστούν τόσο την πλευρά της εισερχόμενης όσο και στην πλευρά της εξερχόμενης κίνησης. Κάθε μια από τις περιπτώσεις παρουσιάζει τα δικά της χαρακτηριστικά. Στις επόμενες παραγράφους, περιγράφονται αναλυτικά οι τεχνικές αυτές.

6.2.1 ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΗΣ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ – NAPI.

Για την βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος στην πλευρά της εισερχόμενης κίνησης, μια ήδη γνωστή τεχνική είναι η επονομαζόμενη NAPI (New API) [35]. Το μοντέλο αυτό βελτίωσης της απόδοσης βασίζεται στην αρχή της μερικής απενεργοποίησης των διακοπών εισερχόμενης κίνησης. Μέσω της τεχνικής αυτής, η εξυπηρέτηση των πακέτων πραγματοποιείται αρχικά μέσω διακοπών, αλλά στη συνέχεια μέσω της δειγματοληπτικής παρακολούθησης του δακτυλίου εισερχόμενης κίνησης. Μια βασική υπόθεση πάνω στην οποία και στηρίζεται η τεχνική NAPI, είναι ότι η εισερχόμενη κίνηση που εξυπηρετεί το σύστημα και μπορεί να το επιβαρύνει ιδιαίτερα, είναι η μαζική άφιξη εισερχομένων ριπών από πακέτα. Μέσω της τεχνικής NAPI, τέτοιου είδους ριπές μπορούν να ανιχνευθούν και να εξυπηρετηθούν με ιδιαίτερα χαμηλό αριθμό διακοπών.

Ας εξετάσουμε λεπτομερώς τον τρόπο λειτουργίας ενός προγράμματος οδήγησης που ενσωματώνει την τεχνική NAPI. Η δυνατότητα παραγωγής διακοπών εισερχόμενης κίνησης προς τον επεξεργαστή είναι αρχικά ενεργοποιημένη. Με την άφιξη του πρώτου πακέτου, ο ελεγκτής του δικτύου παράγει ένα σήμα διακοπής και ειδοποιεί με τον τρόπο αυτό τον επεξεργαστή. Η συνάρτηση εξυπηρέτησης της διακοπής προτού προβεί σε περαιτέρω λειτουργίες, **απενεργοποιεί την δυνατότητα παραγωγής διακοπών** από την συγκεκριμένη δικτυακή επαφή, ενώ παράλληλα ειδοποιεί το λειτουργικό σύστημα ότι μόλις έχει αφιχθεί ένα εισερχόμενο πακέτο το οποίο και πρέπει να υποστεί επιπλέον επεξεργασία. Η ISR εν συνεχεία επιστρέφει, παραδίδοντας τον έλεγχο στο λειτουργικό σύστημα. Σε κάποια χρονική στιγμή, μια διακοπή λογισμικού προς τον επεξεργαστή[36] (SoftIRQ)

ενεργοποιείται εσωτερικά από το λειτουργικό σύστημα και ξεκινά την επεξεργασία του αφιχθέντος πακέτου. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, περισσότερα εισερχόμενα πακέτα μπορεί να έχουν αφιχθεί στο σύστημα. Η κατάλληλη συνάρτηση που καλείται αρχίζει να σαρώνει τον δακτύλιο της εισερχόμενης κίνησης προκειμένου να εντοπίσει όλα τα εισερχόμενα πακέτα που έχουν ήδη μεταφερθεί σε αυτόν. Μόλις όλα τα πακέτα εξυπηρετηθούν, η συνάρτηση επανενεργοποιεί την δυνατότητα παραγωγής διακοπών από την δικτυακή διεπαφή και επιστρέφει. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από 2 διαφορετικά μεγέθη. Το **NAPI weight** και το **Backlog Queue Depth**.

Το **NAPI weight** προδιαγράφει το μέγιστο αριθμό πακέτων που μπορούν να εξυπηρετηθούν κατά την εκτέλεση μιας κλήσης της συνάρτησης εξυπηρέτησης 2ου επιπέδου. Αν ο αριθμός που υπάρχει ήδη στον δακτύλιο εισερχόμενης κίνησης ξεπερνούν την τιμή αυτή, τότε η συνάρτηση επιστρέφει χωρίς όμως να επανενεργοποιεί τη δυνατότητα παραγωγής διακοπών προς τον επεξεργαστή. Παράλληλα ειδοποιεί το λειτουργικό σύστημα ότι εξακολουθούν να υπάρχουν στον δακτύλιο πακέτα τα οποία και δεν έχουν ακόμα εξυπηρετηθεί. Με βάση τη πληροφορία αυτή, το λειτουργικό προγραμματίζει να επιστρέψει σύντομα στην διαδικασία εξυπηρέτησης προκειμένου ο δακτύλιος να αδειάσει. Ο προγραμματισμός της λειτουργίας αυτής πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας παραγωγής μιας διακοπής λογισμικού (SoftIRQ).

Η **backlog queue** είναι η ουρά των εισερχομένων πακέτων από όλες τις δικτυακές διεπαφές. Αν τα πακέτα που περιμένουν να εξυπηρετηθούν ξεπερνούν την τιμή αυτή, τότε η ουρά υπερχειλίζει και τα πακέτα απορρίπτονται. Η τιμή αυτή χαρακτηρίζει επομένως τη συνολική δυνατότητα εξυπηρέτησης της εισερχόμενης κίνησης. Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο περισσότερα πακέτα το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει από όλες τις διεπαφές. Η τιμή της παρ' όλα αυτά δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη προκαθορισμένη τιμή. Πρώτον επειδή μεγάλο μέγεθος της Backlog queue σημαίνει δέσμευση του αντίστοιχου κομματιού της RAM του συστήματος. Δεύτερον και πλέον σημαντικό είναι το γεγονός πως από την ίδια τη φύση της δικτυακής κίνησης δεν είναι δυνατό τα πακέτα να εξυπηρετηθούν με μεγάλη καθυστέρηση. Ειδικά στις περιπτώσεις κίνησης πραγματικού χρόνου, η καθυστέρηση της μετάδοσης ή της επεξεργασίας του πακέτου, σημαίνει και αυτομάτως και χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας ή ακόμα και αχρήστευση του αφού μετά από κάποιο χρονικό διάστημα είναι πλέον απαραίτητη η επαναμετάδοσή του.

Στη συνέχεια ξεκινάει ο έλεγχος του κυκλικού δακτυλίου της εισερχόμενης κίνησης για να διαπιστωθεί αν εκτός από το πρώτο πακέτο που προκάλεσε την διακοπή έχουν παραληφθεί και άλλα εισερχόμενα πακέτα. Στον δακτύλιο της εισερχόμενης κίνησης

πραγματοποιείται μια συνεχής δειγματοληψία έως ότου διαπιστωθεί ότι είναι πλέον κενός από πακέτα και έως ένα ορισμένο αριθμό πακέτων. Αν ο αριθμός αυτός ξεπεραστεί και ο δακτύλιος εξακολουθεί να περιέχει πακέτα, τότε η συνάρτηση παραχωρεί οικειοθελώς τον έλεγχο του επεξεργαστή προκειμένου και άλλες εργασίες να μπορέσουν με τη σειρά τους να πραγματοποιηθούν. Παράλληλα θέτει ένα κατάλληλο σήμα μέσω των σημάτων softIRQ, προκειμένου να γνωρίζει το λειτουργικό ότι η εισερχόμενη κίνηση δεν έχει ακόμα πλήρως εξυπηρετηθεί. Μετά από λίγο το λειτουργικό επιστρέφει προκειμένου να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση της πλεονάζουσας εισερχόμενης κίνησης. Όταν τελικά ο δακτύλιος αδειάσει από πακέτα, τότε το λειτουργικό επανενεργοποιεί το σήμα διακοπών εισερχόμενης κίνησης για την συγκεκριμένη δικτυακή διεπαφή.

Για την εφαρμογή της τεχνικής NAPI στο πρόγραμμα οδήγησης της δικτυακής διεπαφής είναι απαραίτητο να πληρούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις από το υλικό που αποτελεί την διεπαφή αυτή. Είναι απαραίτητο να υπάρχει η δυνατότητα της κατά βούληση απενεργοποίησης των διακοπών εισερχόμενης κίνησης προς τον επεξεργαστή χωρίς να επηρεάζονται οι διακοπές της εξερχόμενης κίνησης. Επίσης είναι απαραίτητο ο ελεγκτής της διεπαφής να έχει πρόσβαση σε ικανό κομμάτι της μνήμης καθώς είναι πιθανό να αναγκαστεί να χειριστεί μεγάλο αριθμό πακέτων τα οποία και θα παραμείνουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα προτού προωθηθούν στα ανώτερα στρώματα του πρωτοκόλλου IP για επεξεργασία.

6.2.1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ NAPI.

Η μερική αυτή απενεργοποίηση των διακοπών έχει ως αποτέλεσμα την αποδοτικότερη διαχείριση της εισερχόμενης κίνησης αλλά ακόμα κυριότερα την πιο ορθολογική διαχείριση της επεξεργαστικής ισχύος του συστήματος[37]. Η επίδραση της τεχνικής αυτής είναι ακόμα πιο σημαντική σε συστήματα που εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό εισερχόμενων πακέτων.

Η τεχνική NAPI παρέχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την εξυπηρέτηση της εισερχόμενης κίνησης δίχως την συνεχή παραγωγή διακοπών προς τον επεξεργαστή. Το πρώτο κέρδος λοιπόν που αποκομίζει το σύστημα είναι η σημαντική μείωση του overhead που η συνεχής παραγωγή των διακοπών προκαλεί.

Επιπλέον, το σύστημα μπορεί σε περιπτώσεις αυξημένης εισερχόμενης κίνησης, να κάνει μια πιο ορθολογική χρήση των πόρων του και να κατανέμει ισόποσα / πιο δίκαια τον επεξεργαστικό χρόνο ανάμεσα στις δικτυακές διεπαφές και στις υπόλοιπες λειτουργίες του. Έτσι, ακόμα και δικτυακές επαφές που δεν παρουσιάζουν υψηλή κίνηση, θα τύχουν της προσοχής τους συστήματος ακόμα και σε στιγμές που η δικτυακή κίνηση είναι υψηλή σε άλλες διεπαφές. Με το τρόπο αυτό, η τεχνική NAPI επιτρέπει στο σύστημα να μπορεί να

διαχειρίζεται αποδοτικά την εισερχόμενη κίνηση και να μην φτάνει σε κατάσταση δυναμικού αδιεξόδου ακόμα και στην περίπτωση ιδιαίτερα υψηλής εισερχόμενης κίνησης.

6.2.1.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ NAPI.

Κατά την απενεργοποίηση των διακοπών εισερχόμενης κίνησης με την άφιξη του 1^{ου} εισερχόμενου πακέτου, το σύστημα εισάγει μια μικρή καθυστέρηση στο χρόνο όπου το εισερχόμενο πακέτο πρόκειται να εξυπηρετηθεί. Η καθυστέρηση αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι για την εξυπηρέτηση του πακέτου, είναι απαραίτητη η κλήση ενός softIRQ. Ο μηχανισμός κλήσης των softIRQ είναι σχετικά πολύπλοκος, και δεν υπάρχει σταθερό χρονικό διάστημα στο οποίο ένα softIRQ θα ενεργοποιηθεί. Παράλληλα το σύστημα δεν βρίσκεται σε θέση να γνωρίζει αν πρόκειται για ένα μεμονωμένο εισερχόμενο πακέτο ή για μια σειρά από εισερχόμενα πακέτα, ούτε βέβαια αν πρόκειται για μια ριπή «burst» πακέτων σε πολύ υψηλό ρυθμό. Στην τελευταία περίπτωση, η μικρή καθυστέρηση που δημιουργείται μέχρι την έναρξη της εξυπηρέτησης του πακέτου, εξαφανίζεται καθώς τα κέρδη από την τεχνική NAPI είναι πολλαπλάσια. Στην περίπτωση όμως εξυπηρέτησης κίνησης χαμηλού ρυθμού, η κίνηση εξυπηρετείται το ίδιο αξιόπιστα με την μόνη διαφορά μιας μικρής καθυστέρησης (latency) που εισάγεται στην εξυπηρέτηση των πακέτων. Καθώς όμως η τεχνική NAPI έχει δημιουργηθεί ακριβώς για να βελτιώσει την απόδοση συστημάτων που εξ' ορισμού θα έχουν υψηλές απαιτήσεις δρομολόγησης και προώθησης τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η σημασία της μικρής αυτής latency γίνεται ακόμα μικρότερη σε σχέση με τα οφέλη στην αύξηση του throughput που το σύστημα απολαμβάνει. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές παρενέργειες της τεχνικής NAPI αυτή μπορεί να συνδυαστεί με επιπλέον τεχνικές όπως την ύπαρξη καταλλήλων μετρητών, timers και ελέγχων προκειμένου να αναγνωρισθεί η περίπτωση «μεμονωμένων» πακέτων και να αντιμετωπιστεί κατάλληλα.

6.2.2 ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.

Η τεχνική NAPI θεωρεί ως κύριο παράγοντα δημιουργίας διακοπών την **εισερχόμενη κίνηση**. Αυτό είναι αληθές για μια μεγάλη μερίδα τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού. Πολλές από τις δικτυακές κάρτες Ethernet του εμπορίου μάλιστα παράγουν διακοπές μόνο για την εισερχόμενη κίνηση [38]. Υπάρχει όμως ένα αντίστοιχα μεγάλο κομμάτι συστημάτων τα οποία παράγουν διακοπές προς τον μP και κατά την επιτυχή αποστολή ενός εξερχόμενου πακέτου Ethernet. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι δικτυακοί επεξεργαστές της σειράς MPC82xx της Freescale αλλά και οι επεξεργαστές MPC8xx της ίδιας εταιρείας. Στο Linux

οι εκδόσεις των προγραμμάτων οδήγησης των συσκευών Ethernet παράγουν μία διακοπή για κάθε εξερχόμενο πακέτο. Καθώς όμως τα συστήματα αυτά καλούνται να διεκπεραιώσουν (κατά κύριο ρόλο) διαδικασίες δικτυακών στοιχείων είναι επόμενο να υποθέσει κανείς πως ο μεγαλύτερος όγκος της εισερχόμενης κίνησης δεν απευθύνεται στο ίδιο το σύστημα, αλλά προορίζεται για συστήματα που απλώς το εν λόγω σύστημα εξυπηρετεί. Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των εισερχόμενων πακέτων είναι αντίστοιχος των εξερχόμενων με αποτέλεσμα και ο αριθμός των προκαλούμενων διακοπών από την εισερχόμενη κίνηση να είναι αντίστοιχος με τον αριθμό των διακοπών της εξερχόμενης κίνησης. Μέσα από αυτό το πρίσμα, ο περιορισμός των διακοπών εξερχόμενης κίνησης αποκτά ανάλογη σημασία με τον περιορισμό των διακοπών εισερχόμενης κίνησης.

Η τεχνική NAPI, για τις περιπτώσεις αυτές θα μπορούσε να εφαρμοστεί επίσης και για την εξερχόμενη κίνηση. Με την εμφάνιση δηλαδή του 1^{ου} Tx Interrupt, να περνάει και πάλι ο έλεγχος της κίνησης σε ένα μοτίβο δειγματοληψίας. Στην περίπτωση όμως των embedded συστημάτων επιλέξαμε να υλοποιήσουμε πιο δραστηκές μεθόδους. Οι κυριότεροι λόγοι είναι οι εξής:

- Η βασική διαφορά της εισερχόμενης από την εξερχόμενη κίνηση, είναι το γεγονός ότι η μεν πρώτη δεν προκαλείται από το σύστημα, και επομένως δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί ποια χρονική στιγμή το σύστημα θα κληθεί να εξυπηρετήσει ένα εισερχόμενο πακέτο. Αντίθετα, η εξερχόμενη κίνηση, είναι παραγόμενη από το ίδιο το σύστημα το οποίο και **μπορεί να ξέρει ποια στιγμή πρόκειται να παραχθεί εξερχόμενη κίνηση**, και επομένως γνωρίζει από πριν και τον αριθμό των διακοπών που θα παραχθούν.
- Με την εμφάνιση μιας διακοπής στην εισερχόμενη κίνηση, είναι απαραίτητη μια σειρά από χρονοβόρες και σχετικά πολύπλοκες διαδικασίες (αντιγραφή δεδομένων από το Rx Ring στην κεντρική μνήμη, επεξεργασία των δεδομένων, προώθησή τους στην στοίβα IP για περαιτέρω επεξεργασία ή δρομολόγηση). Η ενεργοποίηση μιας Tx Interrupt απαιτεί την ολοκλήρωση πολύ λιγότερων λειτουργιών. Η βασικότερη από αυτές είναι ο καθαρισμός της μνήμης από μια σειρά πακέτων τα οποία έχουν αποσταλεί επιτυχώς και τα οποία πλέον δεν έχουν λόγο ύπαρξης στην κεντρική μνήμη. Παράλληλα η ενημέρωση του συστήματος για τον αριθμό των δεδομένων που απεστάλησαν αλλά και η ενημέρωση του Tx Ring έτσι ώστε οι δείκτες σε αυτό να δείχνουν στην επόμενη κενή θέση. (από τα παραπάνω φαίνεται ότι οι διακοπές Tx και το overhead του context switching που προκαλούν, αποτελούν το βασικό χρονικό μέρος της διαδικασίας εξυπηρέτησής τους και όχι αυτές καθαυτές οι λειτουργίες που επιτελούνται). Οι βασικές αυτές διαφορές των δύο τύπων κίνησης (εισερχόμενη-

εξερχόμενη), μας οδήγησε στο να αναζητήσουμε εναλλακτικούς τρόπους αντιμετώπισης των διακοπών Tx. Δύο είναι οι τρόποι που επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε. Οι τρόποι /τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται ήδη από μερίδα εμπορικών συστημάτων.

6.2.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ 1 ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΑΝΑ ΠΡΟΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ ΑΡΙΘΜΟ ΠΑΚΕΤΩΝ.

Αντί της παραγωγής μιας διακοπής ανά εξερχόμενο πακέτο, το πρόγραμμα οδήγησης ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε μια μόνο διακοπή να παράγεται ανά N πακέτα. Το N είναι μια μεταβλητή ρυθμιζόμενη από τον χρήστη. Με τον τόπο αυτό ο αριθμός των παραγόμενων διακοπών μειώνεται στο 1/N των αρχικά παραγόμενων. Τα προς μετάδοση πακέτα δημιουργούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τη μόνη διαφορά ότι μόνο το N-στο ρυθμίζεται για να προκαλέσει Interrupt. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα απαλλάσσεται από την διαρκή εναλλαγή της λειτουργίας του λειτουργικού προκειμένου να εξυπηρετήσει τις εμφανιζόμενες διακοπές.

Με την εμφάνιση μιας τέτοιας διακοπής, ο μP εξετάζει τον δακτύλιο της εξερχόμενης κίνησης και ελευθερώνει όλη τη μνήμη που καταλαμβάνεται από πακέτα τα οποία έχουν ήδη μεταδοθεί. Με τον τρόπο αυτό όμως, η χρονοβόρος διαδικασία απελευθέρωσης της μνήμης διαρκεί N φορές περισσότερο αλλά για 1/N φορές.

Επιπλέον η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι η διαδικασία καθαρισμού της μνήμης επιτελείται μέσω interrupt context και επομένως η λειτουργία γίνεται μέσω της συνάρτησης `dev_kfree_skb_irq`. Αυτό σημαίνει ότι στη διάρκεια της λειτουργίας αυτής δεν είναι δυνατή η εξυπηρέτηση διακοπών από το ίδιο το διαδικτυακό interface και επομένως ενδεχόμενη εισερχόμενη κίνηση να μην μπορεί να εξυπηρετηθεί έως ότου ο καθαρισμός της μνήμης ολοκληρωθεί. Έτσι σε περιπτώσεις υψηλής εισερχόμενης κίνησης, ο δακτύλιος Rx θα υπερχειλίσει και η εισερχόμενη κίνηση δεν θα εξυπηρετηθεί.

Παρ' όλα αυτά, τα πειραματικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι το όφελος που τελικά η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει είναι αρκετά σημαντικό σε σχέση με την απόδοση δρομολόγησης του απλού προγράμματος οδήγησης.

6.2.3 ΟΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ `DEV_KFREE_SKB_IRQ` ΚΑΙ `DEV_KFREE_SKB`.

Προκειμένου να εξυπηρετηθεί η εισερχόμενη και η εξερχόμενη δικτυακή κίνηση, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν μια σειρά από ειδικές δομές οι οποίες και θα αποθηκεύουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη μετάδοση των δεδομένων. Η κυριότερη από τις δομές αυτές είναι η δομή **socket buffer – skb** [39]. Η δομή `skb` αποτελείται από μια σειρά από δεδομένα τα οποία και χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη δικτυακή σύνδεση. Κατά τη λήψη ή

την αποστολή ενός πακέτου, το λειτουργικό σύστημα κάνει χρήση της δομής αυτής, δεσμεύοντας το απαραίτητο μέγεθος της μνήμης που απαιτείται για να αποθηκευτεί μια δομή skb. Για τη διευκόλυνση του και για την αύξηση της ταχύτητας εξυπηρέτησης των πακέτων, το λειτουργικό έχει δεσμεύσει ήδη ένα μέρος της μνήμης και το έχει διαμορφώσει με κατάλληλο τρόπο ώστε να μπορεί να αποθηκεύει μια σειρά από skbs χωρίς να είναι απαραίτητο να δεσμεύσει συνολικά από την αρχή την απαραίτητη μνήμη κάθε φορά που το σύστημα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσει ένα skb. Το μέρος της μνήμης ονομάζεται socket buffer pool. Μόλις οι δικτυακές διεπαφές χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν μια τέτοια δομή, δεσμεύουν και το αντίστοιχο κομμάτι του pool. Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων της δομής και αυτή δεν είναι πλέον απαραίτητη, το λειτουργικό ελευθερώνει την skb και την επιστρέφει κενή στο pool προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί αργότερα.

Ο skb που δεσμεύτηκε κατά τη λήψη ενός πακέτου, μόλις αυτό επεξεργαστεί από τα παραπάνω στρώματα του δικτύου απελευθερώνεται. Στην περίπτωση της μετάδοσης του πακέτου, στην κλασική περίπτωση του προγράμματος οδήγησης, ο skb ελευθερώνεται μόλις παραληφθεί το interrupt που ενημερώνει το λειτουργικό για την επιτυχή αποστολή του πακέτου.

Δύο είναι οι συναρτήσεις μέσω των οποίων και γίνεται η απελευθέρωση του skb: `dev_kfree_skb` και `dev_kfree_skb_irq`. Η συνάρτηση απελευθέρωσης της μνήμης είναι μια σχετικά χρονοβόρα διαδικασία και για το λόγο αυτό πρέπει να ελέγχεται πριν την κλήση της η κατάσταση του συστήματος. Αν το σύστημα τη στιγμή αυτή δεν βρίσκεται σε interrupt mode, η συνάρτηση `dev_kfree_skb` είναι αυτή που καλείται. Στην περίπτωση που βρισκόμαστε μέσα στην ρουτίνα εξυπηρέτησης του Interrupt, η συνάρτηση που οφείλει να κληθεί είναι η `dev_kfree_skb_irq`. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο skb δεν απελευθερώνεται άμεσα, αλλά προγραμματίζεται η απελευθέρωση του skb σε κάποια μελλοντική στιγμή μέσω της διαδικασίας `softirq`. Ο λόγος είναι ότι από τη στιγμή που βρισκόμαστε σε κατάσταση εξυπηρέτησης κάποιου interrupt, το λειτουργικό πρέπει όσο το δυνατό πιο γρήγορα να επιστρέψει καθώς τη χρονική αυτή στιγμή όλα τα interrupts είναι απενεργοποιημένα. Στις επόμενες παραγράφους θα αναπτύξουμε περαιτέρω τον τρόπο με τον οποίο η κλήση των δυο αυτών συναρτήσεων επηρεάζει την απόδοση δρομολόγησης του συστήματος.

6.2.4 ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΤΗΣ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.

Από τα μέχρι τώρα καταλαβαίνουμε ότι η έως τώρα αρχιτεκτονική του προγράμματος οδήγησης προϋποθέτει την ύπαρξη διακοπών στην εξερχόμενη κίνηση ως έναυσμα για την ολοκλήρωση συγκεκριμένων απαραίτητων λειτουργιών. Μια εναλλακτική προσέγγιση αποτελεί **η πλήρης απενεργοποίηση της παραγωγής διακοπών εξερχόμενης κίνησης**. Τούτο ασφαλώς προϋποθέτει την εναλλακτική πυροδότηση των λειτουργιών που αυτή τη στιγμή προκαλούνται από μια Tx διακοπή.

Η προσέγγιση στην περίπτωση αυτή είναι η ακόλουθη: τα προς μετάδοση πακέτα προετοιμάζονται με τον τρόπο που και το αρχικό πρόγραμμα οδήγησης ακολουθεί. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο ελεγκτής του δικτύου ρυθμίζεται ώστε να μην προκαλεί καμία Tx διακοπή μόλις το πακέτο μεταδοθεί επιτυχώς. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι, πριν την προετοιμασία του προς μετάδοση πακέτου, ο μP σαρώνει τον δακτύλιο μετάδοσης για να βρει ποια πακέτα έχουν ήδη μεταδοθεί επιτυχώς και επομένως είναι απαραίτητος το καθαρισμός της αντίστοιχης μνήμης (Ο ελεγκτής, μόλις ένα πακέτο μεταδοθεί επιτυχώς μαρκάρει κατάλληλα και την αντίστοιχη θέση του δακτυλίου). Καθώς ο καθαρισμός δεν επιτελείται κατά τη διάρκεια εξυπηρέτησης μιας διακοπής η συνάρτηση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η `dev_kfree_skb`. Κατά την κλήση της συνάρτησης αυτής, τα Interrupts δεν είναι απαραίτητο να είναι απενεργοποιημένα, και επομένως η εισερχόμενη κίνηση μπορεί να εξυπηρετείται χωρίς πρόβλημα κατά τη διάρκεια του καθαρισμού της μνήμης.

6.2.5 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΔΙΑΚΟΠΩΝ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.

Στις προηγούμενες παραγράφους αναπτύχθηκαν λεπτομερώς οι τρόποι με τους οποίους οι βελτιωμένες τεχνικές εξυπηρέτησης των διακοπών συμβάλλουν στην απόδοση του συστήματος. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται ήδη σε μια σειρά από εμπορικές δικτυακές κάρτες Ethernet. Υλοποιούνται όμως μεμονωμένα σε καθένα από τα δύο είδη κίνησης (εισερχόμενη / εξερχόμενη) ενώ βρίσκουν εφαρμογή σε διεπαφές ταχύτητας 1 Gigabit. Επιπλέον δεν εφαρμόζονται σε embedded επεξεργαστές. Συστήματα όμως όπως τα MPC8xx και MPC82xx αποτελούν ιδανικά παραδείγματα συστημάτων όπου τέτοιες τεχνικές μπορεί να εφαρμοστούν καθώς είναι συστήματα που προορίζονται για δικτυακές εφαρμογές. Οι περιορισμένες δυνατότητες των συστημάτων αυτών σε υπολογιστική ισχύ και μνήμη, κάνουν επιτακτική την ανάγκη ανεύρεσης ορθολογικότερων τρόπων λειτουργίας των δικτυακών διεπαφών. Οι εξελιγμένες τεχνικές εξυπηρέτησης των διακοπών αποτελούν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας αντιμετώπισης.

Ένα ακόμα ιδιαίτερα σημαντικό γεγονός που μας οδήγησε στη διερεύνηση των πλεονεκτημάτων της μείωσης των διακοπών, είναι το γεγονός ότι ακόμα και στις εμπορικές κάρτες όπου οι τεχνικές μείωσης των διακοπών εφαρμόζονται κατά κόρον, δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα που να ποσοτικοποιούν τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων.

Η δική μας μελέτη σκοπεύει ακριβώς στο να συνδυάσει τις τεχνικές εξυπηρέτησης των διακοπών εισερχόμενης και εξερχόμενης κίνησης, στο να περιγράψει τον τρόπο που οι τεχνικές επηρεάζουν την απόδοση, να τις εφαρμόσει σε embedded συστήματα, και να καταγράψει αναλυτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συστηματική παρακολούθηση της απόδοσης των αλλαγών με βάση διεθνώς αποδεκτές τεχνικές μέτρησης.

Για να μπορέσει η καταγραφή των αλλαγών να γίνει με συστηματικό τρόπο, αλλά και να μπορέσουμε να διακρίνουμε τον τρόπο που καθεμία τεχνική συνεισφέρει στη βελτίωση της απόδοσης, δημιουργήθηκαν μια σειρά από εναλλακτικά προγράμματα οδήγησης που ενσωματώνουν **μεμονωμένες αλλαγές** για την εξυπηρέτηση των διακοπών καθώς και προγράμματα οδήγησης που υλοποιούν συνδυαστικές τεχνικές εξυπηρέτησης διακοπών Tx και Rx κίνησης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν και εξετάστηκαν λεπτομερώς 6 διαφορετικές εκδόσεις προγραμμάτων οδήγησης..

- Αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης όπως χρησιμοποιείται από το Linux.
- NAPI enabled driver
- Tx 128 driver
- Tx ints OFF driver
- NAPI + Tx 128
- NAPI + Tx OFF

Για καθένα από τους διαφορετικούς drivers πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετρήσεις της απόδοσης δρομολόγησης του συστήματος. Προκειμένου οι μετρήσεις αυτές να είναι απολύτως αντικειμενικές και να μπορούν να αντικατοπτρίζουν με τρόπο απολύτως ελέγχσιμο και επιστημονικό τις διαφορές μεταξύ των επιμέρους υλοποιήσεων, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές διεθνώς αποδεκτές όσον αφορά στη μέτρηση της απόδοσης δρομολόγησης δικτυακών συστημάτων.

6.2.5.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 1 – ΑΥΘΕΝΤΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ LINUX 2.6.10.

Στην περίπτωση του αυθεντικού προγράμματος οδήγησης δεν έχει ενσωματωθεί καμία αλλαγή όσον αφορά στην εξυπηρέτηση των διακοπών. Η μόνη αλλαγή που έγινε στα επιμέρους στοιχεία του προγράμματος οδήγησης, ήταν η μεταβολή του μεγέθους του κυκλικού δακτυλίου εισερχόμενης και εξερχόμενης κίνησης από 32 σε 256 προκειμένου να είναι όμοιος σε μέγεθος με τους δακτυλίους των εναλλακτικών προγραμμάτων οδήγησης

που δημιουργήσαμε. Αποτελεί το σημείο αναφοράς στις συγκριτικές μετρήσεις. Είναι το πρόγραμμα οδήγησης που παράγει τις περισσότερες διακοπές. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **ORIGINAL**.

6.2.5.2 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 2 – NAPI ENABLED DRIVER.

Στην πρώτη παραλλαγή του προγράμματος οδήγησης ενσωματώσαμε όλες της απαραίτητες αλλαγές προκειμένου να εφαρμόσουμε την τεχνική NAPI. Η μόνη αλλαγή η οποία και δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί ήταν η κοινή χρησιμοποίηση περιοχής της μνήμης από το πρόγραμμα οδήγησης και το λειτουργικό σύστημα. Το πρόγραμμα οδήγησης NAPI αναμένεται να μειώσει δραστικά τον αριθμό των διακοπών εισερχόμενης κίνησης προς τον επεξεργαστή. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **NAPI**.

6.2.5.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 3 – ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ Tx INTERRUPTS.

Στο πρόγραμμα αυτό έχουμε ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των παραγόμενων Interrupts από την Ethernet διεπαφή στην περίπτωση της αποστολής πακέτων. Έτσι, διακοπή προς τον επεξεργαστή παρουσιάζεται μόνο **κάθε 128 εξερχόμενα πακέτα**. Οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την εξυπηρέτηση μιας Tx διακοπής, συμβαίνουν πλέον μόνο στο 128^ο πακέτο. Το πρόβλημα είναι ότι οι λειτουργίες αυτές (με σημαντικότερη και πλέον χρονοβόρα την απελευθέρωση των skbs) πραγματοποιούνται μέσα σε Interrupt Context με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η παράλληλη εξυπηρέτηση νέων διακοπών. Η βελτίωση που αναμένεται να παρουσιάσει το πρόγραμμα οδήγησης είναι από το μειωμένο αριθμό των context switching. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **TX-128**.

6.2.5.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 4 – ΠΛΗΡΗΣ ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ Tx INTERRUPTS.

Στο πρόγραμμα αυτό η δικτυακή Ethernet διεπαφή έχει ρυθμιστεί ώστε να μην παράγει διακοπές μετά την επιτυχημένη αποστολή των πακέτων. Η επιβεβαίωση της ορθής αποστολής γίνεται μέσω του κυκλικού δακτυλίου μετάδοσης όπου εξ' ορισμού μαρκάρονται κατάλληλα τα πακέτα τα οποία έχουν ήδη αποσταλεί επιτυχώς. Ο θέσεις αυτές στον κυκλικό δακτύλιο πρέπει να αποδεσμευτούν προκειμένου να είναι δυνατή η αποστολή νέων πακέτων. Ο έλεγχος και η αποδέσμευση των θέσεων αυτών πραγματοποιείται από το αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης μόλις φτάσει ένα σήμα διακοπής από τη διεπαφή. Στην περίπτωση

του προτεινόμενου προγράμματος οδήγησης, οι λειτουργίες αυτές πραγματοποιούνται κατά την προσθήκη ενός νέου προς αποστολή πακέτου στον κυκλικό δακτύλιο. Με τον τρόπο αυτό ο επεξεργαστής κερδίζει σε χρόνο τόσο από το γεγονός ότι δεν είναι αναγκασμένος να προβαίνει σε συνεχή context switching μετά από κάθε επιτυχή αποστολή πακέτου, αλλά παράλληλα και από το γεγονός ότι οι λειτουργίες αυτές λαμβάνουν χώρα σε χρονικές στιγμές όπου τα Interrupts του επεξεργαστή είναι ενεργοποιημένα και επομένως το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να δέχεται πακέτα. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος για τον οποίο και το συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης αναμένεται να παρουσιάζει πολύ καλύτερη απόδοση σε σχέση με το πρόγραμμα οδήγησης TX-128. Επίσης οι επιδόσεις του αναμένεται να είναι εντελώς παραπλήσιες με τις επιδόσεις του NAPI driver καθώς και στις 2 περιπτώσεις εξοικονομείται παραπλήσιος χρόνος κατά την εξυπηρέτηση της δικτυακής κίνησης. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **TX-OFF**.

6.2.5.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 5 – ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ NAPI ΚΑΙ TX-128.

Σε αυτή την υλοποίηση γίνεται συνδυαστική εφαρμογή των τεχνικών NAPI και ελαχιστοποίησης των Tx Interrupts. Σε αυτή την έκδοση του προγράμματος οδήγησης, αναμένεται να είναι εξαιρετικά χαμηλός ο αριθμός των διακοπών. Το γεγονός αυτό εξηγείται ακριβώς με την επιχειρηματολογία που αναπτύξαμε σχετικά με το πρόγραμμα οδήγησης ελαχιστοποίησης των Tx διακοπών. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **NAPI-TX-128**.

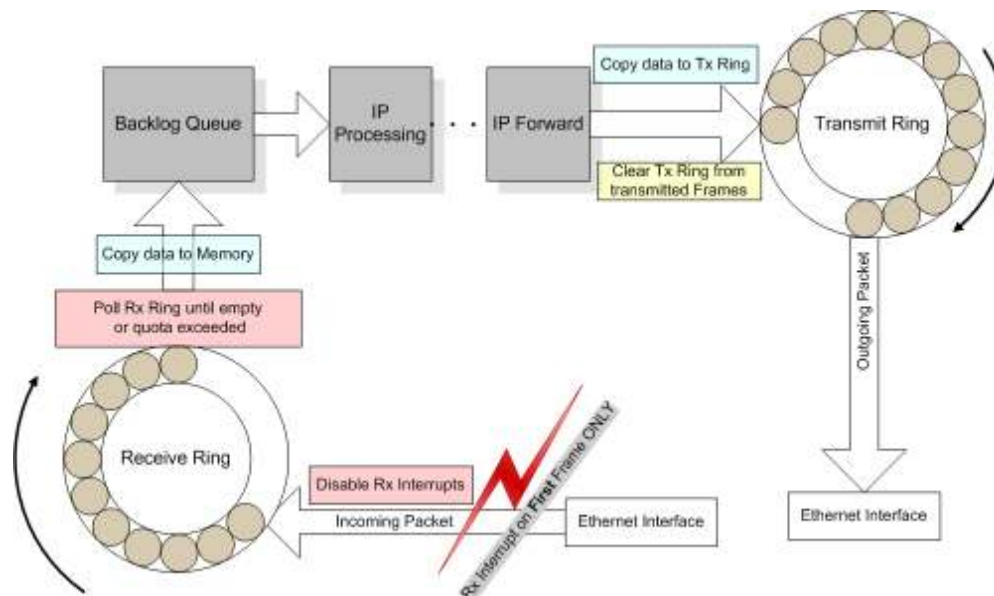
6.2.5.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ 6 – ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ NAPI ΚΑΙ TX-OFF.

Από τα παραπάνω, είναι σαφές ότι η τεχνική NAPI και η πλήρης απενεργοποίηση των διακοπών μετάδοσης είναι οι κύριες τεχνικές μέσω των οποίων και βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση δρομολόγησης του συστήματος. Ο συνδυασμός των 2 θα περίμενε κανείς να είναι το άθροισμα της βελτίωσης καθενός ανεξάρτητου προγράμματος. Τα αποτελέσματα όμως είναι θεαματικά καθώς η συνολική βελτίωση ξεπέρασε κατά πολύ την αθροιστική βελτίωση που επιτυγχάνεται από καθένα από τους 2 ανεξάρτητους drivers. Στις επόμενες παραγράφους θα αναφερόμαστε στο συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης με την συντετμημένη ονομασία **NAPI-TX-OFF**.

Η εξήγηση για το φαινόμενο αυτό κρύβεται και πάλι στο γεγονός ότι κατά την πλήρη απενεργοποίηση των Tx διακοπών απεμπλέκεται η χρονοβόρα διαδικασία της απελευθέρωσης της μνήμης από χρονικές στιγμές κατά τις οποίες τα Interrupts του

επεξεργαστή είναι απενεργοποιημένα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απρόσκοπτη λήψη εισερχόμενης κίνησης.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διαδικασία λήψης και μετάδοσης δεδομένων για το πρόγραμμα οδήγησης **NAPI-TX-OFF**.



Σχήμα 6-2 : Σχηματική απεικόνιση λήψης και αποστολής πακέτων μέσω του προγράμματος οδήγησης NAPI-TXOFF.

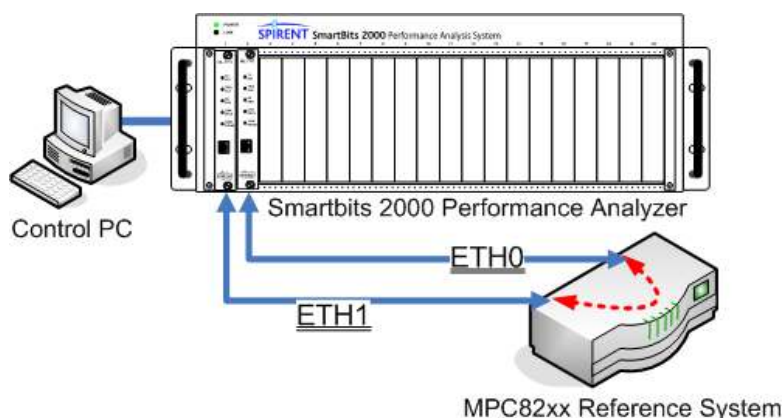
6.2.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.

Για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα δικτυακής πύλης πρόσβασης, το οποίο και βασίζεται στον επεξεργαστή MPC8250. Οι συχνότητα λειτουργίας του συστήματος είναι 200/133/66 MHz για τον κεντρικό πυρήνα CPU, την υπομονάδα δικτυακής διασύνδεσης και το διαυλο του επεξεργαστή αντίστοιχα. Το σύστημα ενσωματώνει δύο ανεξάρτητες και ισοδύναμες δικτυακές επαφές Ethernet 100 μέσω των ελεγκτών FCC2 και FCC3. Σκοπός της διάταξης είναι να μετρηθεί η ικανότητα του επεξεργαστή να λαμβάνει και αποστέλλει κίνηση από τη μια διεπαφή στην άλλη και αντιστρόφως. Το σύστημα τρέχει το λειτουργικό σύστημα Linux στην έκδοση του πυρήνα 2.6.10 και η μοναδική μεταβολή στις ρυθμίσεις του κατά την εκτέλεση των μετρήσεων αφορά μόνο στο πρόγραμμα οδήγησης των Ethernet διεπαφών. Ο πυρήνας ρυθμίστηκε και έγινε compile με την επιλογή Pre-emptive απενεργοποιημένη.

Για τον υπολογισμό της απόδοσης της δρομολόγησης της κίνησης σε επίπεδο 3 (IP επίπεδο) χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Smartbits Performance Analyzer [40] το οποίο είναι εφοδιασμένο με κάρτες ML-7110 καθώς και τα προγράμματα SmartWindows και SmartApplications Ver. 2.54. Το σύστημα Smartbits αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα

και αξιόπιστα συστήματα μέτρησης επιδόσεων δικτυακού εξοπλισμού. Για τις μετρήσεις σε επίπεδο 3, η διαδικασία των μετρήσεων είναι σε απόλυτη συμφωνία με τις προδιαγραφές RFC1242 [41] & RFC2544 [42]. Καθεμία από τις 2 ανεξάρτητες διεπαφές Ethernet του συστήματος διασυνδέθηκε με μια κάρτα του ML-7110 συστήματος Smartbits. Το Smartbits παράγει κίνηση απόλυτα καθορισμένου χρονισμού και μεγέθους πακέτων από τη μία κάρτα. Το υπό μέτρηση σύστημα λαμβάνει τα δεδομένα από τη μια πόρτα του και τα προωθεί με τη σειρά του προς τη δεύτερη πόρτα. Η κάρτα του συστήματος Smartbits συλλέγει την μεταδιδόμενη κίνηση και μπορεί με τον τρόπο αυτό να υπολογίσει τη μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης του το υπό μέτρηση σύστημα μπορεί να επιτύχει για το συγκεκριμένο προφίλ μετάδοσης. Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης, θεωρείται η μέγιστη ταχύτητα για την οποία το σύστημα είναι σε θέση να δρομολογήσει κίνηση από και προς κάθε κατεύθυνση χωρίς να απορρίπτεται ούτε ένα από τα μεταδιδόμενα πακέτα. Προκειμένου να μπορέσουμε να δοκιμάσουμε το σύστημα σε ακραίες συνθήκες όσον αφορά στην απόδοση του, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για κίνηση που εισάγεται ΚΑΙ από τις 2 διεπαφές και προωθείται στην άλλη διεπαφή (αμφίδρομη - **bidirectional**). Επίσης για την εκτέλεση των διαδοχικών πειραμάτων χρησιμοποιείται κίνηση με πακέτα σταθερού μεγέθους. Η μορφή αυτή της κίνησης δεν είναι ασφαλώς η μορφή της κίνησης που το σύστημα αναμένεται να δεχτεί στην πραγματική λειτουργία του. Οι μετρήσεις αυτές είναι παρόλα αυτά απόλυτα χρήσιμες καθώς αποτελούν ένα αντικειμενικό μέτρο σύγκρισης για τις δυνατότητες διαφορετικών συστημάτων. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για ένα καθορισμένο εύρος μεγεθών πακέτων, προκειμένου να υπάρξει μια συνολική εικόνα για όλο το φάσμα των δυνατών μεγεθών πακέτων. Η λειτουργία του Smartbits παραμετροποιείται από ένα εξωτερικό υπολογιστή ο οποίος και συλλέγει τα δεδομένα των μετρήσεων.

Στο Σχήμα 6-3 παρουσιάζεται η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των μετρήσεων.



Σχήμα 6-3 : Πειραματική Διάταξη για την εκτέλεση των δοκιμών.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για όλους τους drivers και τα πειράματα εκτελέστηκαν σε πολλαπλές επαναλήψεις προκειμένου να απαλειφθεί η περίπτωση σφάλματος. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το σύστημα δεν εκτελεί άλλες λειτουργίες πέραν της δρομολόγησης της κίνησης.

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν συνολικά τα αποτελέσματα της βελτίωσης της απόδοσης του συστήματος που προέρχεται από τα εναλλακτικά προγράμματα οδήγησης, σε σύγκριση με την απόδοση δρομολόγησης του αυθεντικού προγράμματος.

6.3.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Στις παρακάτω παραγράφους θα δώσουμε μια συνοπτική περιγραφή των αποτελεσμάτων για κάθε ένα από τα προγράμματα οδήγησης .

6.3.1.1 ΑΥΘΕΝΤΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΤΟΥ LINUX 2.6.10 (ORIGINAL)

Το αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης αποτελεί το σημείο αναφοράς στις συγκριτικές μετρήσεις. Είναι το πρόγραμμα οδήγησης που παράγει τις περισσότερες διακοπές. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποδεικνύουν ότι παρουσιάζει τη χαμηλότερη απόδοση δρομολόγησης της κίνησης σε σχέση με τα εναλλακτικά προγράμματα οδήγησης.

6.3.1.2 NAPI ENABLED DRIVER (NAPI)

Στην πρώτη παραλλαγή του προγράμματος οδήγησης ενσωματώσαμε όλες της απαραίτητες αλλαγές προκειμένου να εφαρμόσουμε την τεχνική NAPI. Η τεχνική εφαρμόστηκε μόνο στην περίπτωση της εισερχόμενης κίνησης. Η μείωση των διακοπών αποφέρει βελτίωση στην απόδοση του συστήματος η οποία και φτάνει το 21 % για πακέτα μεγέθους 64 bytes.

6.3.1.3 ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ Tx INTERRUPTS (TX128)

Στο πρόγραμμα αυτό έχουμε ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των παραγόμενων Interrupts από την Ethernet διεπαφή στην περίπτωση της αποστολής πακέτων. Έτσι, διακοπή προς τον εξεργαστή παρουσιάζεται μόνο κάθε 128 εξερχόμενα πακέτα. Η βελτίωση που παρουσιάζει το πρόγραμμα οδήγησης είναι σαφώς μικρότερη από αυτή της έκδοσης NAPI.

Το κέρδος προέρχεται μόνο από το μειωμένο αριθμό των context switching. Η βελτίωση δεν είναι τόσο σημαντική επειδή ακριβώς τα Interrupts παραμένουν απενεργοποιημένα (πιο αραιά μεν αλλά) για ένα μεγάλο και συνεχόμενο χρονικό διάστημα.

6.3.1.4 ΠΛΗΡΗΣ ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ Tx INTERRUPTS (Tx-OFF)

Στο πρόγραμμα αυτό η δικτυακή Ethernet διεπαφή έχει ρυθμιστεί ώστε να μην παράγει διακοπές μετά την επιτυχημένη αποστολή των πακέτων ενώ δεν έχει αλλαχθεί ο τρόπος διαχείρισης της εισερχόμενης κίνησης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης παρουσιάζει πολύ καλύτερη απόδοση σε σχέση με το πρόγραμμα οδήγησης Tx-128. Οι επιδόσεις του είναι εντελώς παραπλήσιες με τις επιδόσεις του NAPI driver. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αφού και στις 2 αυτές εκδόσεις απαιτείται ο μισός αριθμός διακοπών (σε σχέση με την αυθεντική έκδοση) για την εξυπηρέτηση της κίνησης.

6.3.1.5 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ NAPI ΚΑΙ Tx-128 (NAPI-Tx128).

Σε αυτή την υλοποίηση γίνεται συνδυαστική εφαρμογή των τεχνικών NAPI και ελαχιστοποίησης των Tx Interrupts. Παρατηρούμε ότι η αύξηση της απόδοσης είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τη απόδοση του απλού NAPI driver. Το γεγονός αυτό εξηγείται ακριβώς με την επιχειρηματολογία που αναπτύξαμε σχετικά με το πρόγραμμα οδήγησης ελαχιστοποίησης των Tx διακοπών.

6.3.1.6 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ NAPI ΚΑΙ Tx-OFF (NAPI-Tx-OFF).

Από τα παραπάνω, είναι σαφές ότι η τεχνική NAPI και η πλήρης απενεργοποίηση των διακοπών μετάδοσης είναι οι κύριες τεχνικές μέσω των οποίων και βελτιώνεται σημαντικά η απόδοση δρομολόγησης του συστήματος. Ο συνδυασμός των 2 θα περίμενε κανείς να είναι το άθροισμα της βελτίωσης καθενός ανεξάρτητου προγράμματος. Τα αποτελέσματα όμως είναι θεαματικά καθώς η συνολική βελτίωση ξεπέρασε κατά πολύ την αθροιστική βελτίωση που επιτυγχάνεται από καθένα από τους 2 ανεξάρτητους drivers.

Η εξήγηση για το φαινόμενο αυτό κρύβεται και πάλι στο γεγονός ότι κατά την πλήρη απενεργοποίηση των Tx διακοπών απεμπλέκεται η χρονοβόρα διαδικασία της απελευθέρωσης της μνήμης από χρονικές στιγμές κατά τις οποίες τα Interrupts του επεξεργαστή είναι απενεργοποιημένα ενώ παράλληλα αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να δεχτεί σήματα διακοπών. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απρόσκοπτη λήψη εισερχόμενης κίνησης.

6.3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνολικά η βελτίωση της απόδοσης δρομολόγηση και προώθησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης για καθεμία από τις εκδόσεις του προγράμματος οδήγησης. Υπενθυμίζουμε ότι οι αναφερόμενες τιμές αντιπροσωπεύουν κίνηση διπλής κατεύθυνσης (bidirectional). Έτσι, σε απόλυτους αριθμούς το σύστημα είναι σε θέση να δρομολογήσει τις διπλάσιες από τις αναφερόμενες τιμές για κίνηση απλής κατεύθυνσης,

Packet Size (bytes)	ORIGINAL (Mbps)	TX-128 (Mbps)	TX-OFF (Mbps)	NAPI (Mbps)	NAPI-TX-128 (Mbps)	NAPI-TX-OFF (Mbps)
64	12,38	13,14	15,00	15,95	17,83	25,85
128	20,96	21,89	25,00	25,78	28,14	42,65
256	35,52	37,27	43,46	41,50	46,86	65,71
512	58,95	61,01	68,74	69,54	73,84	96,64
896	83,89	86,50	95,22	92,95	96,17	100,00
1024	90,66	93,59	99,67	100,00	100,00	100,00
1280	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1518	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Πίνακας 6-1: Μέγιστη ταχύτητα δρομολόγησης αμφίδρομης κίνησης για καθένα από τα 6 προγράμματα οδήγησης.

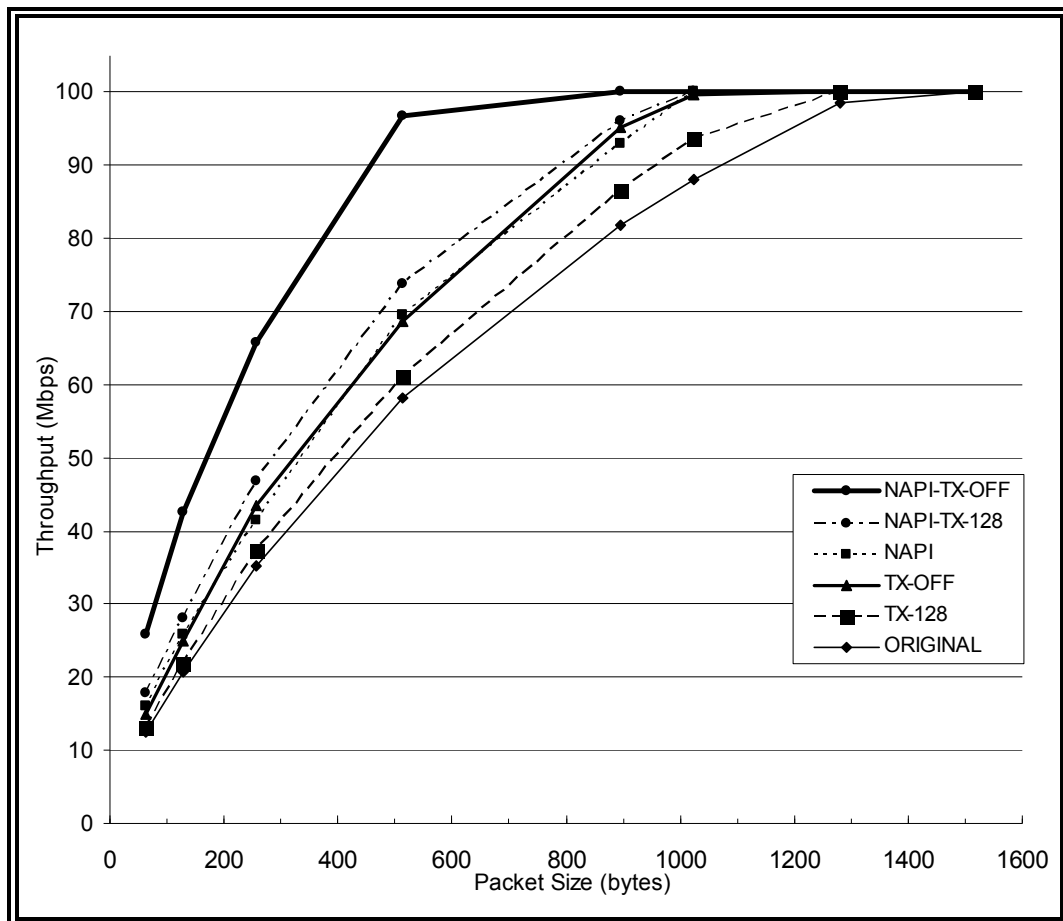
Οι μετρήσεις του παραπάνω πίνακα μπορούν να είναι αντικειμενικές μόνο μέχρι το μέγεθος των 512 bytes. Όπως φαίνεται και στον πίνακα, για μεγέθη πακέτων άνω των 512 bytes η έκδοση NAPI+TxOFF παρουσιάζει συνολική απόδοση μεγαλύτερη από 100 Mbps και δεν μπορεί να παρουσιαστεί καθώς ξεπερνάει τη δυνατότητα μέτρησης από την πειραματική διάταξη. Σε περαιτέρω παραγράφους θα παρουσιάσουμε ένα θεωρητικό μοντέλο με βάση το οποίο μπορούμε να επεκτείνουμε τις πειραματικές μετρήσεις και να υπολογίσουμε τη μέγιστη απόδοση του συστήματος ακόμα και όταν ξεπερνά τα 100 Mbps.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η ποσοστιαία βελτίωση για καθένα από τα προγράμματα οδήγησης σε σχέση με το αυθεντικό πρόγραμμα. Από τον πίνακα είναι σαφές ότι η βελτίωση της απόδοσης είναι ιδιαίτερα αυξημένη όταν χρησιμοποιούνται συνδυαστικές τεχνικές διαχείρισης των διακοπών. Επίσης είναι φανερό ότι η βελτίωση είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των πακέτων μικρού μεγέθους καθώς ο ρυθμός άφιξης των πακέτων αυτών είναι μεγάλος και επομένως αντίστοιχα μεγάλος είναι ο αριθμός των διακοπών.

Packet Size (bytes)	TX-128	NAPI	TX-OFF	NAPI-TX-128	NAPI-TX-OFF
64	6,10%	21,16%	28,87%	44,05%	108,77%
128	4,44%	19,26%	23,00%	32,46%	103,46%
256	4,92%	22,36%	16,84%	31,91%	85,00%
512	3,50%	16,61%	17,98%	25,26%	63,95%
896	3,12%	13,51%	10,41%	14,64%	19,21%

Πίνακας 6-2: Συγκριτική βελτίωση της απόδοσης σε σχέση με το αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης.

Στο Σχήμα 6-4 παρουσιάζεται συνολικά η απεικόνιση της απόδοσης της δρομολόγησης της κίνησης από το σύστημα.



Σχήμα 6-4: Συγκριτική παρουσίαση της απόδοσης δρομολόγησης για τις 6 διαφορετικές υλοποιήσεις του προγράμματος οδήγησης.

6.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΕΡΦΟΡΤΩΣΗΣ.

Από τις αλλαγές στον τρόπο εξυπηρέτησης της εισερχόμενης και εξερχόμενης κίνησης παρατηρούμε μια σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος όσον αφορά στην δρομολόγηση της κίνησης από τη μια δικτυακή διεπαφή προς την άλλη. Ένα ακόμα ενδιαφέρον σημείο που πρέπει να διερευνηθεί, είναι η συμπεριφορά του συστήματος κατά την υπερφόρτωση του από κίνηση την οποία και δεν είναι σε θέση να δρομολογήσει επιτυχώς. Οι κλασσική μέθοδος εξυπηρέτησης των διακοπών προς τον επεξεργαστή, οδηγεί το σύστημα σε μια κατάσταση δυναμικού αδιεξόδου (receive livelock). Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα φαίνεται «παγωμένο» για όσο χρονικό διάστημα διατηρείται η ριπή της εισερχόμενης κίνησης. Μόλις το αίτιο που προκαλεί το πάγωμα του συστήματος εξαφανιστεί, το σύστημα επιστρέφει την κανονική λειτουργία του. Λόγω της υπερφόρτωσης του, το σύστημα δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσει καμία λειτουργία, ούτε καν να επεξεργαστεί τα εισερχόμενα πακέτα, αφού όλη η επεξεργαστική ισχύς αφιερώνεται στην εξυπηρέτηση των διακοπών της εισερχόμενης κίνησης.

Η τεχνική NAPI βοηθά το σύστημα να ξεπεράσει την κατάσταση υπερφόρτωσης και να διατηρήσει ένα σταθερό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης ανεξάρτητα από την εισερχόμενη κίνηση. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθεί πως οι συνδυαστικές τεχνικές μείωσης των Rx και Tx διακοπών μπορούν να βελτιώσουν ακόμα περισσότερο την συμπεριφορά του συστήματος υπό συνθήκες υπερφόρτωσης. Για την ανάλυση της συμπεριφοράς του συστήματος σε κατάσταση υπερφόρτωσης, θα πραγματοποιήσουμε δυο διαφορετικά πειράματα. Στο πρώτο θα ερευνήσουμε την συμπεριφορά του συστήματος στην περίπτωση που η δικτυακή κίνηση φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, ενώ στο δεύτερο πείραμα, για συγκεκριμένο μέγεθος πακέτου θα ερευνήσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος, όσον αφορά τον αριθμό των διακοπών που παρουσιάζονται, αλλά και στο ποσοστό της δρομολογούμενης κίνησης.

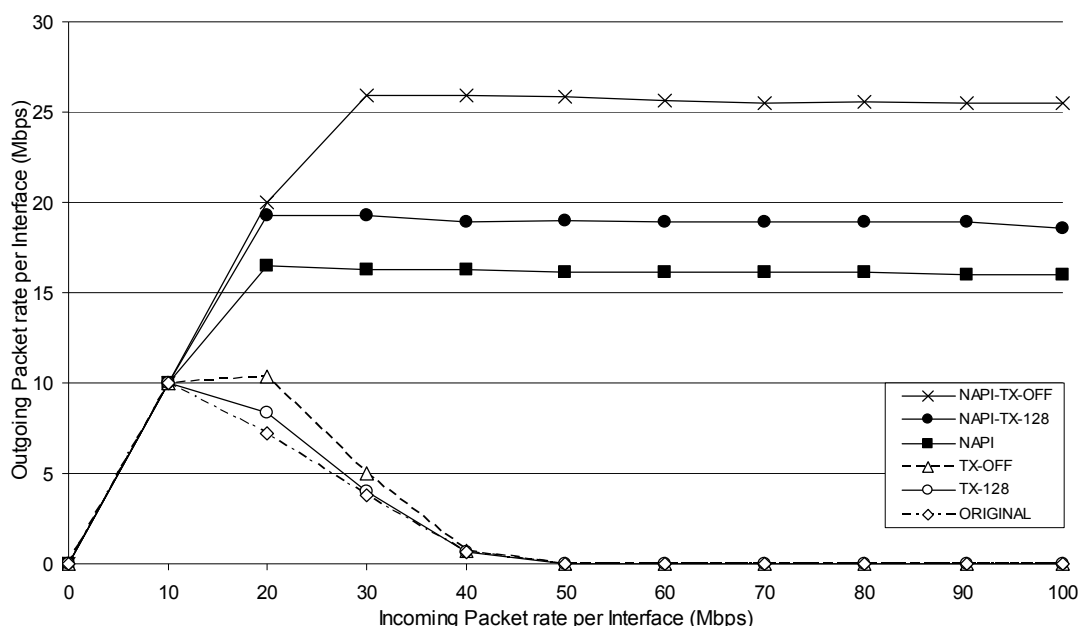
6.4.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΚΕΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΥΨΗΛΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.

Για τη διερεύνηση της ικανότητας του συστήματος να δρομολογεί την κίνηση σε συνθήκες υπερφόρτωσης, χρησιμοποιήσαμε την ίδια υποδομή όπως και στην περίπτωση του υπολογισμού της μέγιστης ταχύτητας δρομολόγησης. Σε διαφορετικά μεγέθη πακέτων, εκτελέστηκαν μια σειρά από πειράματα. Ξεκινώντας από πολύ μικρούς ρυθμούς μετάδοσης και φθάνοντας έως τα 100 Mbps εξετάζουμε την συμπεριφορά του συστήματος.

Για κάθε μέγεθος πακέτου το σύστημα έχει υπολογισθεί ότι έχει περιορισμένη ικανότητα δρομολόγησης. Αυξάνοντας σταδιακά την τιμή της εισερχόμενης κίνησης παρατηρούμε ότι

για τις εκδόσεις των προγραμμάτων οδήγησης όπου το NAPI δεν είναι ενσωματωμένο, το σύστημα παρουσιάζει το φαινόμενο της κατάρρευσης. Μόλις η τιμή της εισερχόμενης κίνησης ξεπεράσει τη μέγιστη τιμή της ικανότητας δρομολόγησης του συστήματος, αυτό αρχίζει να χάνει σημαντικά σε απόδοση. Αν ο ρυθμός της εισερχόμενης κίνησης συνεχίσει να αυξάνεται, τότε το σύστημα παύει να εξυπηρετεί οποιοδήποτε εισερχόμενο πακέτο και ο ρυθμός μετάδοσης πέφτει δραματικά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-5, στην περίπτωση του μεγέθους πακέτου 64 bytes η απόδοση του συστήματος πέφτει στο 0.

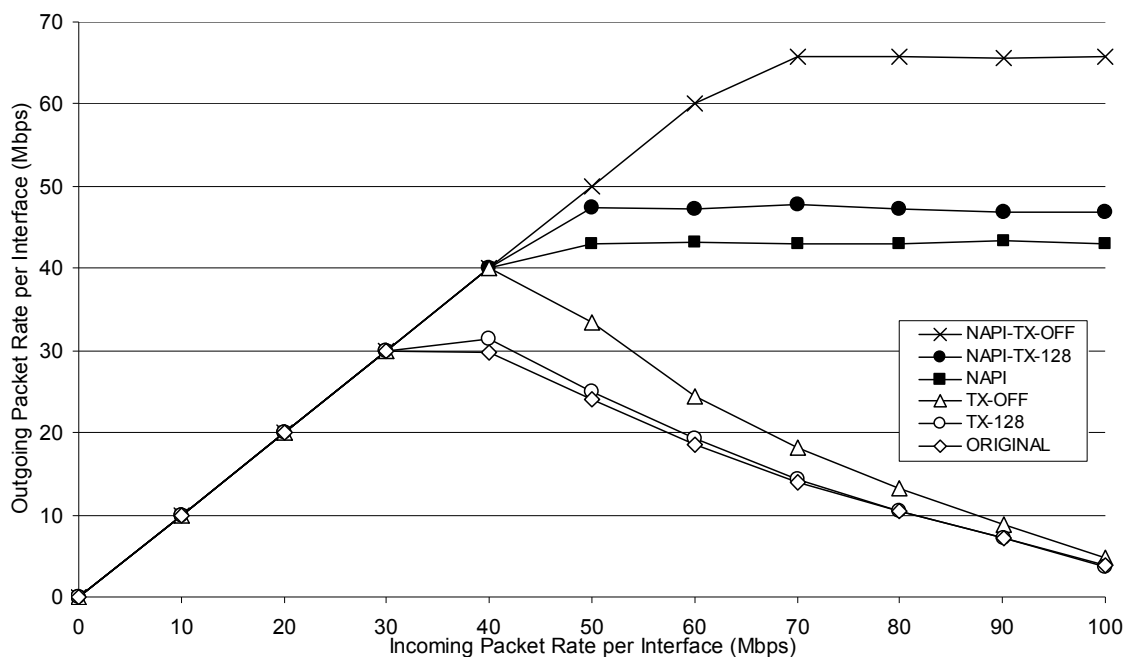
Στην περίπτωση όπου η επιλογή NAPI είναι ενεργοποιημένη στον driver, τότε το σύστημα συμπεριφέρεται με πολύ μεγαλύτερη ευστάθεια. Μόλις η εισερχόμενη κίνηση ξεπεράσει τη μέγιστη τιμή της ικανότητας του, το σύστημα συνεχίζει να είναι σε θέση να δρομολογεί στο μέγιστο δυνατό ρυθμό την κίνηση.



Σχήμα 6-5: Συμπεριφορά προγραμμάτων οδήγησης σε συνθήκες υπερφόρτωσης για μέγεθος πακέτου 64 bytes.

Όσο το μέγεθος των πακέτων αυξάνει, τόσο το φαινόμενο εμφανίζεται λιγότερο έντονο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-6, για τις περιπτώσεις των drivers που δεν έχουν υλοποιημένο το NAPI και για την περίπτωση πακέτων μεγέθους 256 bytes το σύστημα ακόμα και στη μέγιστο ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης των πακέτων δεν σταματά να μεταδίδει έστω και ένα μικρό ποσοστό της εισερχόμενης κίνησης. Στις περιπτώσεις όπου το NAPI είναι ενεργοποιημένο, το σύστημα συνεχίζει να μεταδίδει στο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης ακόμα και αν ο ρυθμός άφιξης στη γραμμή φτάσει τη μέγιστη ονομαστική τιμή.

Είναι απαραίτητο εδώ να τονίσουμε πως από πλευράς σταθερότητας του συστήματος, η τεχνική NAPI επιτρέπει την αδιατάρακτη λειτουργία του. Στην περίπτωση όμως που η τεχνική NAPI συνδυαστεί και με τη μείωση των διακοπών στην μετάδοση των πακέτων τότε το επιπλέον χαρακτηριστικό των προγραμμάτων οδήγησης είναι η σημαντική αύξηση της απόδοσης δρομολόγησης.



Σχήμα 6-6: Συμπεριφορά προγραμμάτων οδήγησης σε συνθήκες υπερφόρτωσης για μέγεθος πακέτου 256 bytes.

6.4.2 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .

Για την εκτέλεση του συγκεκριμένου πειράματος, χρησιμοποιούμε τις εκδόσεις των προγραμμάτων οδήγησης ORIGINAL, TX-OFF, NAPI και NAPI-TX-OFF, καθώς αποτελούν τις πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις τροποποιημένων προγραμμάτων οδήγησης. Η πειραματική διάταξη για την εκτέλεση του πειράματος, παραμένει αμετάβλητη. Για πακέτα μεγέθους 512 bytes και για ταυτόχρονη αμφίδρομη μετάδοση πακέτων και από τις 2 διεπαφές αποστέλλουμε 1.000.000 πακέτα φτάνοντας το ρυθμό μετάδοσης στη μέγιστη τιμή του (100Mbps). Σκοπός του πειράματος είναι να μετρήσουμε τον αριθμό των πακέτων που το σύστημα είναι σε θέση να δεχθεί και να αποστείλει με επιτυχία, αλλά και τον αριθμό των διακοπών που απαιτήθηκαν προκειμένου να δρομολογηθεί η συγκεκριμένη κίνηση. Ο Πίνακας 6-3 παρουσιάζει συνοπτικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

Driver Version	Rx Frames	Tx Frames	Rx Ints	Tx Ints
ORIGINAL	2000000	523778	1973554	517596
TX-OFF	2000000	540419	1966224	0
NAPI ONLY	1372361	1372263	5	1371962
NAPI-TX-OFF	1932991	1932970	7	0

Πίνακας 6-3: Μετάδοση 1M πακέτων μεγέθους 512 bytes σε ρυθμό μετάδοσης 100Mbps.

Στον παραπάνω πίνακα, το πεδίο RX Frames αναφέρεται στον αριθμό των πακέτων τα οποία το σύστημα αντιλαμβάνεται ότι έχουν καταφθάσει στην διεπαφή του. Μελετώντας προσεκτικά τα αποτελέσματα του πίνακα, μπορούμε να εξάγουμε ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα.

Στις περιπτώσεις των προγραμμάτων ORIGINAL και TX-OFF, στα προγράμματα οδήγησης δηλαδή όπου η τεχνική NAPI δεν είναι ενσωματωμένη, το σύστημα αντιλαμβάνεται όλα τα εισερχόμενα πακέτα τα οποία και καταφθάνουν στις διεπαφές του. Σύμφωνα με τα όσα έχουμε ήδη αναλύσει, τα πακέτα αυτά αντιγράφονται στη μνήμη και αναμένουν περαιτέρω επεξεργασία και μετάδοση. Από τα πακέτα αυτά όμως, μόνο ένα ποσοστό καταφέρνει να μεταδοθεί τελικά. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται επειδή ακριβώς το σύστημα είναι ιδιαίτερα απασχολημένο στο να λαμβάνει τα εισερχόμενα πακέτα και να τα αντιγράφει στη μνήμη. Είναι τόσο μεγάλος ο φόρτος εργασίας για τη συγκεκριμένη λειτουργία και εκτελείται με υψηλή προτεραιότητα που ενώ όλα τα εισερχόμενα πακέτα αντιγράφονται στη μνήμη, το σύστημα δεν προλαβαίνει να αδειάσει την backlog queue με αποτέλεσμα αυτή να υπερχειλίζει και τα πακέτα τελικά να χάνονται. Παρ' όλα αυτά το σύστημα έχει καταβάλλει ιδιαίτερα υψηλή και έντονη προσπάθεια να αντεπεξέρθει στην εισερχόμενη κίνηση, με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες λειτουργίες του να μην μπορούν να εκτελεστούν.

Στην περίπτωση των προγραμμάτων οδήγησης που ενσωματώνουν την τεχνική NAPI, παρατηρούμε ότι ο αριθμός των διακοπών που εμφανίζονται στην εισερχόμενη κίνηση είναι σχεδόν μηδενικός. Παρ' όλα αυτά το σύστημα δεν μπορεί να αντιληφθεί την άφιξη όλων των εισερχόμενων πακέτων. Από τα πακέτα όμως που το σύστημα τελικά λαμβάνει, όλα αποστέλλονται σωστά. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται ως εξής : Λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν σήματα διακοπής για όλα τα εισερχόμενα πακέτα, κάποια από αυτά δεν θα εξυπηρετηθούν άμεσα (λόγω των περιορισμών των backlog queue και NAPI weight) αλλά μετά από τη ενεργοποίηση softIRQs. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο δακτύλιος εξυπηρέτησης της εισερχόμενης κλήσης να μην αδειάζει αρκετά γρήγορα και επομένως τα νεοεισερχόμενα πακέτα να γράφονται πάνω στα παλαιότερα.

Παρατηρούμε ότι και στους δυο τύπους προγράμματος οδήγησης (με ή χωρίς NAPI) υπάρχουν πακέτα τα οποία λόγω αδυναμίας του συστήματος δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν. Η βασική διαφορά είναι ότι στην δεύτερη περίπτωση, η τελική απόρριψη τους γίνεται αφού τα πακέτα έχουν απασχολήσει για αρκετή ώρα το σύστημα (ενεργοποίηση σήματος διακοπής, αντιγραφή στη μνήμη) ενώ στην περίπτωση NAPI driver τα πακέτα απορρίπτονται, χωρίς καν το σύστημα να αντιληφθεί την παρουσία τους αφού ο χειρισμός του δακτυλίου της εισερχόμενης κίνησης ανήκει αποκλειστικά στον ελεγκτή της δικτυακής διεπαφής. Με τον τρόπο αυτό το σύστημα δεν φτάνει σε κατάσταση υπερφόρτωσης, εξυπηρετεί τελικά πολύ μεγαλύτερο όγκο δικτυακής κίνησης, ενώ παράλληλα διατηρεί μια μέγιστη σταθερή τιμή ταχύτητας δρομολόγησης.

Τα προγράμματα οδήγησης που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα και ενσωματώνουν το NAPI είναι 2 : το πρόγραμμα NAPI και το πρόγραμμα NAPI-TX-OFF. Στην δεύτερη περίπτωση παρατηρούμε ότι είναι πολύ μεγαλύτερος ο αριθμός των πακέτων που τελικά δρομολογούνται. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται επειδή πέρα από τα πλεονεκτήματα που τεχνική NAPI αποφέρει στο σύστημα, η ολική απενεργοποίηση των διακοπών της εξερχόμενης κίνησης ελευθερώνει ακόμα μεγαλύτερο ποσοστό από τα resources του συστήματος και του επιτρέπει να διατηρήσει το μέγιστο ρυθμό δρομολόγησης.

6.5 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΩΝ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν μια σειρά από διαδικασίες οι οποίες και λαμβάνουν χώρα κατά τη λήψη ή την αποστολή ενός πακέτου από και προς το δίκτυο αντίστοιχα. Οι διαδικασίες αυτές είναι απαραίτητες για την επεξεργασία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Στις επόμενες παραγράφους, θα γίνει μια ανάλυση των επιμέρους αυτών διαδικασιών. Μέσα από την ανάλυση αυτή θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο με βάση το οποίο μπορούν να ερμηνευτούν ικανοποιητικά οι λόγοι για τους οποίους και οι διάφορες τεχνικές περιορισμού των διακοπών βελτιώνουν την απόδοση του συστήματος.

Θα ξεκινήσουμε από τον τυπικό/ αυθεντικό τύπο του προγράμματος οδήγησης το οποίο και είναι ενσωματωμένο στο λειτουργικό σύστημα Linux και θα θεωρήσουμε ένα πακέτο το οποίο και καταφθάνει στο σύστημα με σκοπό τελικά να μεταδοθεί και πάλι από την διεπαφή Ethernet.

Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων, μπορούμε να εξάγουμε τους απαιτούμενους χρόνους για την εξυπηρέτηση ενός πακέτου που καταφθάνει στο σύστημα και επαναδρομολογούνται προς τον προορισμό τους. Η βασική υπόθεση που πρέπει να κάνουμε, είναι ότι το σύστημα, για τα μεγέθη των πακέτων για τα οποία και δεν μπορεί να δρομολογήσει σε μέγιστο ρυθμό αφιερώνει όλο τον επεξεργαστικό του χρόνο στην

εξυπηρέτηση των πακέτων. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε, ότι το σύστημα επιτελεί και μια σειρά από δευτερεύουσες λειτουργίες, οι οποίες όμως δεν απασχολούν το σύστημα σε σημαντικό βαθμό. Επιπλέον, το φορτίο που αυτές επιφέρουν στο σύστημα είναι σταθερό ανεξαρτήτως της κίνησης που το σύστημα δρομολογεί και επομένως μπορούν να θεωρηθούν σαν ένα σταθερό υπόβαθρο το οποίο και δεν επηρεάζει το συνολικό αποτέλεσμα των μετρήσεων.

6.5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ORIGINAL LINUX DRIVER.

Μόλις ο ελεγκτής της Ethernet διεπαφής αντιληφθεί την άφιξη ενός πακέτου, ειδοποιεί τον Κεντρικό Επεξεργαστή μέσω του Interrupt Σήματος. Ο επεξεργαστής αποθηκεύει την πληροφορία της τρέχουσας διεργασίας και αμέσως καλεί την ρουτίνα εξυπηρέτησης του σήματος διακοπής. Ο χρόνος που απαιτείται για την αποθήκευση των δεδομένων αυτών αλλά και για να ξεκινήσει η εκτέλεση της επεξεργασίας του σήματος διακοπής θεωρούμε ότι είναι $T_{CS(IN)}$ (*Time for Context Switching INTO Interrupt*). Ο χρόνος που απαιτείται για την συνολική εκτέλεση των διαδικασιών της λήψης ενός πακέτου στη συγκεκριμένη έκδοση του driver εκτελούνται μέσα στην ISR και θεωρούμε ότι είναι $T_{TOTAL(RX)}$ (*Total Time for Reception of Incoming Traffic*). Ο χρόνος αυτός μπορεί επιπλέον να αναλυθεί σε 2 επιμέρους χρόνους. Η βασική λειτουργία που το πρόγραμμα οδήγησης επιτελεί, είναι η μεταβίβαση των δεδομένων από τον κυκλικό δακτύλιο εισαγωγής προς την κεντρική μνήμη προκειμένου το πακέτο υποστεί επιπλέον επεξεργασία. Ο χρόνος που μια τέτοια διαδικασία απαιτεί εξαρτάται από τη συχνότητα χρονισμού του διαύλου επικοινωνίας κεντρικού επεξεργαστή και μνήμης καθώς και από το μέγεθος σε bytes του πακέτου. Ο χρόνος για τη διαδικασία μεταβίβασης του πακέτου είναι T_{COPY} (*Time to Copy Data*). Παράλληλα, επιτελούνται και κάποιοι ακόμα έλεγχοι αλλά και άλλες λειτουργίες οι οποίοι και απαιτούν χρόνο T_{RX} . Έτσι, ο συνολικός χρόνος για τη λήψη αναλύεται σε:

$$T_{TOTAL(RX)} = T_{RX} + T_{COPY}$$

Εξίσωση 1

Ο επεξεργαστής επιστρέφει από την εξυπηρέτηση της διακοπής στην κανονική λειτουργία του και αυτό απαιτεί χρόνο $T_{CS(OUT)}$ (*Time for Context Switching OUT OF Interrupt*). Εν συνεχεία το πακέτο παραδίδεται στα παραπάνω στρώματα προκειμένου να γίνει η επεξεργασία του.

Στη μελέτη μας θα θεωρήσουμε πακέτα τα οποία και πρόκειται να επαναπροωθηθούν προς κάποιο επόμενο προορισμό. Στην περίπτωση αυτή, η στοίβα του πρωτοκόλλου IP θα αντιληφθεί ότι το πακέτο που μόλις παραλήφθηκε πρέπει να αποσταλεί και πάλι στο δίκτυο. Ο χρόνος που απαιτείται από το λειτουργικό σύστημα για την IP επεξεργασία του πακέτου θεωρούμε ότι είναι T_{IP} (Time for IP Processing). Τα δεδομένα θα παραδοθούν προς το πρόγραμμα οδήγησης της δικτυακής διεπαφής που θα τα προωθήσει. Στην περίπτωση μας πρόκειται για μια δεύτερη ανεξάρτητη διεπαφή Ethernet.

Με το επιτυχές πέρας της αποστολής του πακέτου θα δημιουργηθεί μια διακοπή που θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από τον επεξεργαστή. Για την μετάβαση του επεξεργαστή στην ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής απαιτείται χρόνος $T_{CS(OUT)}$ ενώ για τις διαδικασίες που εκτελούνται από την ίδια τη ρουτίνα εξυπηρέτησης απαιτείται χρόνος $T_{TOTAL(TX)}$. Στη συγκεκριμένη έκδοση οι λειτουργίες αυτές εκτελούνται μέσα στην ISR. Ο συνολικός αυτός χρόνος μπορεί να αναλυθεί σε 2 επιμέρους χρόνους. Ο πρώτος αφορά στη χρονοβόρο διαδικασία της απελευθέρωσης των socket buffers. Ο χρόνος αυτός $T_{FREE-SKB}$ αποτελεί το κυριότερο μέρος του συνολικού χρόνου $T_{TOTAL(TX)}$. Επιπλέον πραγματοποιούνται και επιμέρους λειτουργίες που καταλαμβάνουν χρόνο T_{TX} . Έτσι, ο συνολικός χρόνος για την αποστολή ενός πακέτου είναι:

$$T_{TOTAL(TX)} = T_{TX} + T_{FREE-SKB}$$

Εξίσωση 2

Ο επεξεργαστής και πάλι επιστρέφει στην κανονική του λειτουργία και γι' αυτό απαιτείται χρόνος $T_{CS(OUT)}$. Συνολικά λοιπόν ο χρόνος που απαιτείται να απασχολείται ο επεξεργαστής για τη λήψη, την επεξεργασία και την εκπομπή ενός πακέτου είναι :

$$T_{TOTAL} = 2 \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Εξίσωση 3

Οι παραπάνω χρόνοι ισχύουν για την περίπτωση της αυθεντικής έκδοσης του προγράμματος οδήγησης του πυρήνα του Linux. Θα δούμε πως οι χρόνοι αυτοί μεταβάλλονται για την εξυπηρέτηση της εισερχόμενης και της εξερχόμενης κίνησης μέσω των βελτιωμένων εκδόσεων του προγράμματος οδήγησης της Ethernet διεπαφής.

Μελετώντας πιο προσεκτικά τους παραπάνω χρόνους, μπορεί κανείς να τους χωρίσει σε 2 κατηγορίες [34]: τους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους. Οι σταθεροί χρόνοι είναι εκείνοι οι οποίοι και δεν μεταβάλλονται από το μέγεθος του πακέτου και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Τέτοιοι είναι οι παρακάτω χρόνοι: T_{RX} , T_{TX} , $T_{CS(IN)}$,

$T_{CS(OUT)}$. Οι χρόνοι αυτοί δεν επηρεάζονται από το ρυθμό μετάδοσης του δικτύου, το ρυθμό άφιξης των πακέτων ή το μέγεθος τους, αλλά εξαρτώνται αποκλειστικά από τη συχνότητα λειτουργίας του επεξεργαστή και την υλοποίηση του λειτουργικού συστήματος.

Στους μεταβλητούς χρόνους περιλαμβάνονται οι χρόνοι T_{COPY} . Ο χρόνος αντιγραφής του πακέτου από τον δακτύλιο στην κεντρική μνήμη. Από τις σειρές των μετρήσεων μπορεί κανείς να ποσοτικοποιήσει τα μεγέθη αυτά και να αντιληφθεί τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλονται ανάλογα του προγράμματος οδήγησης που χρησιμοποιείται.

Η Εξίσωση 3 μπορεί να απλοποιηθεί και να μετατραπεί σε μια εξίσωση που να αποτελείται από 2 παράγοντες: έναν που να ενοποιεί τους σταθερούς χρόνους εξυπηρέτησης των διακοπών και ένα δεύτερο που να περιέχει τους χρόνους που εξαρτώνται από το μέγεθος του πακέτου. Έτσι η μορφή της μπορεί να είναι:

$$T_{TOTAL} = T_A + K \cdot S$$

Εξίσωση 4

$$\text{όπου } T_A = 2 \cdot (T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}) + T_{RX} + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB}),$$

K είναι μια σταθερά της οποίας την τιμή και θα προσδιορίσουμε,

ενώ **S** είναι το μέγεθος σε bytes του δρομολογούμενου πακέτου. Το **K** αποτελεί μια σταθερά που χαρακτηρίζει το σύστημα και δεν εξαρτάται από το πρόγραμμα οδήγησης της διεπαφής. Αφορά στην ικανότητα του συστήματος να μεταφέρει δεδομένα από τη διεπαφή προς την κεντρική μνήμη του.

Στη διάρκεια της εξυπηρέτησης του πακέτου από το σύστημα πρέπει να καταγράψουμε ένα ακόμα χρόνο που είναι σημαντικός όσον αφορά στην απόδοση της δρομολόγησης. Είναι ο χρόνος κατά τον οποίο είναι δυνατή η εμφάνιση μιας διακοπής προς τον επεξεργαστή. Για το πρόγραμμα οδήγησης ORIGINAL κατά τη διάρκεια της δρομολόγησης ενός πακέτου, οι χρόνοι κατά τους οποίους το σύστημα είναι δυνατό να μπορεί να δέχεται διακοπές είναι :

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP}$$

Για το αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης ο χρόνος κατά τον οποίο είναι δυνατή η εμφάνιση διακοπών είναι ο χρόνος στον οποίο το χρόνο επεξεργάζεται τα πακέτα σε επίπεδο IP. Ο χρόνος αυτός αποτελεί ένα μικρό μέρος του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του. Το γεγονός αυτό συντελεί στη χαμηλή απόδοση που το αυθεντικό πρόγραμμα οδήγησης παρουσιάζει.

6.5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ TX-128 DRIVER.

Για την εξυπηρέτηση των πακέτων από τον driver TX-128, οι χρόνοι εξυπηρέτησης του πακέτου μπορεί να εξαχθούν με βάση την ανάλυση που κάναμε για τον Original Driver. Η διαφορά είναι ότι κατά την αποστολή ενός πακέτου, δεν προκαλείται διακοπή προς τον επεξεργαστή, παρά μόνο κατά το 128^ο πακέτο που προκειται να μεταδοθεί. Έτσι, το σύστημα για κάθε 128 μεταδιδόμενα πακέτα, κάνει μόνο 2 Context Switches.

Ο χρόνος που απαιτείται για τις λειτουργίες της λήψης των πακέτων είναι :

$$T_{TOTAL(RX)} = T_{RX} + T_{COPY}$$

Εξίσωση 5

Ο χρόνος που απαιτείται για τις λειτουργίες της αποστολής των πακέτων είναι :

$$T_{TOTAL(TX)} = T_{TX} + T_{FREE-SKB}$$

Εξίσωση 6

Ο συνολικός λοιπόν χρόνος που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα πακέτο που καταφθάνει στη μια Ethernet διεπαφή και στη συνέχεια προωθείται προς την άλλη, είναι :

$$T_{TOTAL} = T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + \frac{1}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB}) \Rightarrow$$

$$T_{TOTAL} = \frac{129}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Εξίσωση 7

Μπορούμε και σε αυτή την περίπτωση του προγράμματος οδήγησης να υποθέσουμε ότι ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης αποτελείται από 2 παράγοντες που αφορούν στους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$T_{TOTAL} = T_B + K \cdot S$$

Εξίσωση 8

$$\text{όπου } T_B = \frac{129}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + T_{RX} + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Από την Εξίσωση 4 και την Εξίσωση 8 μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τον χρόνο $[T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}]$. Στην περίπτωση αυτού του driver, ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να μπορεί να δέχεται interrupts είναι:

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP} + \frac{127}{128}(T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)})$$

Εξίσωση 9

Ο χρόνος αυτός είναι σχετικά μικρός και για το λόγο αυτό δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στην επίδοση του driver αυτού σε σχέση με τον original driver.

6.5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ TX-OFF DRIVER.

Για την εξυπηρέτηση των πακέτων από τον driver TX-OFF, οι χρόνοι εξυπηρέτησης του πακέτου μπορεί να εξαχθούν με βάση την ανάλυση που κάναμε για τον Original Driver αλλά και τον TX-128 Driver. Η διαφορά είναι ότι κατά την αποστολή ενός πακέτου, δεν προκαλείται ποτέ και καμία διακοπή προς τον επεξεργαστή. Ο συνολικός λοιπόν χρόνος που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα πακέτο που καταφθάνει στη μια Ethernet διεπαφή και στη συνέχεια προωθείται προς την άλλη, είναι :

$$T_{TOTAL} = T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX}$$

Εξίσωση 10

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου driver, ο χρόνος $T_{TOTAL(TX)}$ της παραπάνω εξίσωσης αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών που κανονικά θα επιτελούντο κατά την κλήση της ISR συνάρτησης για την εξυπηρέτηση μιας Tx διακοπής. Οι διαδικασίες αυτές, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην έκδοση αυτή του προγράμματος οδήγησης, πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της αποστολής ενός πακέτου. Ισχύει ότι :

$$T_{TOTAL(TX)} = T_{TX} + T_{FREE-SKB}$$

Εξίσωση 11

Επίσης ο χρόνος $T_{FREE-SKB}$ που απαιτείται για τη απελευθέρωση των socket buffers έχει τη βασική διαφορά ότι δεν απαιτείται να γίνει με τα interrupts του επεξεργαστή απενεργοποιημένα.

Μπορούμε και σε αυτή την περίπτωση του προγράμματος οδήγησης να υποθέσουμε ότι ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης αποτελείται από 2 παράγοντες που αφορούν στους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$T_{TOTAL} = T_C + K \cdot S$$

Εξίσωση 12

$$\text{όπου } T_C = T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB}).$$

Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να δεχτεί interrupts είναι :

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP} + T_{FREE-SKB}$$

Εξίσωση 13

Ο χρόνος $T_{FREE-SKB}$ αποτελεί ένα σημαντικό χρόνο, για αυτό και οι επιδόσεις του συγκεκριμένου προγράμματος οδήγησης εμφανίζονται βελτιωμένες.

6.5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI DRIVER.

Για την εξυπηρέτηση των πακέτων από τον driver NAPI, οι χρόνοι εξυπηρέτησης του πακέτου μπορεί να εξαχθούν με βάση την ανάλυση που κάναμε για τον Original Driver αλλά και τον TX-128 Driver. Η διαφορά είναι ότι κατά τη λήψη ενός πακέτου, ο συνολικός αριθμός των διακοπών είναι σημαντικά μειωμένος. Για την περίπτωση όπου έχουμε μεγάλο φόρτο εισερχόμενης κίνησης, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο αριθμός των παραγόμενων διακοπών τείνει στο μηδέν. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα πακέτο που καταφθάνει στη μια Ethernet διεπαφή και στη συνέχεια προωθείται προς την άλλη, είναι :

$$T_{TOTAL} = T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Εξίσωση 14

Ο χρόνος $T_{ISR(RX)}$ της παραπάνω εξίσωσης αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών που κανονικά θα επιτελούντο κατά την κλήση της ISR συνάρτησης για την εξυπηρέτηση μιας Rx διακοπής. Οι διαδικασίες αυτές, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην έκδοση αυτή του προγράμματος οδήγησης, πραγματοποιούνται πλέον σε άλλο χρονικό σημείο από την εμφάνιση της διακοπής και όχι μέσα στην ISR που εξυπηρετεί την εισερχόμενη κίνηση. Για το λόγο αυτό και ο χρόνος $T'_{ISR(RX)}$ διαφέρει από τον χρόνο $T_{ISR(RX)}$ που εμφανίζεται στις προηγούμενες εξισώσεις.

Μπορούμε και σε αυτή την περίπτωση του προγράμματος οδήγησης να υποθέσουμε ότι ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης αποτελείται από 2 παράγοντες που αφορούν στους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$T_{TOTAL} = T_D + K \cdot S$$

Εξίσωση 15

$$\text{όπου } T_D = T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + T_{RX} + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB}).$$

Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να δεχτεί interrupts είναι :

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP} + T_{COPY}$$

6.5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI-TX128 DRIVER.

Για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου που απαιτείται για τη λήψη και μετάδοση από το συγκεκριμένο driver μπορούμε να συνδυάσουμε την ανάλυση που έχει προηγηθεί για τους drivers NAPI & TX128. Έτσι, ο συνολικός χρόνος που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα πακέτο που καταφθάνει στη μια Ethernet διεπαφή και στη συνέχεια προωθείται προς την άλλη, είναι :

$$T_{TOTAL} = \frac{1}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Εξίσωση 16

Ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης αποτελείται από 2 παράγοντες που αφορούν στους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$T_{TOTAL} = T_E + K \cdot S$$

Εξίσωση 17

$$\text{όπου } T_E = \frac{1}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + T_{RX} + T_{IP} + T_{TX}.$$

Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να δεχτεί interrupts είναι :

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP} + T_{COPY} + T_{RX}$$

6.5.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ NAPI-TX-OFF DRIVER.

Για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου που απαιτείται για τη λήψη και μετάδοση από το συγκεκριμένο driver μπορούμε να συνδυάσουμε την ανάλυση που έχει προηγηθεί για τους drivers NAPI & TX-OFF. Έτσι, ο συνολικός χρόνος που απαιτείται προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα πακέτο που καταφθάνει στη μια Ethernet διεπαφή και στη συνέχεια προωθείται προς την άλλη, είναι :

$$T_{TOTAL} = (T_{RX} + T_{COPY}) + T_{IP} + (T_{TX} + T_{FREE-SKB})$$

Εξίσωση 18

Ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης αποτελείται από 2 παράγοντες που αφορούν στους σταθερούς και τους μεταβλητούς χρόνους εξυπηρέτησης. Η συνάρτηση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$T_{TOTAL} = T_F + K \cdot S$$

Εξίσωση 19

$$\text{όπου } T_F = T_{RX} + T_{IP} + T_{TX} + T_{FREE-SKB}.$$

Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος κατά τον οποίο το σύστημα είναι σε θέση να δεχτεί interrupts είναι :

$$T_{INTS-ENABLED} = T_{IP} + T_{COPY} + T_{RX} + T_{TX} + T_{FREE-SKB}$$

Εξίσωση 20

Ο Πίνακας 6-4 παρουσιάζει συνοπτικά τους χρόνους επεξεργασίας για καθένα από τα προγράμματα οδήγησης.

Driver.	Total Packet Process Time.	Interrupts Enabled Time.	Interrupt Rate
ORIGINAL	$2 \cdot (T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}) + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	T_{IP}	$2R$
TX-128	$\frac{129}{128} \cdot (T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}) + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	T_{IP}	$\left(\frac{129}{128}\right)R$
TX-OFF	$T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	$T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	R
NAPI	$T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)} + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	$T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP}$	R
NAPI-TX-128	$\frac{1}{128} \cdot [T_{CS(IN)} + T_{CS(OUT)}] + T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	$T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP}$	$\left(\frac{1}{128}\right)R$
NAPI-TX-OFF	$T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	$T_{RX} + T_{COPY} + T_{IP} + T_{TX} + T_{SKB}$	~ 0

Πίνακας 6-4: Χρόνος επεξεργασίας πακέτων στις διαφορετικές εκδόσεις των προγραμμάτων οδήγησης.

Από τις τιμές του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε τα ακόλουθα:

- Ο συνολικός χρόνος επεξεργασίας ενός πακέτου είναι παραπλήσιος για όλες τις εκδόσεις. Βασική τους διαφορά έγκειται στο χρόνο T_{CS} ανάλογα με τον αριθμό των παραγόμενων διακοπών.
- Υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στο συνολικό αριθμό των διακοπών που φτάνουν προς τον επεξεργαστή για καθένα από τα προγράμματα οδήγησης.
- Η χρονική περίοδος κατά την οποία είναι ενεργοποιημένα τα interrupts είναι πολύ διαφορετικός για κάθε έκδοση. Στις περιπτώσεις NAPI και NAPI-Tx128 ο επεξεργαστής μπορεί να δεχτεί interrupts ακόμα και κατά τη διάρκεια των χρονοβόρων διεργασιών της αντιγραφής των δεδομένων προς τη μνήμη.
- Στην έκδοση NAPI-Tx-OFF το χρονικό αυτό διάστημα είναι ακόμα όπου οι διακοπές προς τον επεξεργαστή μπορούν να εμφανιστούν ακόμα και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απελευθέρωσης των socket buffers (T_{SKB}) η οποία αποτελεί επίσης μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία.

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της σύγκρισης των πραγματικών μετρήσεων με τις τιμές που προκύπτουν από το θεωρητικό μοντέλο.

Ο Πίνακας 6-5 παρουσιάζει τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στο θεωρητικό μοντέλο για τις εκδόσεις του προγράμματος οδήγησης.

Driver Version	TA(μsec)	K(μsec/byte)
ORIGINAL	25,8	0,02
TX-128	24,5	0,02
TX-OFF	20,5	0,02
NAPI ONLY	20,5	0,02
NAPI-TX-128	18,3	0,02
NAPI-TX-OFF	11,5	0,02

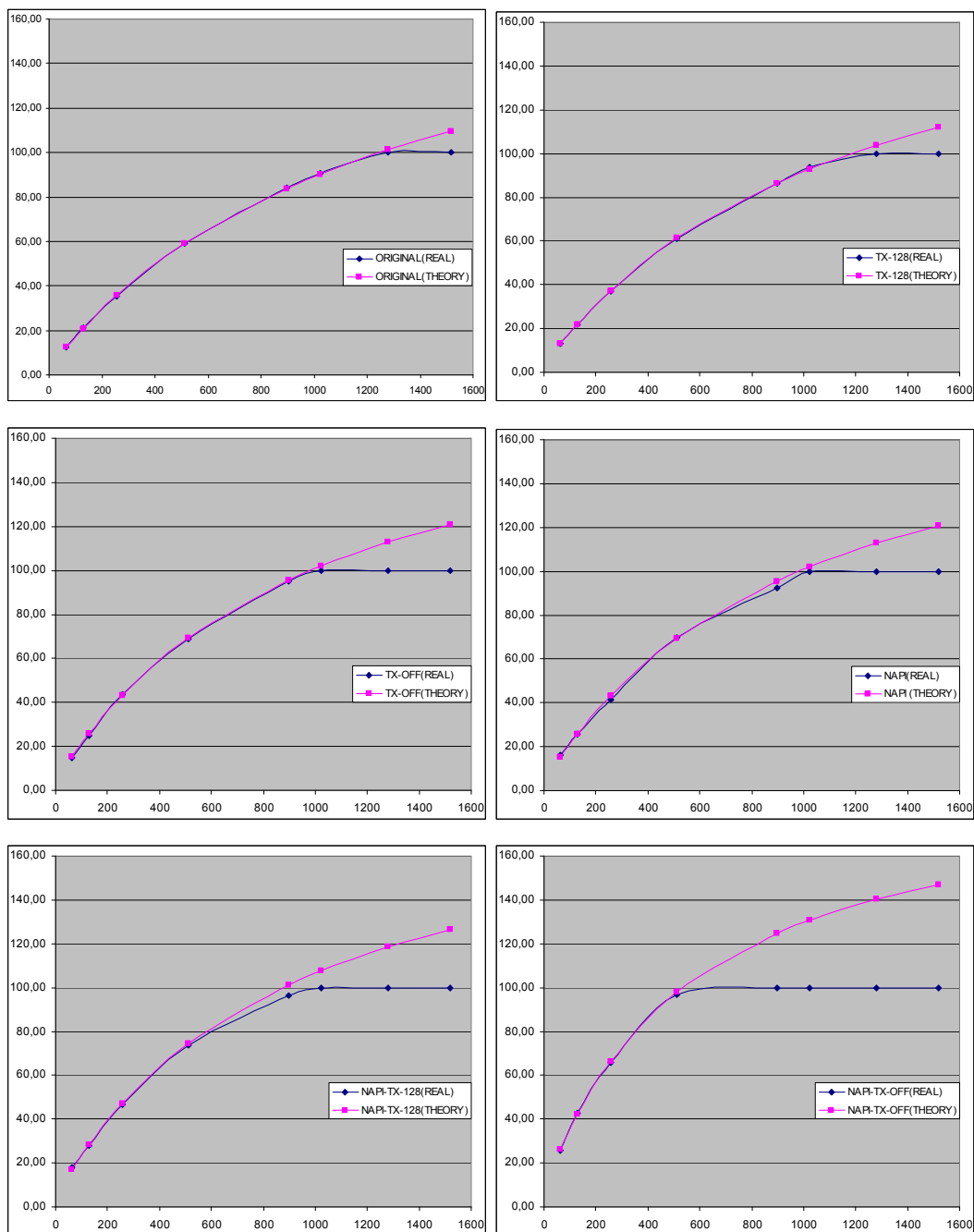
Πίνακας 6-5: Προσαρμογή του θεωρητικού μοντέλου στις διαφορετικές εκδόσεις των προγραμμάτων οδήγησης.

Από τις παραπάνω τιμές είναι φανερό ότι οι χρόνοι που απαιτούνται για την επεξεργασία ενός πακέτου είναι πολύ μειωμένοι στους εναλλακτικούς drivers σε σχέση με το βασικό πρόγραμμα οδήγησης. Η μείωση είναι μικρή στο πρόγραμμα οδήγησης TX-128 αλλά πολύ μεγαλύτερη στα υπόλοιπα. Ιδιαίτερα στο NAPI-TX-OFF η μείωση είναι ακόμα μεγαλύτερη και από το συνδυασμό της συνολικής μείωσης που επιτυγχάνουν μαζί τα NAPI και TX-OFF. Παρατηρώντας του παραπάνω πίνακες μπορούμε να εξάγουμε ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα προγράμματα οδήγησης NAPI και TX-OFF παρουσιάζουν μειωμένο ρυθμό παραγωγής διακοπών προς τον επεξεργαστή σε σύγκριση με το ORIGINAL πρόγραμμα οδήγησης. Παρ' όλα αυτά ο ρυθμός εξακολουθεί να είναι αρκετό υψηλός, με αποτέλεσμα η επεξεργασία της εισερχόμενης κίνησης να διακόπτεται συχνά.
- Στην έκδοση NAPI-TX-OFF ο ρυθμός των διακοπών σχεδόν μηδενίζεται σε συνθήκες υψηλού ρυθμού μετάδοσης των πακέτων. Με τον τρόπο αυτό, οι διεργασίες του συστήματος οι οποίες και είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μπορούν και λειτουργούν ανεπηρέαστες και επομένως εξαρτώνται μόνο από τον scheduler του λειτουργικού σε ότι αφορά το συνολικό χρόνο για τον οποίο επιτρέπεται να λειτουργούν. Οι διεργασίες επομένως «τρέχουν» με ντετερμινιστικό τρόπο και απεμπλέκονται από μη ντετερμινιστικά γεγονότα όπως είναι η άφιξη μιας διακοπής προς τον επεξεργαστή.

Ο Πίνακας 6-4 παρουσιάζει το συνολικό χρονικό διάστημα κατά την επεξεργασία ενός πακέτου κατά το οποίο το σύστημα είναι δυνατό να δεχθεί interrupts. Στην περίπτωση του προγράμματος οδήγησης NAPI-TX-OFF. Σε ένα απαιτητικό περιβάλλον όπως είναι τα embedded συστήματα και ιδιαίτερα υπό συνθήκες υψηλού δικτυακού φόρτου, μια τέτοια διαφοροποίηση του προγράμματος οδήγησης αποκτά μεγάλη σημασία.

Με βάση τις παραπάνω τιμές, προκύπτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-7. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι τιμές είναι συγκρίσιμες μεταξύ θεωρητικού μοντέλου και πραγματικών μετρήσεων, μόνο για τις περιπτώσεις όπου η μέγιστη τιμή της δρομολογούμενης κίνησης είναι μικρότερη από τα 100 Mbps. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις παρουσιάζεται η προβολή της δυνατής (σύμφωνα με το θεωρητικό μοντέλο) μέγιστης δρομολογούμενης κίνησης χωρίς αυτή να περιορίζεται από το μέγιστο των 100 Mbps.



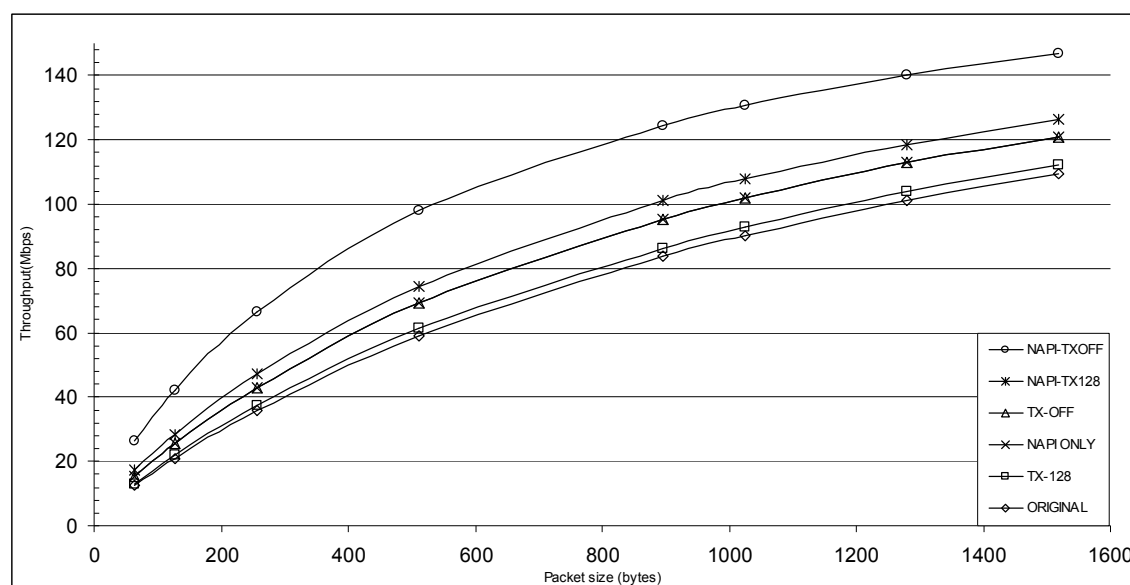
Σχήμα 6-7 : Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων με το θεωρητικό μοντέλο.

Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι το θεωρητικό μοντέλο προσομοιώνει με απόλυτη ακρίβεια την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος. Επίσης φαίνεται και ποια

θα ήταν η πραγματική ικανότητα δρομολόγησης του συστήματος στην περίπτωση όπου οι διεπαφές μπορούσαν να εξυπηρετήσουν ταχύτητες μετάδοσης υψηλότερες από τα 100 Mbps. Ο Πίνακας 6-6 και το Σχήμα παρουσιάζουν αναλυτικά αυτά αποτελέσματα.

Packet Size (bytes)	ORIGINAL (Mbps)	TX-128 (Mbps)	TX-OFF (Mbps)	NAPI (Mbps)	NAPI-TX-128 (Mbps)	NAPI-TX-OFF (Mbps)
64	12,41	13,03	15,43	15,43	17,16	26,29
128	20,87	21,88	25,67	25,67	28,38	42,10
256	35,70	37,27	43,09	43,09	47,14	66,43
512	59,05	61,26	69,23	69,23	74,56	97,89
896	83,81	86,38	95,37	95,37	101,16	124,54
1024	90,23	92,84	101,90	101,90	107,69	130,58
1280	101,17	103,80	112,80	112,80	118,46	140,17
1518	109,55	112,15	120,97	120,97	126,44	146,97

Πίνακας 6-6 : Απόδοση δρομολόγησης των προγραμμάτων οδήγησης με βάση το θεωρητικό μοντέλο.



Σχήμα 6-8 Απεικόνιση δρομολόγησης των προγραμμάτων οδήγησης με βάση το θεωρητικό μοντέλο

Από τα αποτελέσματα του πίνακα φαίνεται ότι ακόμα και για τις περιπτώσεις των μεγαλύτερων σε μέγεθος πακέτων, το σύστημα παρουσιάζει συνολική βελτίωση ανώτερη του 34%. Ακόμα δηλαδή και για την περίπτωση όπου ο ρυθμός άφιξης των διακοπών είναι σχετικά χαμηλός, το σύστημα έχει μεγάλο όφελος όσον αφορά στην ικανότητα δρομολόγησης κίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Φτάνοντας στο τέλος της διατριβής είναι καιρός να συνοψίσουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία..

Μέσα στο σύγχρονο πλαίσιο των δραματικών αλλαγών στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών, ο σκοπός της διατριβής ήταν να προτείνει λύσεις στον τομέα τηλεπικοινωνιακών συστημάτων τόσο στην πλευρά του Hardware όσο και στην πλευρά του Software. Στον τομέα του HW η διατριβή προτείνει συστήματα 'τόσο για την πλευρά των υποδομών κορμού όσο και για την πλευρά των υποδομών δικτύωσης των χρηστών βασισμένα σε δικτυακούς επεξεργαστές.

Τα πλεονεκτήματα των αρχιτεκτονικών βασισμένων σε ΔΕ μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

⇒ **Ευελιξία**, καθώς λόγω της πληθώρας των διεπαφών των ΔΕ τα συστήματα μπορούν να ανταποκριθούν σε μια σειρά από εναλλακτικές τεχνολογίες πρόσβασης.

⇒ **Μειωμένο Κόστος**, τόσο στη σχεδίαση αφού για τα συστήματα απαιτείται μικρότερος αριθμός περιφερειακών ολοκληρωμένων αλλά κυρίως επειδή σε ένα βασικό σύστημα μπορούν να στηριχθούν πολλές παραλλαγές

⇒ **Εξαιρετική απόδοση** λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των επεξεργαστών

Στον τομέα των δικτύων κορμού, η διατριβή προτείνει ένα σύστημα υψηλής ολοκλήρωσης για την παροχή υπηρεσιών VoIP στα πλαίσια μιας μεγαλύτερης πλατφόρμας CompactPCI. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα τόσο από πλευράς απόδοσης όσο και από πλευράς ευελιξίας καθώς ενσωματώνει το λειτουργικό Linux και παρέχει μια σειρά από διεπαφές.

Στην πλευρά του λογισμικού η διατριβή ανέδειξε τη σπουδαιότητα του ανοικτού λογισμικού Linux μέσα από 2 κύρια χαρακτηριστικά του:

⇒ Η ελεύθερη πρόσβαση στον κώδικα δίνει τη δυνατότητα να δημιουργούνται μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα και με μικρή (συγκριτικά) προσπάθεια υλοποιήσεις για όλων των ειδών τις δικτυακές διεπαφές του ΔΕ. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο αναπτύχθηκε το λογισμικό για τη διεπαφή ATM του επεξεργαστή βασισμένο σε υλοποιήσεις που προϋπήρχαν για παλιότερη έκδοση της ίδιας οικογένειας του επεξεργαστή.

⇒ Παράλληλα, η ελεύθερη πρόσβαση στον κώδικα του λογισμικού μπορεί να προσφέρει τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση της απόδοσης και αποσφαλμάτωση προβληματικών μερών του κώδικα. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε το εναλλακτικό πρόγραμμα οδήγησης της διεπαφής Fast Ethernet το οποίο και βελτιώνει δραματικά την απόδοση του ήδη υπάρχοντος.

Η χρησιμοποίηση των δυο αυτών ιδιαίτερων «συστατικών» για τη δημιουργία εξελιγμένων συστημάτων παροχής δικτυακών υπηρεσιών παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες τόσο από πλευράς επιδόσεων όσο και από πλευράς αξιοπιστίας.

Στα μελλοντικά σχέδια για την έρευνα μπορούν να ενταχθεί η εφαρμογή του realtime Linux στις προτεινόμενες αρχιτεκτονικές και αντίστοιχη επαλήθευση της απόδοσής της. Παράλληλα μπορούν να ενταχθούν και μια σειρά από νέες δικτυακές εφαρμογές τόσο για υπηρεσίες φωνής όσο και δικτύου.

Σε σύγκριση με τα κλειστά τηλεπικοινωνιακά συστήματα, επιλογές όπως αυτές που προτείνονται από τη διατριβή μπορούν να προσφέρουν εφάμιλλη απόδοση, καλύτερη αξιοπιστία και μεγαλύτερη αξιοποίηση της επένδυσης. Έως όμως τη στιγμή που τα ανοικτά συστήματα θα μπορέσουν να «εκτοπίσουν» τα κλειστά από την τηλεπικοινωνιακή αγορά αναμένεται πως θα περάσει αριετός καιρός. Η εδραιωμένη θέση τους στην αγορά δεν είναι εύκολο να αλλάξει όπως επίσης είναι δύσκολο να αλλάξει και η νοοτροπία των μηχανικών που τα υποστηρίζουν. Αυτή ακριβώς μπορεί να είναι ακόμα μια εξαιρετική πρόκληση για το μέλλον.

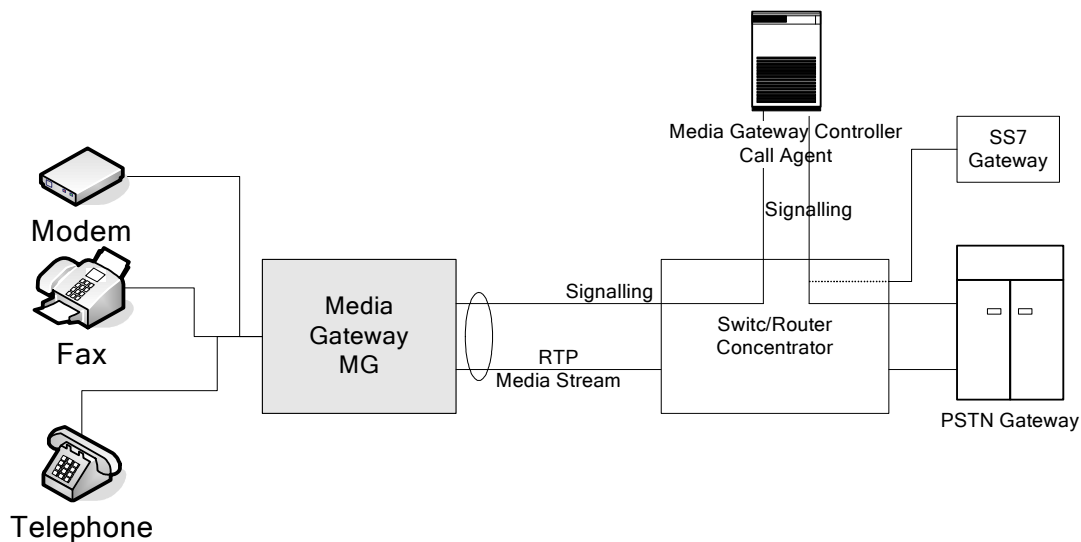
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΤΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ
H.323 & SIP.

Περιγραφή – Παραδείγματα - Σύγκριση

Καθ' όλο το εύρος της διδακτορικής διατριβής γίνεται λόγος για τις τεχνολογίες VoIP και τα ευεργετήματα που αυτές (σε συνδυασμό μάλιστα με τους δικτυακούς επεξεργαστές) προσφέρουν. Σκοπός του παραρτήματος είναι να παρουσιάσει συνοπτικά τις 2 βασικές τεχνολογίες VoIP δηλαδή τα πρωτόκολλα SIP & H.323 και τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται κλήσεις με καθένα από τα 2 πρωτόκολλα. Πέρα από τα κύρια χαρακτηριστικά των αρχιτεκτονικών αυτών, παρουσιάζεται μια σύντομη αλλά εμπειριστατωμένη σύγκριση μεταξύ των δυο διαφορετικών τεχνολογιών.

8.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ VOIP ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Στο Σχήμα 8-9 ορίζονται οι βασικές μονάδες ενός δικτύου παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών πάνω από ένα IP δίκτυο.



Σχήμα 8-9: Διάγραμμα αναφοράς VoIP αρχιτεκτονικής

Στο σχήμα παρουσιάζονται οι βασικές οντότητες που είναι το **Media Gateway (MG)**, ο **Ελεγκτής του Media Gateway (Media Gateway Controller, MGC)**, ο **διαμεταγωγέας (switch)**, ο **δρομολογητής (router)** και το δίκτυο PSTN [43].

Το **Media Gateway (MG – Πύλη Διασύνδεσης Πολυμέσων)** χαρακτηρίζεται από την συλλογή τερματικών σημείων και συνδέσεων. Το MG είναι μια συσκευή της οποίας οι δυνατότητες εξαρτώνται από τον αριθμό των χρηστών, των συνδέσεων και το είδος των υπηρεσιών που υποστηρίζει. Πρόκειται για μία συσκευή που εγκαθίσταται στον χώρο του χρήστη, πάνω στην οποία θα συνδεθούν τα αναλογικά τηλέφωνα (POTS), το δίκτυο δεδομένων και άλλες συνδέσεις πολυμέσων, διαθέσιμες από τον τηλεπικοινωνιακό φορέα. Το MG είναι η συσκευή που εκτελεί τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διασύνδεση των ετερογενών δικτύων στα οποία είναι συνδεδεμένο. Μπορεί να εγκατασταθεί και στα σημεία

παρουσίας (POPs) των τηλεπικοινωνιακών εταιρειών αλλά κάτι τέτοιο θα περιορίζε τις διαθέσιμες ολοκληρωμένες υπηρεσίες προς τους χρήστες. Ένα MG που παρέχει υπηρεσίες σε οικιακούς χρήστες αναφέρεται επίσης και ως Residential Gateway - RG.

Ένα **Τερματικό Σημείο** ορίζεται σαν σημείο εισόδου και εξόδου ροών πολυμεσικού περιεχομένου. Με απλά λόγια ένα τερματικό σημείο αποτελεί έναν συνδυασμό υλικού και λογισμικού εντός του MG που μπορεί να προσπελαθεί μέσω σηματοδοσίας από την τοποθεσία του χρήστη έτσι ώστε να ολοκληρωθεί μια κλήση. Τα τερματικά σημεία εισόδου και εξόδου μπορεί να είναι φυσικά ή νοητά. Παραδείγματα φυσικών σημείων είναι μια πόρτα RTP, ένα Β κανάλι σε μία E1 σύνδεση, μια γραμμή POTS σε ένα MG, ένα νοητό κανάλι σε μια ATM σύνδεση, κλπ. Παραδείγματα νοητών τερματικών σημείων είναι μια πηγή ήχου ή ένας εξυπηρετητής video.

Μια **Σύνδεση** είναι ο συσχετισμός δύο τερματικών σημείων σε διαφορετικά MG μέσω του δικτύου ή σε ένα τοπικό MG, για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των δύο αυτών άκρων. Οι συνδέσεις μπορεί να είναι από σημείο σε σημείο (point-to-point) ή από σημείο σε πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint). Αυτό σημαίνει ότι η τηλεδιάσκεψη πολλαπλών συνδρομητών είναι εφικτή με την τεχνολογία VoIP και μάλιστα με ευκολότερο τρόπο από το PSTN.

Μια **Κλήση** είναι ο λογικός συσχετισμός μιας σύνδεσης μεταξύ δύο ή περισσότερων τερματικών σημείων. Οι συνδέσεις μπορεί να είναι ενεργές ή ανενεργές. Η κλήση από σημείο σε σημείο περιλαμβάνει μια μόνο σύνδεση, ενώ οι πολυμερείς κλήσεις αποτελούνται από περισσότερες της μιας συνδέσεις. Οι συνδέσεις μπορεί να είναι ενεργές ή ανενεργές. Μια ανενεργή τηλεφωνική σύνδεση έχει εγκατασταθεί αλλά δεν έχουμε αναπαραγωγή φωνής στο τερματικό σημείο αν και μπορεί να υπάρχει ροή της πληροφορίας φωνής μεταξύ των δύο σημείων. Η κατάσταση της σύνδεσης σε κάθε τερματικό σημείο μπορεί να ελέγχεται με ανεξάρτητο τρόπο από το **Πρωτόκολλο Σηματοδοσίας**.

Σκοπός του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας είναι να εγκαθιστά και να διαχειρίζεται τις συνδέσεις και τις κλήσεις μεταξύ των τερματικών σημείων. Η σηματοδοσία εκτελείται στον ελεγκτή Media Gateway (Media Gateway Controller - MGC) και στο Media Gateway (MG). Τα σύγχρονα πρωτόκολλα σηματοδοσίας VoIP είναι ασύμμετρα, κάτι που σημαίνει ότι διαφορετικό τμήμα του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας τρέχει στο MG και διαφορετικό στο MGC, κατ' αντιστοιχία με την τεχνολογία πελάτη-εξυπηρετητή (client-server).

Κάποια πρωτόκολλα σηματοδοσίας έχουν ενσωματωμένη δυνατότητα να δέχονται ενημέρωση από το MG για την κατάσταση των συνδέσεων και των κλήσεων που έχουν εγκατασταθεί. Τα παλιότερα πρωτόκολλα σηματοδοσίας, όπως το ITU-T Q.931, βασίζονται

σε διαγράμματα καταστάσεων (state machines). Η νέα γενιά πρωτοκόλλων της IETF για σηματοδότηση VoIP έχει οριστεί χωρίς καταστάσεις, ενώ και η ITU ακολουθεί αυτή την κατεύθυνση με το MEGACO [44]. Τα πρωτόκολλα που περιγράφονται με κείμενο έχουν απλούστερη στοιβή πρωτοκόλλων και υλοποίηση αλλά αντιμετωπίζουν άλλα προβλήματα που σχετίζονται με την σχεδίαση του συστήματος.

Ο **Ελεγκτής του Media Gateway (Media Gateway Controller - MGC)** είναι ένας εξυπηρετητής που υποστηρίζει όλους τους χρήστες και τις υπηρεσίες. Τα MGC διαχειρίζονται την σηματοδότηση και στέλνουν μηνύματα στα MG που αφορούν τεραματικές συσκευές που συνδέονται σε αυτά. (όπως τηλεφωνικές συσκευές, συσκευές FAX ή δρομολογητές τοπικών δικτύων). Οι ελεγκτές αυτοί αποκαλούνται με διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το περιβάλλον σηματοδότησης, όπως Gatekeepers σε δίκτυα H.323.

Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η απαραίτητη σηματοδότηση για την παροχή υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυο μεταγωγής πακέτων.

8.2 Η ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ VOIP.

Παρόλο που η διάδοση της τεχνολογίας VoIP αυξάνεται ραγδαία, η κλασική τηλεφωνία πάνω από δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος παραμένει ακόμα η κυρίαρχη τεχνολογία για την παροχή υπηρεσιών φωνής. Κάποιο μέρος (ή τελικά το σύνολο) των φωνητικών υπηρεσιών που παρέχονται σήμερα από τα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος θα περάσει στην τεχνολογία IP. Όμως και για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, η τηλεφωνία IP και οι υπηρεσίες των δικτύων PSTN (Public Switched Telephone Networks) θα συνυπάρχουν.

Είναι φανερό λοιπόν η ανάγκη για δυνατότητα διασύνδεσης χρηστών που χρησιμοποιούν τεχνολογία IP με χρήστες των δικτύων PSTN. Δύο βασικές διαδικασίες τυποποίησης λαμβάνουν χώρα για την διασύνδεση των δικτύων αυτών. Η IETF προχωρά στον καθορισμό των λειτουργιών διασύνδεσης με τα δίκτυα PSTN σαν μια επέκταση της βασικής τηλεφωνίας πάνω από IP. Οι βασικές ομάδες εργασίας που ασχολούνται με τον τομέα αυτό είναι οι:

- AVT, που ασχολείται την μεταφορά ήχου και video πάνω από multicast IP δίκτυα, και έχει αναπτύξει το πρωτόκολλο RTP.
- IPTTEL, που ασχολείται με την διάδοση της πληροφορίας δρομολόγησης για πρωτόκολλα VoIP.
- MEGACO, που αναπτύσσει πρωτόκολλο ελέγχου Media Gateways ανάλογο με το H.248 της ITU-T.

- MMUSIC, που αναπτύσσει πρωτόκολλα για την υποστήριξη τηλεδιασκέψεων μέσω Internet.
- SIGTRAN, που ασχολείται με την μετάδοση σηματοδότησης του PSTN δικτύου πάνω από IP δίκτυα.
- SIP, αναπτύσσει το πρωτόκολλο SIP που εγκαθιστά τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις μεταξύ των χρηστών.
- SIPPING, που διερευνά την χρήση του πρωτοκόλλου SIP στην τηλεφωνία και σε εφαρμογές πολυμέσων.
- PINT, που ασχολείται με την διασύνδεση του δικτύου PSTN με το Internet για την παροχή εμπλουτισμένων υπηρεσιών κλασικής τηλεφωνίας κατά την φυλλομέτρηση (web browsing).

Η ITU-T και η ETSI είναι οι βασικοί οργανισμοί τυποποίησης για τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Καθοριστικές για την τηλεφωνία πάνω από IP δίκτυα είναι οι τυποποιήσεις της ITU-T ([45], [46], [47], [48], [49]). Σχετικά με αυτές, η ETSI ανέλαβε την προσπάθεια να καθορίσει τις επιπρόσθετες τεχνικές συμφωνίες που απαιτούνται για την διαλειτουργία μεταξύ δικτύων IP και PSTN στο έργο TISPAN [50]. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά τα πρωτόκολλα διασυνεργασίας μεταξύ PSTN και IP δικτύων για την παροχή υπηρεσιών φωνής καθώς και οι αντίστοιχοι οργανισμοί υπεύθυνοι για αυτά.

Standards Body	URL	Major XoIP Standards/Protocols	Notes
International Telecommunication Union (ITU)	www.itu.int	T.120	Real Time Data Conferencing (Audiographics)
		H.320	ISDN Videoconferencing
		H.323	Video (Audiovisual) communication on Local Area Networks
		H.324	Video and audio communications over low bit rate connections such as dial-up modem connections
ETSI/TISPAN	www.etsi.org	OSP	Open Settlements Protocol provides XML-based IP traffic settlements
Internet Engineering Task Force (IETF)	www.ietf.org	SIP	Session Initiation Protocol enables voice over IP gateways and client end-points
		RSVP	Resource Reservation Protocol prioritizes packet traffic by use
		RTP/AVT	Real Time Protocol enables real-time transmission of audio and video (but doesn't promise it)
		MGCP	Media Gateway Control Protocol defines how different media (e.g., voice and video) will control data packets
		LDAP	Lightweight Directory Access Protocol provides a universal address database for networks
Industry Forum	URL	Membership	Notes
International Multimedia Teleconferencing Consortium (IMTC)	www.imtc.org	Founded 1993, currently 145 members	IMTC covers H.323 (and other ITU standards), iNow, and others
Softswitch Consortium	www.softswitch.org	Founded 1999, currently 50 members	Focused on SIP/MGCP and other internetworking technologies
Internet & Telecoms Convergence Consortium	itel.mit.edu	Academic/corporate	Covers technical, economic, and policy issues
Industry Initiative	URL	Founders	Notes
Interoperability Now! (iNow)	www.imtc.org/act_inow.htm	ITXC, Lucent, VocalTec	Standards-based IP telephony interoperability profile for vendors and service providers based on H.323

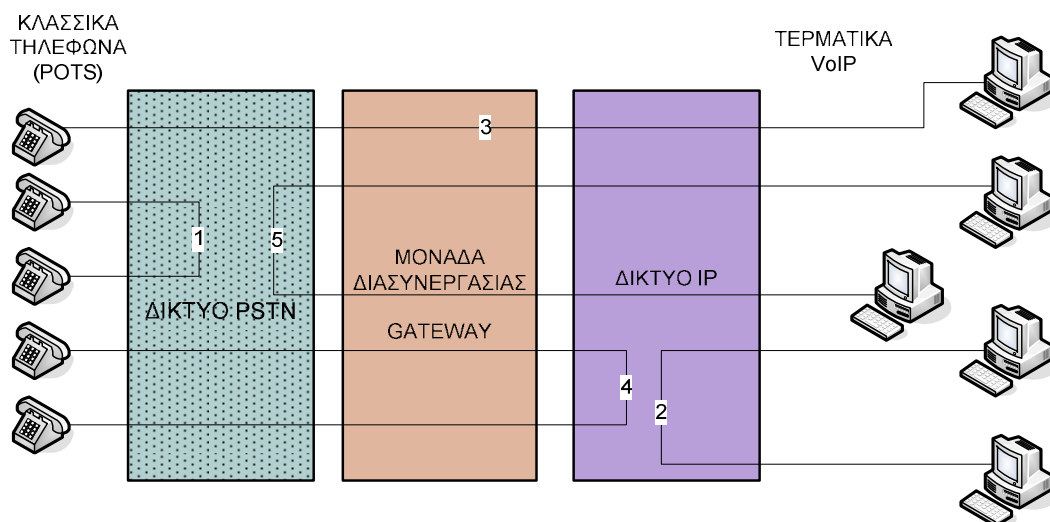
IP Call Detail Record Initiative (IPDR)	www.ipdr.org	Jerry Lucas and 19 charter members	Goal is to define record protocol for IP traffic exchange and billing and submit to standards bodies for discussion
VON Coalition	www.von.org	Jeff Pulver and 22 charter members	Seeks to keep IP services as unregulated as possible and educate consumers and the media about relevant technologies

Πίνακας 8-7: Πρωτόκολλα & Οργανισμοί για τη συνεργασία PSTN δικτύων και δικτύων IP.

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζεται η τοπολογία των δικτύων PSTN-IP και αναλύεται η απαραίτητη σηματοδότηση για την διαλειτουργία αυτών.

8.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ PSTN ΚΑΙ IP ΔΙΚΤΥΩΝ

Η διαλειτουργία μεταξύ των φωνητικών υπηρεσιών που παρέχονται στα δίκτυα IP και PSTN μπορεί να θεωρηθεί σαν μέρος μιας μεγαλύτερης προσπάθειας που γίνεται από τους οργανισμούς τυποποίησης στον τομέα της διαλειτουργίας δικτύων και υπηρεσιών [51], [52], [53]. Η ανάλυση θα επικεντρωθεί στην διαλειτουργία υπηρεσιών μεταξύ των δύο δικτύων και, πιο συγκεκριμένα, στην διαλειτουργία φωνητικών υπηρεσιών. Οι φωνητικές υπηρεσίες που προκύπτουν από την διαλειτουργία των αντίστοιχων υπηρεσιών στα δίκτυα IP και PSTN ονομάζονται *υβριδικές φωνητικές υπηρεσίες*. Ειδικότερα, οι υπηρεσίες αυτές παρέχουν την δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ χρηστών και των δύο δικτύων καθώς και μεταξύ χρηστών του ίδιου δικτύου όταν μέρος της επικοινωνίας χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του άλλου δικτύου. Συνεπώς, οι υβριδικές φωνητικές υπηρεσίες εμπλέκουν τις αντίστοιχες υπηρεσίες των δικτύων IP και PSTN καθώς και τα αντίστοιχα τερματικά.



Σχήμα 8-10: Σενάρια τηλεφωνικών συνδέσεων σε δίκτυα PSTN-IP

Τα 5 βασικά σενάρια τηλεφωνικών συνδέσεων απεικονίζονται στο Σχήμα 8-10. Θεωρούμε υπηρεσίες πάνω από το δίκτυο *PSTN* και το δίκτυο *IP*, καθώς και τους υβριδικούς συνδυασμούς.

Οι υβριδικές φωνητικές υπηρεσίες αντιστοιχούν στα σενάρια 3, 4 και 5. Στις περιπτώσεις αυτές μια μονάδα διαλειτουργίας είναι απαραίτητη για να εκτελέσει όλες τις αναγκαίες μετατροπές στα πρωτόκολλα και στα δεδομένα. Για τις υπηρεσίες που εξετάζουμε η μονάδα αυτή παρέχει τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- ο Προσαρμογή των πρωτοκόλλων σηματοδότησης με την επεξεργασία και μετάφραση των εισερχόμενων μηνυμάτων. Αφορά, βασικά, τις φάσεις εγκατάστασης και κατάρτησης κλήσεων.
- ο Έλεγχο μέσου (*Media Control*) ο οποίος έχει να κάνει με την αναγνώριση, επεξεργασία και μετάφραση γεγονότων ελέγχου συγκεκριμένων υπηρεσιών που μπορούν να προκληθούν από τον χρήστη ή το τερματικό.
- ο Προσαρμογή μέσου (*Media Adaptation*) που σχετίζεται με την προσαρμογή των δεδομένων φωνής στην μορφή που είναι κατάλληλη για το δίκτυο προορισμού.

Στο σενάριο 1 (Σχήμα 8-10), δύο τυπικές τηλεφωνικές συσκευές συνδέονται μέσω του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος. Στο δίκτυο αυτό κάθε σύνδεση αντιστοιχεί σε ένα κανάλι *64Kbps*. Το τερματικό μπορεί να είναι αναλογικό (*PSTN*) ή ψηφιακό (*ISDN*). Στην περίπτωση του αναλογικού τερματικού η φωνή μεταδίδεται σε ένα σήμα βασικής ζώνης εύρους περίπου *3KHz* και ψηφιοποιείται στο τηλεφωνικό κέντρο. Η σηματοδότηση περιορίζεται σε αποστολή εντός ζώνης σημάτων *DTMF (Dual Tone Multi-Frequency)*. Το *ISDN* επιτρέπει στα τερματικά να έχουν ψηφιακή πρόσβαση στο δίκτυο. Ένα τερματικό χρησιμοποιεί σηματοδότηση *Q.931* (ή *Digital Subscriber Signaling No.1 – DSS1*) για να συνδεθεί στο δίκτυο μέσω ενός καναλιού *64Kbps*. Η σηματοδότηση στο δίκτυο κορμού βασίζεται στο Σύστημα Σηματοδότησης No. 7 (*Signaling System 7 – SS7*) [54]. Ένα τερματικό *ISDN* μπορεί διαφανώς να καλέσει ένα αναλογικό τερματικό και το αντίστροφο. Οι συνδέσεις γίνονται με χρήση ενός ενιαίου συστήματος διευθυνσιοδότησης που έχει καθοριστεί από την *ITU-T* στην προδιαγραφή *E.164* [55]. Τέλος, ένα βασικό χαρακτηριστικό του δικτύου είναι οι δυνατότητες δημιουργίας υπηρεσιών και ελέγχου που αναφέρονται σαν *Intelligent Network – IN* [56]. Βασικές υπηρεσίες όπως η προώθηση κλήσεων κλπ. βασίζονται στην αρχιτεκτονική *IN*.

Το σενάριο 2 (Σχήμα 8-10) απεικονίζει αυτό που γενικά αναφέρεται σαν τηλεφωνία πάνω από δίκτυα *IP*. Η υπηρεσία αυτή ακολουθεί το βασικό μοντέλο στο οποίο στηρίζονται όλες οι υπηρεσίες που παρέχονται πάνω από αυτό το δίκτυο. Όλη η επεξεργασία που σχετίζεται με την υπηρεσία και τα πρωτόκολλα, όπως σηματοδότησης και κωδικοποίησης δεδομένων,

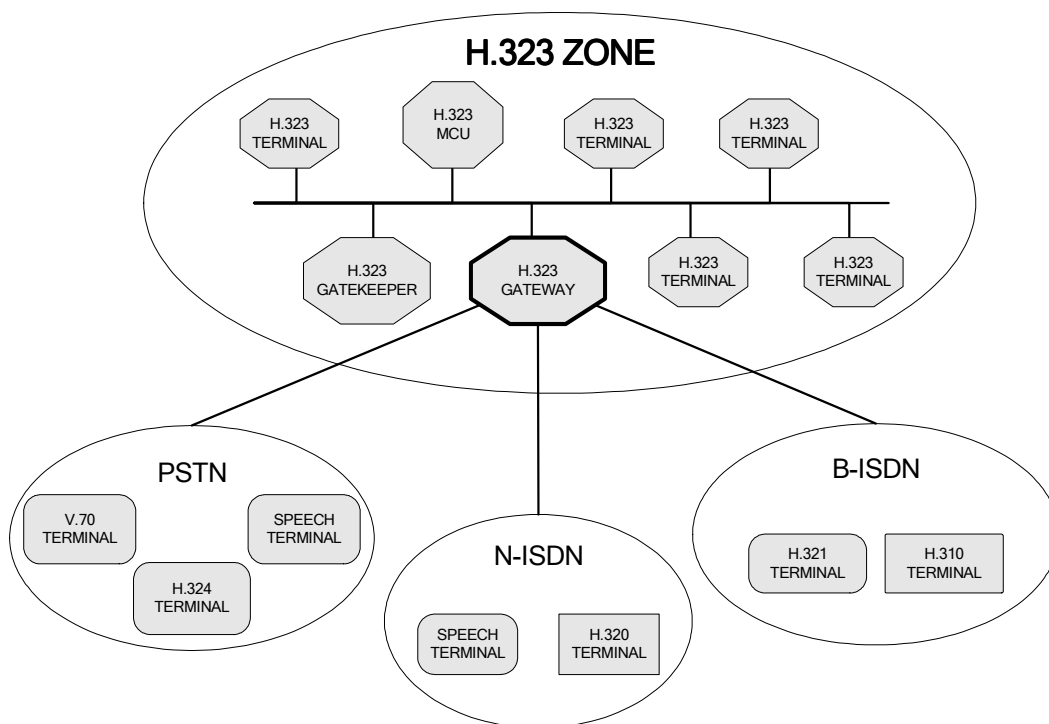
εκτελούνται από τα τερματικά και είναι διαφανή προς το δίκτυο. Οι εφαρμογές βασίζονται στο *TCP* (*Transmission Control Protocol*) ή στο *UDP* (*User Datagram Protocol*), ανάλογα με το αν είναι ευαίσθητες στην απώλεια των δεδομένων ή στον χρόνο παράδοσης αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα το πρωτόκολλο *TCP* χρησιμοποιείται για την μεταφορά των δεδομένων σηματοδοσίας, καθώς το κανάλι σηματοδοσίας δεν πρέπει να επηρεάζεται από απώλειες πακέτων δεδομένων. Αντίθετα, για την μετάδοση της φωνής χρησιμοποιείται το *UDP* λόγω των περιορισμών που τίθενται στον χρόνο παράδοσης. Για την ανάκτηση του συγχρονισμού στον δέκτη χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο *RTP* (*Real Time Protocol*) [57]. Το πεδίο αρίθμησης της επικεφαλίδας του πακέτου *RTP* χρησιμοποιείται για την ανασύνταξη των ληφθέντων πακέτων στην περίπτωση που αυτά παραδίδονται από το στρώμα μεταφοράς εκτός σειράς (στο πρωτόκολλο *UDP*, η τήρηση της σειράς των πακέτων δεν είναι εγγυημένη). Το πεδίο χρόνου υποδεικνύει την σχετική θέση αναπαραγωγής του δείγματος. Επιπρόσθετα, το πρωτόκολλο *RTP* επιτρέπει στον δέκτη να αναγνωρίσει τον τύπο κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Τα τερματικά μπορεί να είναι προσωπικοί υπολογιστές ή αυτόνομα τηλέφωνα IP που συνδέονται στο τοπικό δίκτυο.

Η προδιαγραφές H.323 και SIP που κάνουν εφικτή την υποστήριξη επικοινωνιών πολυμέσων πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου χωρίς εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, αποτελούν το πιο προηγμένο πλαίσιο που καλύπτει ουσιαστικά θέματα τηλεφωνίας πάνω από δίκτυα IP.

8.4 Η ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ H.323

Η προδιαγραφή H.323 [45] αναφέρεται στις τεχνικές απαιτήσεις για την παροχή τηλεφωνικών υπηρεσιών καθώς και υπηρεσιών μεταφοράς κινούμενης εικόνας και δεδομένων (υπηρεσίες πραγματικού χρόνου), στις περιπτώσεις που στην μετάδοση της πληροφορίας εμπλέκονται ένα ή και περισσότερα δίκτυα μεταγωγής πακέτου που δεν παρέχουν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Η προδιαγραφή καθορίζει τις μονάδες ενός τέτοιου συστήματος. Αυτές περιλαμβάνουν τερματικά, *Gateways*, *Gatekeepers*, *Multipoint Controllers* και *Multipoint Control Units*, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-11.



Σχήμα 8-11: Μονάδες προδιαγραφής H.323 και διασύνδεση με άλλα δίκτυα

Η προδιαγραφή H.323 καθορίζει τα μηνύματα ελέγχου και τις διαδικασίες για την επικοινωνία μεταξύ αυτών των μονάδων.

8.4.1 GATEKEEPER

Μια από αυτές τις μονάδες, ο *Gatekeeper* – *GK* είναι προαιρετικός σε ένα τέτοιο σύστημα και παρέχει υπηρεσίες ελέγχου προς τα τερματικά. Περισσότερες από μία τέτοιες μονάδες μπορεί να είναι παρούσες, αλλά ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούν μεταξύ τους δεν καθορίζεται από την προδιαγραφή. Όταν απαιτείται διασύνδεση με εξωτερικά ετερογενή δίκτυα τότε μια μονάδα Gateway είναι απαραίτητη ενώ θα πρέπει να υπάρχει ένας τουλάχιστον *Gatekeeper* ο οποίος εκτελεί την αναγκαία μετάφραση των εισερχόμενων κατά E.164 διευθύνσεων σε διευθύνσεις του στρώματος μεταφοράς. Όταν υπάρχει στο σύστημα ο *Gatekeeper*, τότε είναι υπεύθυνος για τις παρακάτω λειτουργίες:

- Μετάφραση διευθύνσεων. Η μονάδα εκτελεί μετάφραση μεταξύ των αναγνωριστικών διευθύνσεων (*alias addresses*) και των διευθύνσεων του στρώματος μεταφοράς των τερματικών συσκευών. Για τον σκοπό αυτό, διατηρεί έναν πίνακα αντιστοίχισης ο οποίος ανανεώνεται κατά την διαδικασία εγγραφής των τερματικών στον *Gatekeeper* (*Registration procedure*).

- Έλεγχος πρόσβασης. Η μονάδα ελέγχει την πρόσβαση των τερματικών στο τοπικό δίκτυο μέσω των μηνυμάτων *ARQ (Admission Request)*, *ACF (Admission Confirm)* και *ARJ (Admission Reject)* όπως αυτά καθορίζονται από την προδιαγραφή H.225.0. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό αφήνεται στην ευχέρεια του κατασκευαστή του συστήματος. Η λειτουργία αυτή μπορεί να είναι κενή, με την έννοια ότι πάντοτε επιτρέπεται η πρόσβαση στα τερματικά.
- Έλεγχος εύρους ζώνης. Η μονάδα πρέπει να υποστηρίζει τα μηνύματα *BRQ (Bandwidth Request)*, *BCF (Bandwidth Confirm)* και *BRJ (Bandwidth Reject)* όπως αυτά καθορίζονται στην προδιαγραφή H.225.0, για τον έλεγχο του εύρους ζώνης. Η λειτουργία αυτή μπορεί να είναι κενή, δηλαδή η μονάδα να αποδέχεται όλες τις αιτήσεις για εύρος ζώνης από τα τερματικά.
- Διαχείριση ζώνης. Ως ζώνη ορίζεται το σύνολο των τερματικών, Gateways και Multipoint Control Units που χειρίζεται ένας Gatekeeper. Μία ζώνη περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα τερματικό, ενώ οι άλλες μονάδες δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν. Μία ζώνη έχει έναν και μόνο έναν Gatekeeper ο οποίος παρέχει όλες τις προαναφερθείσες λειτουργίες για τις μονάδες που έχουν εγγραφεί σε αυτόν.

Υπάρχουν όμως και ένα σύνολο προαιρετικών λειτουργιών που μπορεί να εκτελεί η μονάδα αυτή, και αναφέρονται παρακάτω:

- Έλεγχος Σηματοδοσίας Κλήσεων. Η μονάδα μπορεί να επιλέξει την επεξεργασία των μηνυμάτων σηματοδοσίας μεταξύ των τερματικών. Εναλλακτικά, μπορεί να ζητήσει από τα τερματικά να ανταλλάξουν τα μηνύματα μεταξύ τους απευθείας.
- Έλεγχος κλήσεων. Μέσω της σηματοδοσίας κατά H.225.0, η μονάδα μπορεί να απορρίψει τις κλήσεις από ένα συγκεκριμένο τερματικό λόγω μη εξουσιοδότησης.
- Διαχείριση εύρους ζώνης. Η μονάδα μπορεί να ελέγχει τον αριθμό των τερματικών που επιτρέπεται να έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση στο δίκτυο. Μέσω κατάλληλης σηματοδοσίας, μπορεί να απορρίψει αιτήσεις κλήσεων από τερματικά λόγω περιορισμών στο διαθέσιμο εύρος ζώνης.
- Διαχείριση κλήσεων. Ο *Gatekeeper* μπορεί να διατηρεί έναν πίνακα με τις κλήσεις που βρίσκονται σε εξέλιξη. Η πληροφορία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξακρίβωση αν ένα τερματικό είναι ελεύθερο να δεχθεί μια κλήση καθώς και για την υποστήριξη της Διαχείρισης του εύρους ζώνης. Επίσης, η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη για την χρέωση των τερματικών και για την συλλογή στατιστικών.

8.4.2 GATEWAY

Αντίστοιχα, η μονάδα **Gateway** έχει ως βασικό σκοπό να εμφανίζει ένα τερματικό του τοπικού δικτύου σαν ένα τερματικό του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος και το αντίστροφο με διαφανή τρόπο. Είναι απαραίτητη για την σύνδεση διαφορετικού τύπου δικτύων και πρέπει να παρέχει στο δίκτυο τις παρακάτω λειτουργίες:

- Την μετάφραση μεταξύ των διαφορετικών μορφών των δεδομένων καθώς και μεταξύ των διαδικασιών επικοινωνίας.
- Την εγκατάσταση και κατάργηση κλήσεων τόσο στην πλευρά του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος όσο και στην πλευρά του τοπικού δικτύου. Γενικά, ο βασικός σκοπός αυτής της μονάδας είναι να εμφανίζει ένα τερματικό του τοπικού δικτύου σαν ένα τερματικό του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος και το αντίστροφο, με διαφανή τρόπο.

Ένα τερματικό του τοπικού δικτύου μπορεί να επικοινωνεί με ένα άλλο τερματικό χωρίς την ανάμιξη του Gateway. Το Gateway μπορεί να εμφανίζεται στα υπόλοιπα τερματικά του δικτύου είτε σαν ένα ή περισσότερα απλά τερματικά ή σαν MCU. Οι μονάδες που επιτρέπουν την διαλειτουργία με απλές τηλεφωνικές συσκευές του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος θα πρέπει να υποστηρίζουν δημιουργία και αναγνώριση τόνων DTMF. Μία μονάδα που δεν μπορεί να προωθήσει απευθείας μια εισερχόμενη κλήση από ένα τερματικό του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος σε ένα τερματικό του τοπικού δικτύου θα πρέπει να υποστηρίζει επιλογή δύο σταδίων. Συγκεκριμένα, το τερματικό του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος συνδέεται αρχικά με τον Gateway πληκτρολογώντας τον E.164 αριθμό του. Στην συνέχεια, ο Gateway θα πρέπει να μπορεί να δεχθεί DTMF τόνους από το τερματικό, οι οποίοι καθορίζουν τον E.164 αριθμό της καλούμενης τερματικής συσκευής στο τοπικό δίκτυο.

8.4.3 MCU

Η μονάδα MCU (Multipoint Control Unit) έχει σαν σκοπό την παροχή συνδιάσκεψης τριών ή περισσότερων τερματικών συσκευών. Παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης των διαφόρων πόρων του δικτύου αλλά και τη δυνατότητα διαπραγμάτευσης των χαρακτηριστικών της πολυμερούς συνόδου, κατά τη φάση της εγκατάστασης της.

Οι λειτουργίες που πρέπει να εκτελεί μια τερματική συσκευή H.323 και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα απεικονίζονται στο Σχήμα 8-12. Η προδιαγραφή ορίζει ότι όλα τα τερματικά πρέπει να περιλαμβάνουν τουλάχιστον μία μονάδα κωδικοποίησης φωνής (*audio codec*). Όλα πρέπει να υποστηρίζουν κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση φωνής κατά την προδιαγραφή G.711 [58]. Προαιρετικά, μπορούν να χρησιμοποιούν τις μεθόδους που περιγράφονται στις προδιαγραφές G.722 [59], G.723 [60], G.726 [61], G.728 [62], G.729 [63] και εξασφαλίζουν μεγαλύτερη συμπίεση. Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί σε μια κλήση καθορίζεται κατά την ανταλλαγή δυνατοτήτων (*capability exchange*) μεταξύ των τερματικών με χρήση του H.245. Τα τερματικά θα πρέπει να είναι ικανά για ασύμμετρη λειτουργία για όλους τους αλγόριθμους που υποστηρίζουν (π.χ. θα πρέπει να μπορούν να λαμβάνουν κατά G.711 και να μεταδίδουν κατά G.723.1).

I/O ΦΩΝΗΣ	Έλεγχος συστήματος/Διασύνδεση με τον χρήστη		
Voice Coding G.711-G.729			
C-RTP/RTCP	RAS/ H.225.0	Q.931/H.225.0	H.245 Media Control
Real Time Protocol	Registration Admission Status	Call Signaling	
UDP	TCP		
Network Layer			
Link Layer			
Physical Layer			

Σχήμα 8-12: Αντιστοιχία πρωτοκόλλων - λειτουργιών στο τερματικό H.323

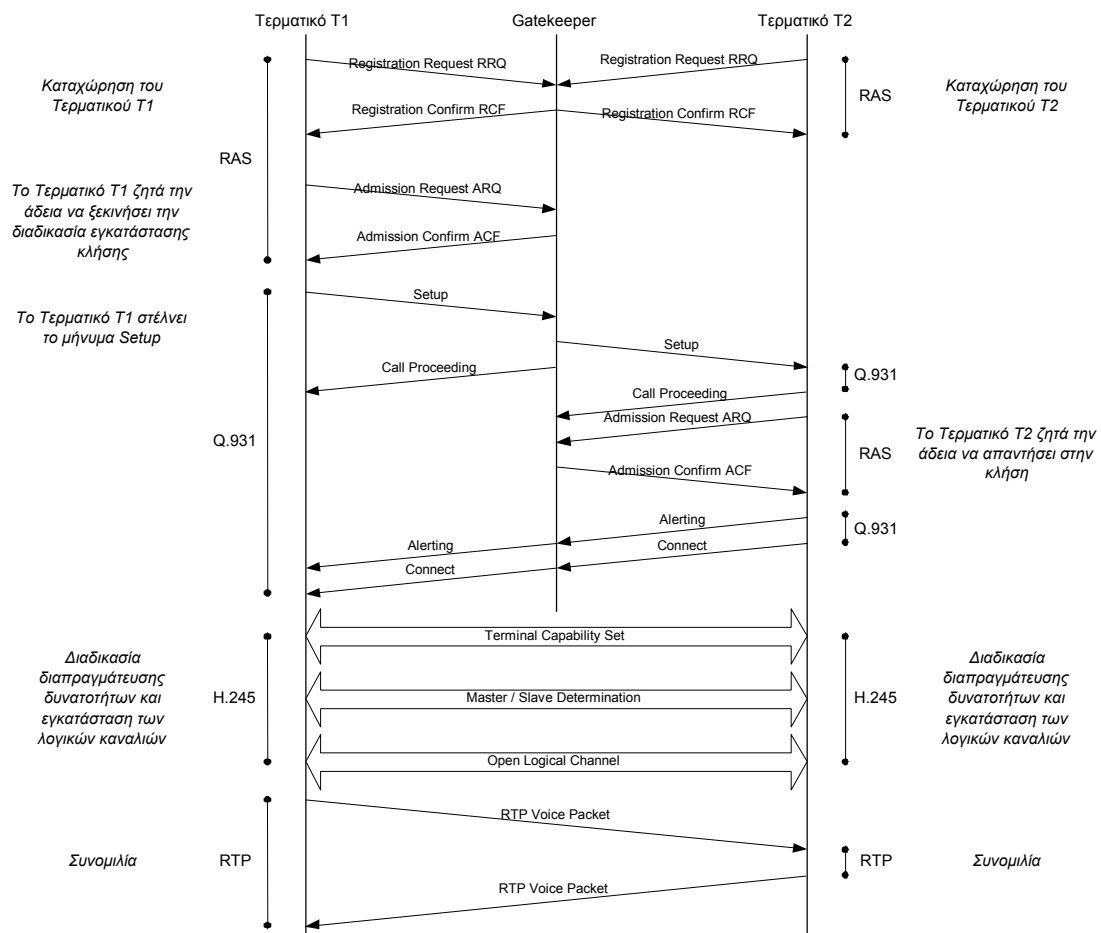
Οι λειτουργίες ελέγχου καθορίζονται στις προδιαγραφές H.245 και H.225.0. Εκεί καθορίζεται η χρήση λογικών καναλιών βασισμένων στα πρωτόκολλα RTP (*Real Time Protocol*)/UDP/IP για την μεταφορά των κωδικοποιημένων δεδομένων φωνής. Το τμήμα ελέγχου συστήματος ενός τερματικού αποτελείται από τρία πρωτόκολλα:

- Το πρωτόκολλο H.245 ορίζει μηνύματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την διαπραγμάτευση των δυνατοτήτων των τερματικών (π.χ. οι υποστηριζόμενοι *audio codecs*), την δημιουργία και το κλείσιμο λογικών καναλιών, κλπ. Το κανάλι H.245 χρησιμοποιεί την στοίβα TCP/IP. Η διαπραγμάτευση αυτή ακολουθεί τις παρακάτω διαδικασίες του πρωτοκόλλου H.225.
- Το πρωτόκολλο RAS (*Registration, Admission and Status*) καθορίζεται στην προδιαγραφή H.225.0 και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ενός τερματικού με έναν *Gatekeeper*. Το κανάλι που χρησιμοποιείται ονομάζεται κανάλι RAS και χρησιμοποιεί την στοίβα UDP/IP. Μια βασική λειτουργία του καναλιού είναι ότι επιτρέπει στο τερματικό να εγγράφεται σε έναν *Gatekeeper*. Η διαδικασία αυτή καταλήγει στην ανανέωση του περιεχομένου την πίνακα αντιστοίχισης διευθύνσεων του *Gatekeeper*. Αυτό επιτρέπει σε άλλα τερματικά να εντοπίζουν το εγγεγραμμένο τερματικό και να προσδιορίζουν την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς του, ώστε να εγκαταστήσουν ένα κανάλι σηματοδοσίας για την κλήση.
- Η σηματοδοσία κατά την εγκατάσταση κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323 βασίζεται σε μηνύματα του πρωτοκόλλου Q.931 [64], [65]. Το κανάλι σηματοδοσίας χρησιμοποιεί την στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP. Η διαδικασία εγκατάστασης κλήσης περιλαμβάνει την αποστολή ενός

μηνύματος *Setup* στον προορισμό. Η διαδικασία θεωρείται επιτυχής με την λήψη του μηνύματος *Connect* από το καλούμενο τερματικό. Η προδιαγραφή καθορίζει αρκετές περιπτώσεις, ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται *Gatekeeper* ή όχι. Θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στην συνέχεια.

8.5 ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΛΗΣΗΣ H.323.

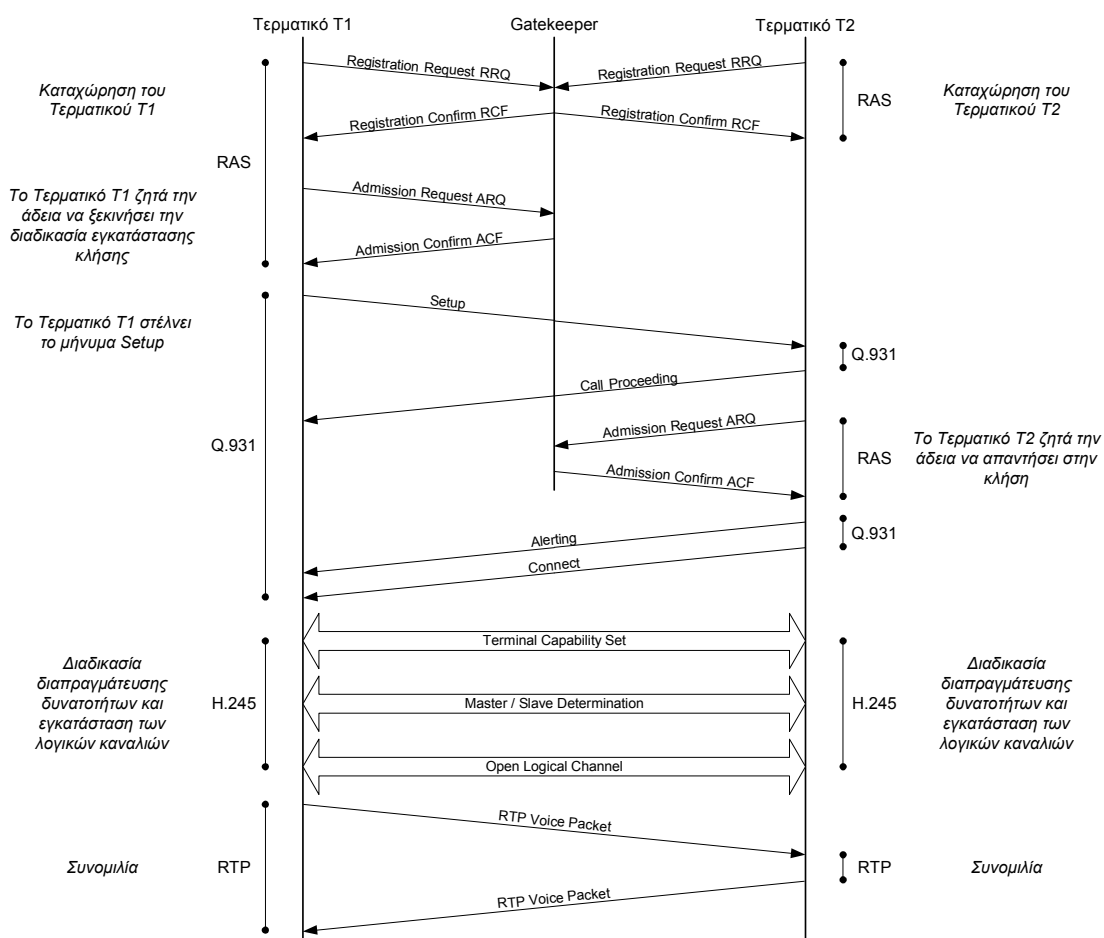
Στην συνέχεια θα αναφέρουμε τις διάφορες περιπτώσεις σηματοδοσίας κατά την εγκατάσταση κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323. Στο Σχήμα 8-13 περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323 στην περίπτωση που εμπλέκεται ένας *Gatekeeper* ο οποίος επιλέγει να δρομολογήσει τα μηνύματα σηματοδοσίας.



Σχήμα 8-13: Εγκατάσταση κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323 όταν ο *Gatekeeper* έχει ρυθμιστεί να δρομολογεί τα μηνύματα σηματοδοσίας

Χρονικά η πρώτη διαδικασία είναι η διαδικασία καταχώρησης των τερματικών στον *Gatekeeper* με βάση την διεύθυνση δικτύου, τα διάφορα αναγνωριστικά της διεύθυνσης αυτής (είτε E.164 ή της μορφής *userID@address*) και την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς του καναλιού σηματοδοσίας τους (π.χ. πόρτα του *TCP*). Τα τερματικά στέλνουν όσα μηνύματα απαιτούνται για να καταχωρηθούν όλα τα αναγνωριστικά που υποστηρίζουν. Στην συνέχεια, το τερματικό T1 ζητά από τον *Gatekeeper* την άδεια πραγματοποίησης κλήσης με το μήνυμα

ARQ. Ο *Gatekeeper* απαντά με το μήνυμα *ACF* παρέχοντας σε αυτό την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς που αντιστοιχεί στο δικό του κανάλι σηματοδοσίας. Ακολούθως, το τερματικό στέλνει στην διεύθυνση αυτή το μήνυμα *Setup*. Ο *Gatekeeper* στέλνει το μήνυμα στο τερματικό T2 και απαντά στο T1 με το μήνυμα *Call Proceeding*. Στην περίπτωση που το T2 επιθυμεί να απαντήσει στην κλήση, απαντά με *Call Proceeding* στον *Gatekeeper* και ξεκινά την διαδικασία ανταλλαγής των μηνυμάτων *ARQ / ACF* με αυτόν. Όταν η διαδικασία αυτή ολοκληρωθεί επιτυχώς, το T2 στέλνει ένα μήνυμα *Connect* στο οποίο περιέχεται η διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς για το κανάλι ελέγχου του H.245. Ο *Gatekeeper* στέλνει το μήνυμα *Connect* στο T1 στο οποίο μπορεί να περιέχεται είτε η διεύθυνση του καναλιού ελέγχου του H.245 του τερματικού (αυτό συμβαίνει στην περίπτωση που περιγράφουμε) ή την δική του στην περίπτωση που θέλει να υποστηρίξει την πραγματοποίηση ενός *conference*. Με βάση την διεύθυνση αυτή, τα δύο τερματικά εκτελούν την διαδικασία διαπραγμάτευσης των δυνατοτήτων τους καθώς και την εύρεση του *Master* και, στην συνέχεια, ανοίγονται τα λογικά κανάλια που θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά της πληροφορίας (φωνή στην περίπτωση αυτή).



Σχήμα 8-14: Εγκατάσταση κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323 όταν εμπλέκεται ένας Gatekeeper που επιλέγει να μην δρομολογήσει τα μηνύματα σηματοδοσίας

Αντίστοιχα πιο απλή περίπτωση είναι η διαδικασία που απεικονίζεται στο Σχήμα 8-14 και αφορά την εγκατάσταση κλήσης μεταξύ δύο τερματικών H.323, όπου εμπλέκεται ένας *Gatekeeper* ο οποίος όμως δεν δρομολογεί τα μηνύματα σηματοδοσίας. Στην περίπτωση αυτή ο *Gatekeeper* δίνει μόνο εξουσιοδότηση στα τερματικά.

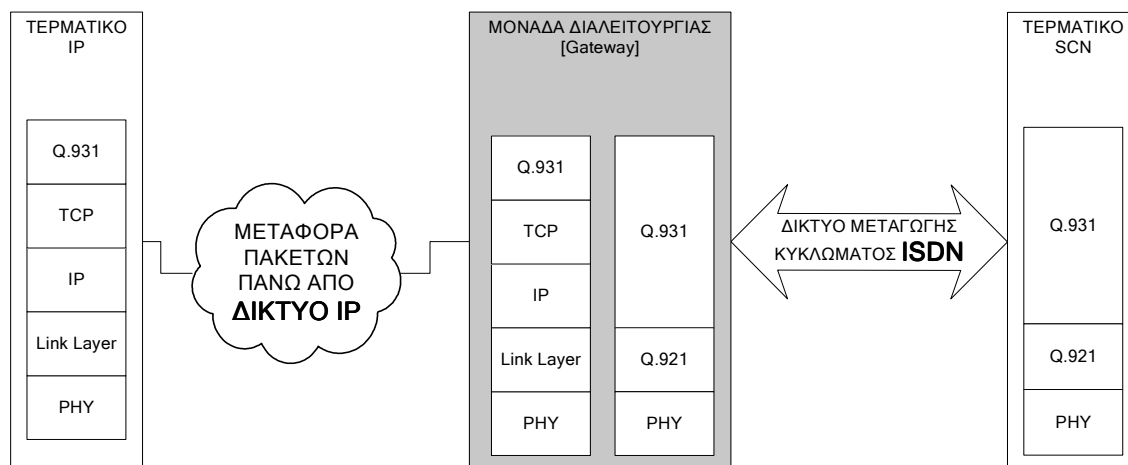
8.6 ΦΩΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Όταν δύο τερματικά που εμπλέκονται στην κλήση προέρχονται από διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, όπως στο σενάριο 3 (Σχήμα 8-10), χρησιμοποιούν για την επικοινωνία διαφορετικές στοίβες πρωτοκόλλων. Οι αναγκαίες μετατροπές των πρωτοκόλλων γίνονται στα όρια των δικτύων. Στην περίπτωση αυτή, δύο τερματικά διαφορετικού τύπου επικοινωνούν μεταξύ τους προκειμένου να εξασφαλίσουν στους χρήστες τους φωνητική υπηρεσία. Το σενάριο αυτό απαιτεί την μετατροπή τόσο μεταξύ των τύπων των δεδομένων και των αντίστοιχων καναλιών ελέγχου, όσο και μεταξύ των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας.

Στα σενάρια 4 και 5 (Σχήμα 8-10), χρησιμοποιούνται τα ίδια πρωτόκολλα από κάθε τερματικό, αλλά διαφορετικά στο δίκτυο που παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Οι μετατροπές των πρωτοκόλλων λαμβάνουν χώρα (τουλάχιστον δύο φορές) στα όρια των δικτύων με τέτοιο τρόπο ώστε η ύπαρξη του διαφορετικού δικτύου να είναι διαφανής στους χρήστες. Στα σενάρια αυτά γενικά απαιτείται η μετατροπή τόσο μεταξύ των τύπων των δεδομένων και των αντίστοιχων καναλιών ελέγχου, όσο και μεταξύ των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας. Όμως, η μετατροπή μεταξύ των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας μπορεί να αποφευχθεί σε ορισμένες περιπτώσεις. Ειδικότερα, όταν το δίκτυο *IP* χρησιμοποιείται μόνο σαν δίκτυο κορμού (σενάριο 4), όλη η πληροφορία σηματοδοσίας του δικτύου *PSTN/ISDN* μπορεί να μεταφερθεί διαφανώς πάνω από αυτό.

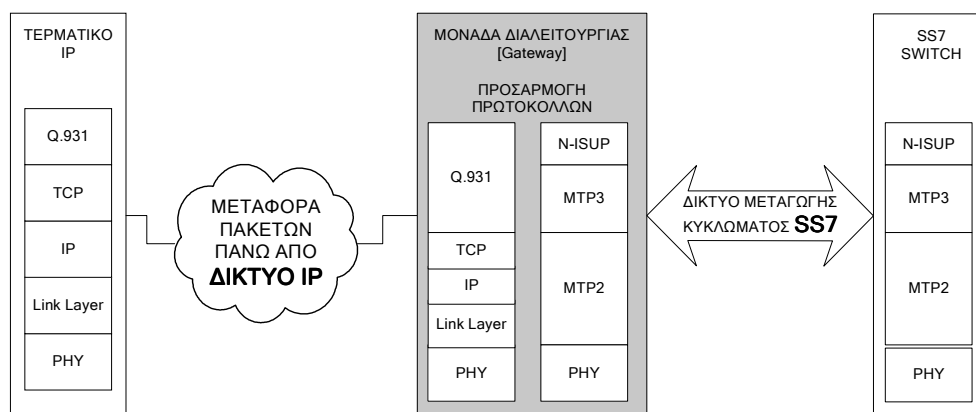
Στην περίπτωση που δύο διαφορετικά πρωτόκολλα σηματοδοσίας χρησιμοποιούνται στα διασυνδεδεμένα δίκτυα, τότε η μονάδα διαλειτουργίας (*Gateway*) πρέπει να εκτελεί την αναγκαία προσαρμογή ώστε μία κλήση από το ένα δίκτυο στο άλλο να μπορεί να πραγματοποιηθεί. Στην περίπτωση της διασύνδεσης με ένα δίκτυο *ISDN* τότε το πρωτόκολλο *Q.931* χρησιμοποιείται και στα δύο δίκτυα. Όμως, το κανάλι σηματοδοσίας μεταξύ ενός τερματικού H.323 και του *Gateway* πρέπει να τερματίζεται στην μονάδα αυτή (δηλαδή, η μονάδα επεξεργάζεται αυτά τα μηνύματα και δεν τα προωθεί απλώς). Ένα ομότιμο κανάλι *Q.931* χρησιμοποιείται για την υποστήριξη του ελέγχου κλήσεων από την

μεριά του δικτύου *ISDN*. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η *ITU-T* έχει καθορίσει μια συγκεκριμένη χρήση των μηνυμάτων του πρωτοκόλλου *Q.931* στο H.323, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μια πλήρης αντιστοίχιση με τα μηνύματα του *Q.931* στο *ISDN*. Στο Σχήμα 8-15 απεικονίζεται η στοιβία πρωτοκόλλων του *Gateway* για την περίπτωση αυτή.



Σχήμα 8-15: Απαραίτητα πρωτόκολλα της μονάδας διαλειτουργίας μεταξύ ενός δικτύου H.323 και του δικτύου *ISDN*

Στην παραπάνω συνδεσμολογία, οι μονάδες διαλειτουργίας (*IP/PSTN Gateways*) αποτελούν τα διαχειριστικά όρια μεταξύ ενός παροχέα υπηρεσιών δικτύου και ενός χρήστη και για τον λόγο αυτό συνδέονται στο δίκτυο σαν τερματικά. Όμως, ένα *Gateway* μπορεί να συνδεθεί στο *SCN* σαν κόμβος δικτύου ώστε να έχει πρόσβαση στο πρωτόκολλο *IN* μέσω του *SS7*. Στην περίπτωση που χρειάζεται η παροχή υπηρεσιών όπως προώθηση κλήσης κλπ. τότε είναι πολύ χρήσιμη η πρόσβαση στο *SS7*. Και αυτό γιατί σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να τερματίζεται η κλήση στον *Gateway* που εξυπηρετεί το τερματικό και να εγκαθίσταται μια νέα κλήση μεταξύ αυτού και του *Gateway* που εξυπηρετεί το τερματικό στο οποίο πρέπει να προωθηθεί η κλήση. Αυτό θα δέσμευε δύο πόρτες του πρώτου *Gateway*, θα χρησιμοποιούσε δύο κυκλώματα στο *PSTN* με αποτέλεσμα να αυξάνει το κόστος, και, πιθανώς, θα εισήγαγε υψηλή καθυστέρηση λόγου του πολύπλοκου δρόμου που θα έπρεπε να ακολουθήσει το σήμα της φωνής.



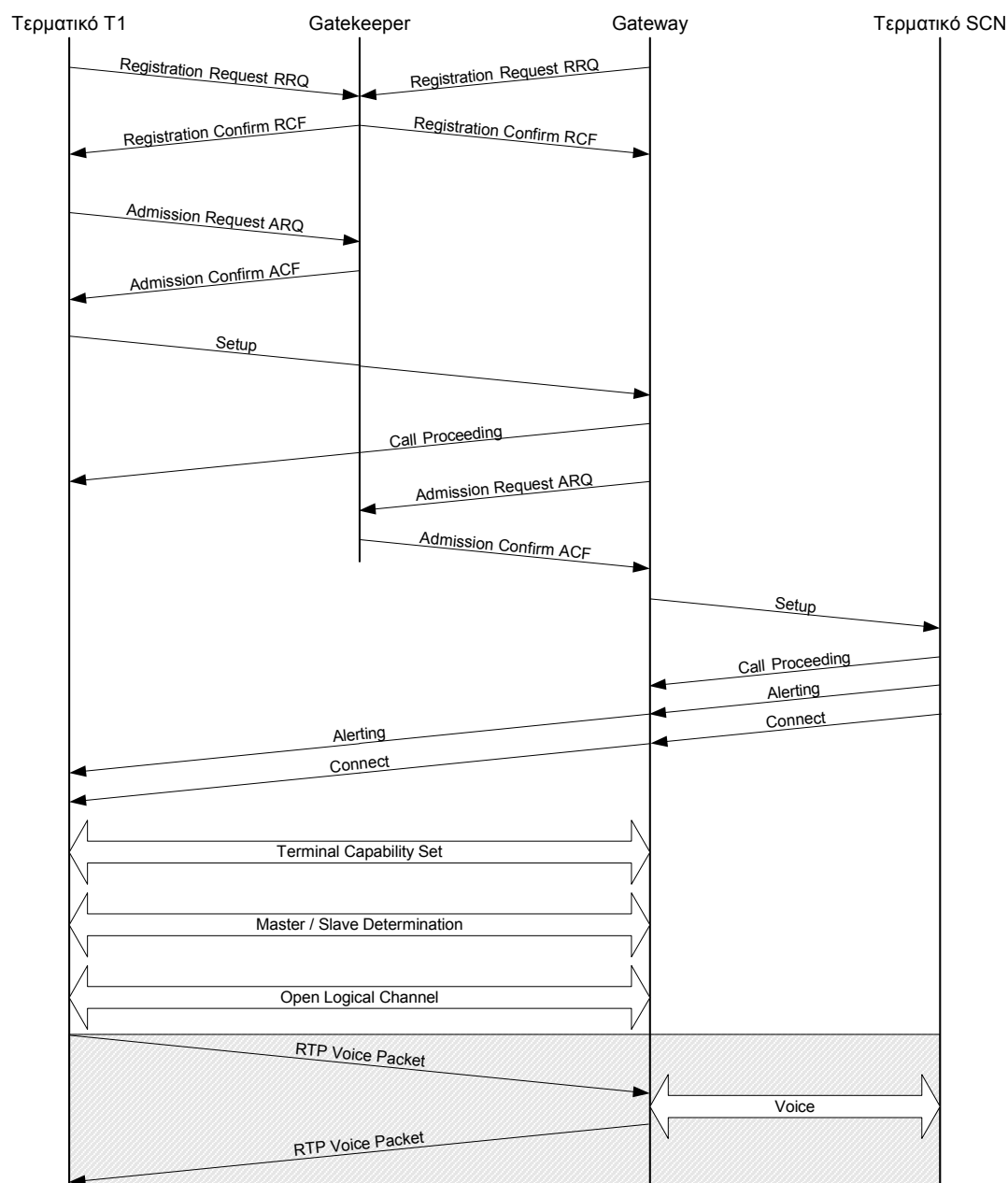
Σχήμα 8-16: Απαραίτητα πρωτοκόλλα του Gateway όταν αυτός συνδέεται απευθείας στο δίκτυο SS7

Όταν υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο SS7, τότε το πρώτο Gateway μπορεί να προωθήσει την κλήση στον άλλο (μέσω σηματοδοσίας), αποφεύγοντας τα παραπάνω προβλήματα. Με τον τρόπο αυτό, δύο κέντρα μπορούν διαφανώς να συνδυαστούν για να αποτελέσουν ένα μεγαλύτερο κέντρο στο οποίο οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω συνηθισμένης διευθυνσιοδότησης. Συνεπώς, ο Gateway πρέπει να υλοποιεί το πρωτόκολλο N-ISUP. Στο Σχήμα 8-16 απεικονίζεται η στοίβα πρωτοκόλλων για την περίπτωση αυτή.

Το SS7 είναι απαραίτητο για την υποστήριξη IN. Συνεπώς, οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί είναι ιδιαίτερα διστακτικοί να το «ανοιξουν» στους ιδιοκτήτες των διαφόρων Gateways. Μια πιο πιθανή περίπτωση είναι να παρέχεται πρόσβαση μέσω SS7 σε ένα Gateway υπεύθυνο για την σηματοδοσία, ο οποίος θα ελέγχει έναν ή περισσότερους Gateways που θα είναι υπεύθυνοι για την προσαρμογή των δεδομένων και των καναλιών ελέγχου αυτών. Στην περίπτωση αυτή θα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου (π.χ. Media Gateway Control Protocol – MGCP).

Για την διαλειτουργία μεταξύ των δικτύων ISDN και IP θα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα σε κάθε χρήστη του δικτύου ISDN να μπορεί να καλέσει έναν χρήστη του δικτύου IP και αντίστροφα. Όταν η κλήση ξεκινά από ένα τερματικό H.323 προς ένα τερματικό του ISDN, η E.164 διεύθυνση μπορεί εύκολα να σταλεί στον Gateway και αυτός να προωθήσει την κλήση.

Στο Σχήμα 8-17 φαίνεται η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των διαφόρων μονάδων του δικτύου στην περίπτωση αυτή. Παρατηρούμε ότι, αφού ο Gateway λαμβάνει όλη την πληροφορία για το τερματικό του δικτύου ISDN μπορεί εύκολα να εκτελέσει την διαδικασία εγκατάστασης κλήσης με αυτό. Όταν αυτή ολοκληρωθεί επιτυχώς διαπραγματεύεται με το τερματικό H.323 τον audio codec που θα χρησιμοποιηθεί και ξεκινά η συνομιλία με την εγκατάσταση των λογικών καναλιών για την μεταφορά της φωνής.

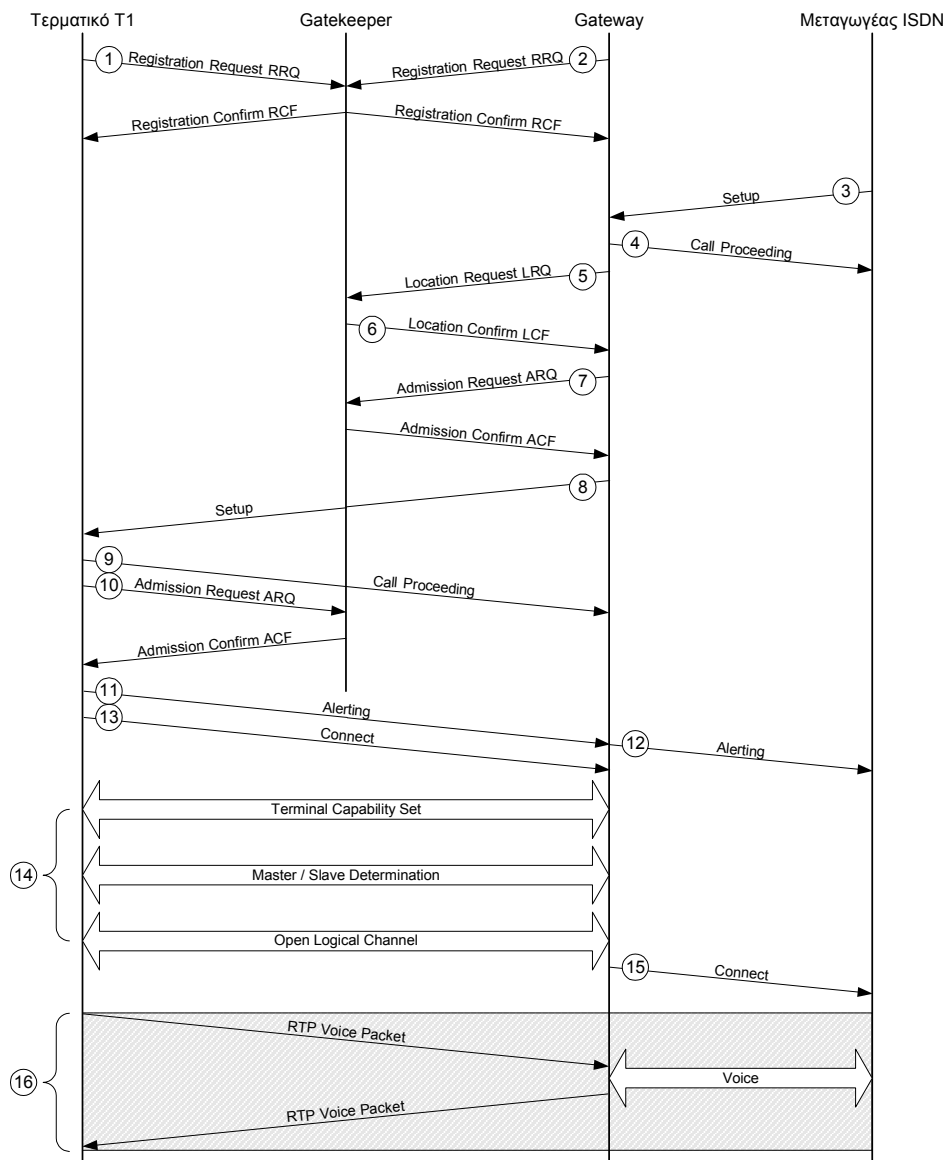


Σχήμα 8-17: Μηνύματα για εγκατάσταση κλήσης από ένα τερματικό H.323 σε ένα τερματικό του δικτύου ISDN

Η διαδικασία είναι πιο πολύπλοκη όταν ένα τερματικό ISDN καλεί ένα τερματικό H.323. Αυτό σχετίζεται με τις περιορισμένες δυνατότητες των τυπικών τηλεφωνικών συσκευών, ιδιαίτερα αν μόνο μια αλφαριθμητική διεύθυνση έχει καθοριστεί για τον καλούμενο. Ένα κρίσιμο θέμα είναι αν θα πρέπει η αριθμητική έκφραση μιας IP διεύθυνσης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ενός τερματικού. Μια βασική απαίτηση είναι ο καλών χρήστης να αγνοεί το δίκτυο του καλούμενου. Η προσέγγιση της ITU-T σε αυτό το πρόβλημα είναι να επιτρέπεται σε ένα τερματικό H.323 να πιστοποιείται με

διαφορετικούς τρόπους όπως π.χ. μια διεύθυνση E.164, μία διεύθυνση *e-mail* κλπ. Για τον σκοπό αυτό βέβαια, απαιτείται μετάφραση διευθύνσεων, ανάλυση και υπηρεσίες καταχώρησης που εκτελούνται όπως έχουμε ήδη αναφέρει από τον *Gatekeeper*. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- ο Το τερματικό H.323 έχει γενικά ορισμένη E.164 διεύθυνση ή έχει τοπικά ορισμένη E.164 διεύθυνση και η κλήση προέρχεται από τερματικό *ISDN*.
- ο Το τερματικό H.323 έχει τοπικά ορισμένη E.164 διεύθυνση και η κλήση προέρχεται από αναλογικό τερματικό.



Σχήμα 8-18: Μηνύματα για εγκατάσταση κλήσης από ένα τερματικό SCN σε ένα τερματικό H.323 που διαθέτει γενικά ορισμένη E.164 διεύθυνση

Η διαδικασία εγκατάστασης κλήσης για την πρώτη περίπτωση απεικονίζεται στο Σχήμα 8-18.

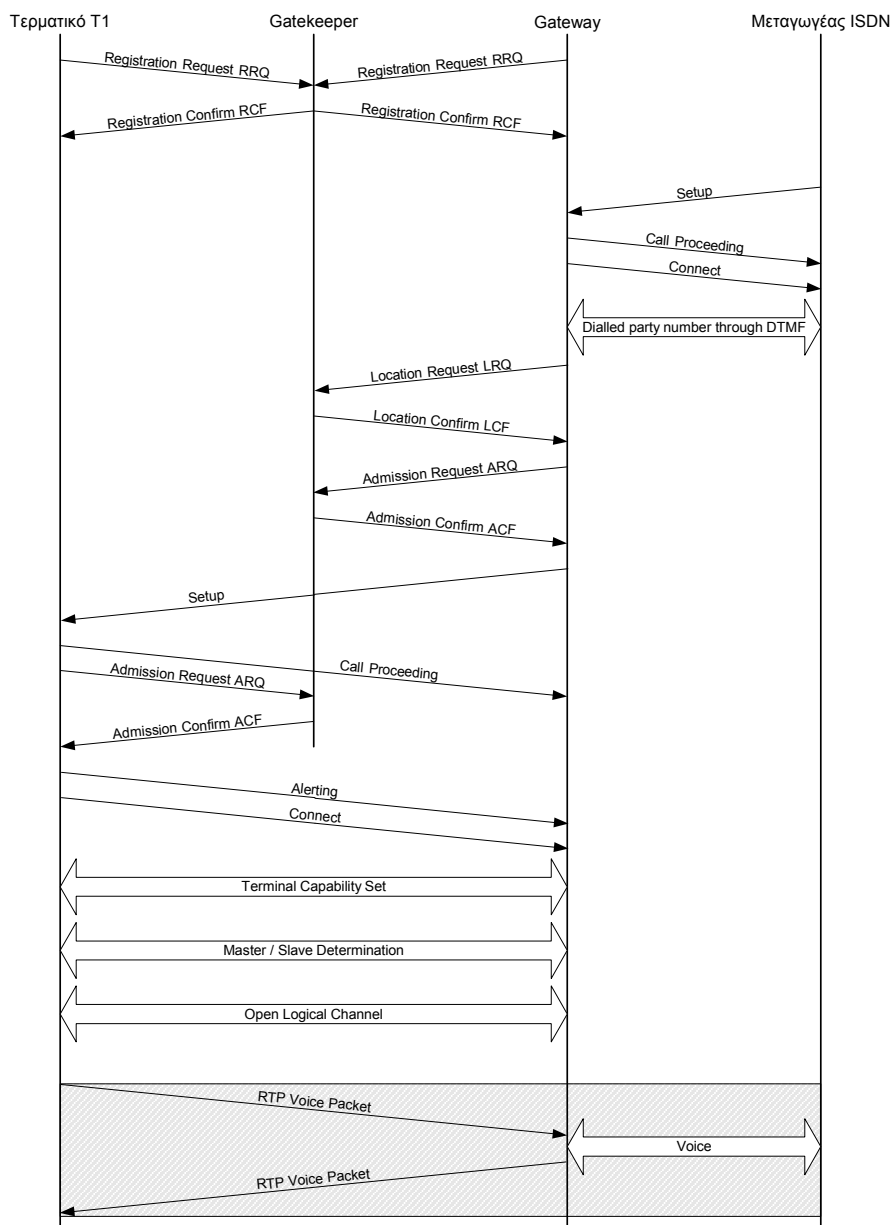
Τα διάφορα στάδια εγκατάστασης παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

- ⇒ Το τερματικό H.323 καταχωρείται στον *Gatekeeper* δίνοντάς του την διεύθυνση δικτύου του, τα διάφορα αναγνωριστικά της και την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς του καναλιού σηματοδότησής του. Το τερματικό επαναλαμβάνει την διαδικασία μέχρις ότου καταχωρήσει όλα τα αναγνωριστικά του.
- ⇒ Ο *Gateway* καταχωρείται στον *Gatekeeper* ακολουθώντας την ίδια διαδικασία.
- ⇒ Ο *Gateway* λαμβάνει ένα μήνυμα *Setup* από την πλευρά του *ISDN*. Το μήνυμα αυτό περιέχει την κατά E.164 διεύθυνση του καλούντος τερματικού καθώς και την αντίστοιχη του καλούμενου. Στην περίπτωση που η κλήση προέρχεται από τερματικό *ISDN* και το τερματικό H.323 έχει τοπική E.164 διεύθυνση τότε η διεύθυνση του καλούμενου μπορεί να παρέχεται μέσω του στοιχείου πληροφορίας *Called Party Sub-Address Number*.
- ⇒ Ο *Gateway* απαντά με ένα μήνυμα *Call Proceeding* υποδεικνύοντας ότι η κλήση βρίσκεται σε εξέλιξη.
- ⇒ Ο *Gateway* στέλνει ένα μήνυμα αναζήτησης (*Location Request LRQ*) στον *Gatekeeper*, ζητώντας την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς του καναλιού σηματοδότησής του καλούμενου καθώς και την *IP* διεύθυνσή του. Η E.164 διεύθυνση του τερματικού H.323 παρέχεται στο μήνυμα αυτό.
- ⇒ Ο *Gatekeeper* απαντά με ένα μήνυμα *Location Confirm LCF* στο οποίο περιέχεται η πληροφορία που ζητήθηκε.
- ⇒ Ο *Gateway* ζητά από τον *Gatekeeper* την άδεια να ξεκινήσει την διαδικασία εγκατάστασης κλήσης στέλνοντας ένα μήνυμα *ARQ*. Με την λήψη του μηνύματος *ACF*, ο *Gateway* μπορεί να προχωρήσει στην ανταλλαγή των μηνυμάτων σηματοδότησής με το τερματικό.
- ⇒ Ο *Gateway* στέλνει ένα μήνυμα *Setup* στο κανάλι σηματοδότησής του καλούμενου τερματικού H.323.
- ⇒ Αν το τερματικό H.323 επιθυμεί να δεχθεί την κλήση απαντά με το μήνυμα *Call Proceeding*.
- ⇒ Το τερματικό H.323 ζητά από τον *Gatekeeper* την άδεια να προχωρήσει στην διαδικασία εγκατάστασης κλήσης.
- ⇒ Το τερματικό H.323 στέλνει στον *Gateway* ένα μήνυμα *Alert* δηλώνοντας ότι ο καλούμενος χρήστης ενημερώθηκε για την εισερχόμενη κλήση.
- ⇒ Το μήνυμα *Alert* στέλνεται από τον *Gateway* στην πλευρά του *ISDN*.

- ⇒ Το τερματικό H.323 στέλνει ένα μήνυμα *Connect* στον *Gateway* δηλώνοντας ότι η κλήση έγινε αποδεκτή. Το μήνυμα από περιέχει την διεύθυνση του στρώματος μεταφοράς που απαιτείται για την εγκατάσταση του καναλιού ελέγχου H.245.
- ⇒ Το τερματικό H.323 και ο *Gateway* εκτελούν τον διάλογο H.245 σχετικά με την διαπραγμάτευση των δυνατοτήτων, την ανάθεση του *Master* και το άνοιγμα των λογικών καναλιών που θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά της φωνής.
- ⇒ Μόλις ο διάλογος ολοκληρωθεί, ο *Gateway* στέλνει το μήνυμα *Connect* στην πλευρά του *ISDN* δηλώνοντας ότι μπορεί να αρχίσει η επικοινωνία.

Άξιο αναφοράς είναι ότι το διάγραμμα αυτό αναφέρεται σε ένα τυπικό σενάριο, αλλά υπάρχουν και συντομότερα που χρησιμοποιούν την διαδικασία γρήγορης εγκατάστασης κλήσης (*Fast Connect procedure*) κατά την οποία τα μηνύματα H.245 περιέχονται στα μηνύματα της σηματοδοσίας.

Εάν το τερματικό που ξεκινά την διαδικασία εγκατάστασης κλήσης είναι αναλογικό (*POTS*) και το τερματικό H.323 έχει τοπικά ορισμένη E.164 διεύθυνση τότε ανταλλάσσονται τα μηνύματα που φαίνονται στο Σχήμα 8-19.

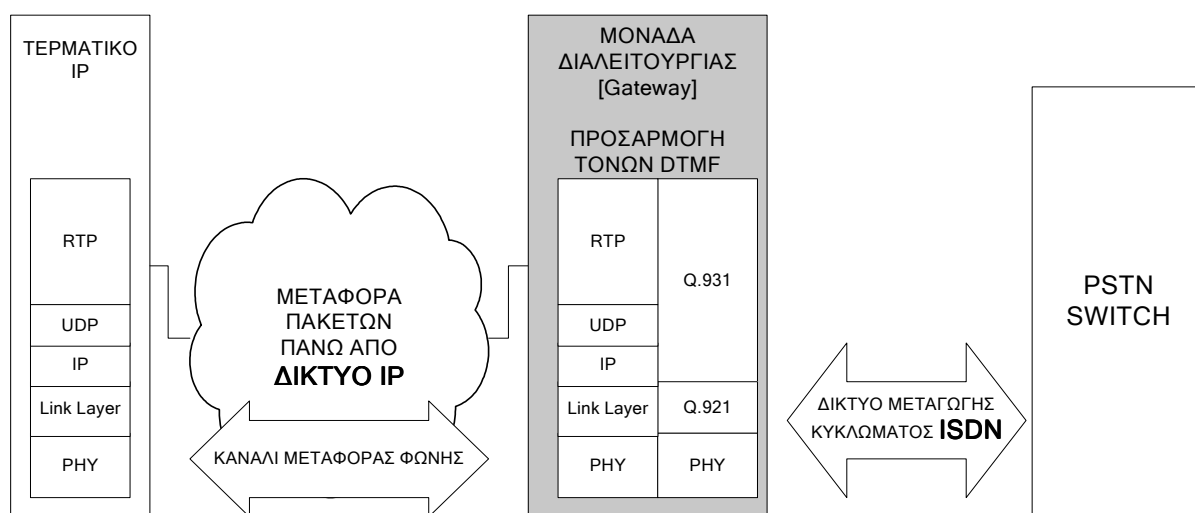


Σχήμα 8-19: Μηνύματα εγκατάστασης κλήσης από ένα τερματικό ISDN σε ένα τερματικό H.323 που διαθέτει τοπικά ορισμένη E.164 διεύθυνση ή άλλου είδους αναγνωριστικό

Σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση εδώ όταν το *Gateway* λάβει το μήνυμα *Setup* αντιλαμβάνεται ότι στο μήνυμα δεν περιέχεται η απαραίτητη πληροφορία για την ανεύρεση του τερματικού H.323. Συνεπώς, εγκαθιστά κανονικά την κλήση με το τερματικό αυτό και περιμένει μέσω τόνων *DTMF* να αποστείλει το τερματικό τον αριθμό κλήσης του καλούμενου. Μόλις ο *Gateway* λάβει όλη την απαιτούμενη πληροφορία, η εγκατάσταση της κλήσης προχωρά όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Στην συνέχεια εγκαθίσταται η κλήση και το κανάλι ελέγχου μέσου (*media control channel*) χρησιμοποιείται για την μεταφορά όλης της πληροφορίας ελέγχου από τον χρήστη ή το τερματικό. Όσον αφορά στις φωνητικές επικοινωνίες, ο βασικός τύπος πληροφορίας ελέγχου χρήστη είναι οι *DTMF*

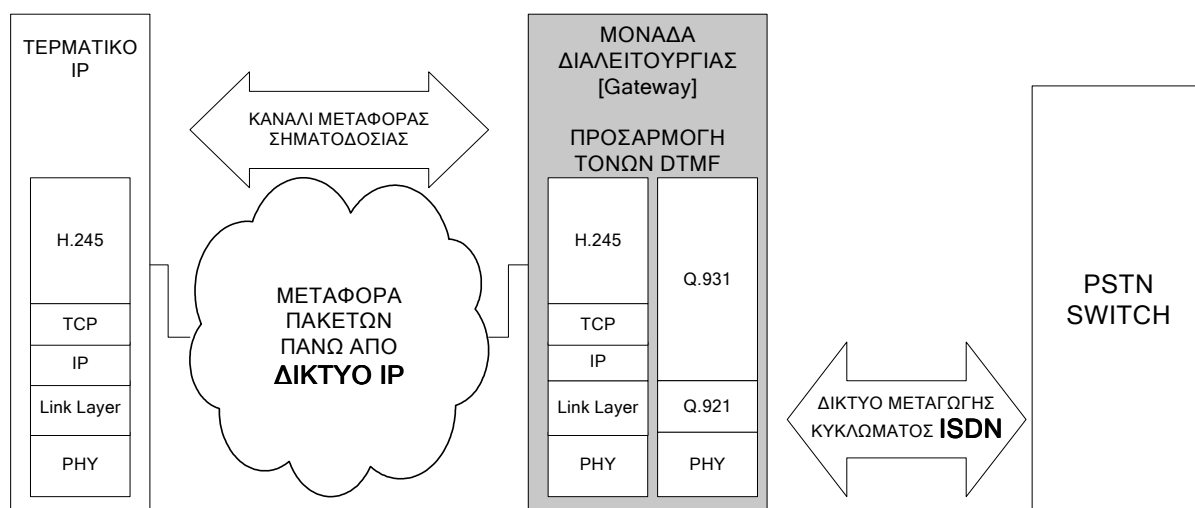
τόνοι. Η μεταφορά τους σε μία υβριδική σύνδεση απαιτεί προσεκτική παρακολούθηση. Οι τυπικές τεχνικές κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται σήμερα για την επίτευξη χαμηλών ρυθμών μετάδοσης, εισάγουν παραμόρφωση που είναι ικανή να αλλοιώσει τους *DTMF* τόνους, με αποτέλεσμα ο λήπτης να μην μπορεί να τους ανιχνεύσει επιτυχώς. Για τον λόγο αυτό, οι τόνοι *DTMF* πρέπει να διαχωρίζονται από το ηχητικό σήμα στον πομπό ή στον *Gateway* και να αποστέλλονται ξεχωριστά στον δέκτη.

Για την μεταφορά πληροφορίας *DTMF* υπάρχουν δύο διαφορετικές προτάσεις από τις ομάδες εργασίας που ασχολούνται με την τηλεφωνία πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Η πρώτη είναι να μεταφέρονται εντός ζώνης μέσω του πρωτοκόλλου *RTP* χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη μορφοποίηση [66]. Τα απαραίτητα πρωτόκολλα φαίνονται στο Σχήμα 8-20



Σχήμα 8-20: Μεταφορά τόνων *DTMF* εντός καναλιού φωνής (*inband*) κατά *H.323*

Το πλεονέκτημα είναι ότι οι τόνοι είναι συγχρονισμένοι με την ομιλία. Όμως, η παράδοση των πακέτων αυτών δεν είναι εγγυημένη λόγω της χρήσης του πρωτοκόλλου *UDP*. Αν και η πιθανότητα απώλειας ενός πακέτου φωνής μπορεί να ελεγχθεί και να είναι μικρή σε τοπικά δίκτυα (*Intranets*) χωρίς να επηρεάζει σημαντικά η ποιότητα επικοινωνίας, η απώλεια ενός *DTMF* τόνου οδηγεί σε δυσλειτουργία της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η δεύτερη λύση προτείνει την μεταφορά των *DTMF* τόνων εκτός ζώνης σε ένα ξεχωριστό και αξιόπιστο κανάλι. Το μειονέκτημα είναι ότι οι *DTMF* τόνοι δεν είναι πλέον συγχρονισμένοι με την φωνή. Η λύση αυτή είναι αυτή που προτείνει η προδιαγραφή *H.323* με την μεταφορά τους στο κανάλι *H.245*. Η στοιβία πρωτοκόλλων της μονάδας διαλειτουργίας στην περίπτωση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 8-21.



Σχήμα 8-21: Μεταφορά τόνων DTMF εκτός καναλιού φωνής (out of band) κατά H.323

8.7 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ SIP

Το **SIP – Session Initiation Protocol** (Πρωτόκολλο Αρχικοποίησης Συνόδου) [67] είναι ένα κειμενοκεντρικό πρωτόκολλο που βασίζεται τόσο στο πρωτόκολλο HTTP (Hyper Text Transport Protocol) το οποίο και χρησιμοποιείται για την περιήγηση στο διαδίκτυο, όσο και στο πρωτόκολλο SMTP (Short Message Transport Protocol) που χρησιμοποιείται από τις εφαρμογές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Το SIP αναπτύσσεται από την IETF και αρχικά από την ομάδα εργασίας MMUSIC – Multiparty Multimedia Session Control. Σύντομα όμως και λόγω του ισχυρού ενδιαφέροντος που προκάλεσε, απέκτησε δική του αποκλειστική ομάδα εργασίας καθώς και τις «θυγατρικές» SIPPING, SIMPLE και PINT.

Όπως είναι προφανές από το όνομα του, ο κύριος σκοπός του SIP είναι η *αρχικοποίηση και εγκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ δυο τερματικών σημείων*. Στο SIP η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ ισότιμων μερών (peer-to-peer communication). Αυτό σημαίνει ότι και οι 2 συμμετέχουσες πλευρές θεωρούνται ομότιμες και καμία από τις 2 δεν θεωρείται master ή slave. Παρ' όλα αυτά το SIP χρησιμοποιεί το μοντέλο Πελάτη – Εξυπηρετητή (client – server). Όπως θα δούμε και παρακάτω, ένας SIP client μπορεί να αποστείλει μια αίτηση (REQUEST) σε έναν SIP server ο οποίος και αποκρίνεται με μια SIP απόκριση (RESPONSE). Σε μια τυπική επικοινωνία μέσω SIP, ένα τερματικό σημείο μπορεί πολλές φορές να συμπεριφερθεί είτε σαν server είτε σαν client ανάλογα με τον τύπο την συνόδου στην οποία λαμβάνει μέρος και ανάλογα και με τα μηνύματα τα οποία ανταλλάσσονται με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες στη σύνοδο.

8.8 ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ SIP

Το SIP, παρέχει τις ακόλουθες δυνατότητες:

- ⇒ Εντοπισμός της τοποθεσίας του καλούμενου χρήστη.
- ⇒ Καθορισμός των πολυμεσιών δυνατοτήτων του καλούμενου χρήστη. Μέσω του πρωτοκόλλου SDP μπορεί να καθοριστεί το κοινό υπόβαθρο πολυμεσιών δυνατοτήτων στο οποίο μπορούν να ανταποκριθούν και οι 2 χρήστες
- ⇒ Καθορισμός της διαθεσιμότητας του καλούμενου χρήστη. Αν ο χρήστης δεν είναι διαθέσιμος, τότε το SIP μπορεί να καθορίσει τις επιπλέον ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν και ενημερώνει για αυτές τον καλούντα.
- ⇒ Εγκατάσταση της συνόδου μεταξύ των συμμετεχόντων μερών. Αν η σύνοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί, τότε το SIP την εγκαθιστά. Επιπλέον παρέχει τη δυνατότητα για διάφορους χειρισμούς κατά τη διάρκεια της συνόδου όπως πχ την προσθήκη επιπλέον των 2 συμμετεχόντων ή ακόμα και την αλλαγή της κωδικοποίησης της φωνής κατά τη διάρκεια της συνόδου και εφόσον αυτό είναι απαραίτητο.
- ⇒ Διαχειρίζεται την ολοκλήρωση της συνόδου ή της μεταφοράς / εκτροπής / προώθησης της κλήσης

Υπάρχουν δύο βασικά στοιχεία τα οποία και απαρτίζουν ένα δίκτυο SIP:

- Οι SIP User Agents.
- Οι SIP servers.

8.8.1 SIP USER AGENTS

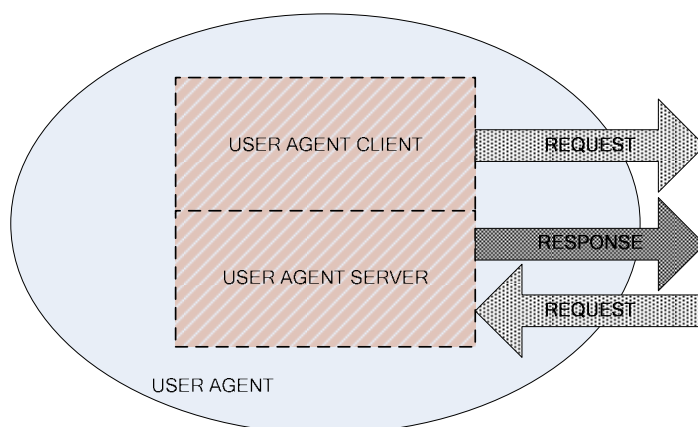
Οι *User Agents (UA)* αποτελούν ουσιαστικά τις τερματικές διατάξεις ενός δικτύου SIP. Αποτελούν τα ισότιμα μέρη που λαμβάνουν μέρος σε μια σύνοδο μέσω SIP. Οι UA μπορούν να δημιουργούν αιτήσεις για αρχικοποίηση μιας συνόδου, να αποστέλλουν και να λαμβάνουν δεδομένα κατά τη διάρκεια αυτής. Οι UA μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι οι «πελάτες» (clients) στην αρχιτεκτονική του SIP. Ένας UA μπορεί να είναι μια τηλεφωνική συσκευή SIP ή μια εφαρμογή εξομοίωσης τηλεφωνικής συσκευής SIP η οποία και θα βρίσκεται εγκατεστημένη σε κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή ή σε κάποιο υπολογιστή

χειρός (palmtop). Εναλλακτικά, User Agent μπορεί να είναι ένα Gateway διασύνδεσης με κάποιο ετερογενές δίκτυο πρόσβασης (όπως πχ το PSTN) που θα επιτρέψει σε μια SIP τηλεφωνική συσκευή να πραγματοποιεί κλήσεις από και προς ένα PSTN τηλέφωνο.

Ο User Agent χωρίζεται σε δυο ξεχωριστές οντότητες:

- ⇒ τον *User Agent client (UAC)* ο οποίος και μπορεί να δημιουργεί αιτήσεις (requests) προς άλλους User Agents.
- ⇒ τον *User Agent Server (UAS)* ο οποίος δέχεται και επεξεργάζεται τις αιτήσεις (requests) που φτάνουν στον UA και παράλληλα παράγει τις κατάλληλες αποκρίσεις (responses).

Κάθε SIP User Agent, υλοποιεί τόσο ένα UAC όσο και ένα UAS. Κατά τη διάρκεια μιας τυπικής SIP κλήσης και τα 2 κομμάτια του user agent χρησιμοποιούνται. Το ποιο κομμάτι του UA θα χρησιμοποιηθεί κάθε στιγμή εξαρτάται από το ποιος UA ξεκίνησε την αίτηση συνόδου.



Σχήμα 8-22 – Εσωτερική δομή ενός SIP USER AGENT

8.8.2 SIP SERVERS

Οι Servers αποτελούν ενδιάμεσες συσκευές σε ένα δίκτυο SIP και βοηθούν τους User Agents κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης της συνόδου, ενώ ταυτόχρονα επιτελούν και επιπλέον λειτουργίες. Υπάρχουν 3 τύποι servers για το πρωτόκολλο SIP όπως καθορίζει και η προδιαγραφή RFC2543[67].

- ⇒ **Proxy**: Ο SIP proxy server δέχεται αιτήσεις από ένα SIP UA ή από έναν άλλο Proxy και τις αποθηκεύει ή τις προωθεί σε κάποιον επόμενο Proxy.

⇒ **Redirect:** Ο SIP Redirect Server δέχεται αιτήσεις από έναν UA ή Proxy και επιστρέφει μια απόκριση ανακατεύθυνσης καθορίζοντας το που θα πρέπει να δρομολογηθεί η αίτηση.

⇒ **Registrar:** Ο Registrar Server δέχεται αιτήσεις εγγραφών (registration requests) και ενημερώνει την βάση δεδομένων του server τοποθεσίας (Location Server).

Οι Servers **Proxy, Registrar & Redirect** είναι καθαρά εξυπηρετητές σηματοδοσίας και δεν ανταλλάσσουν μεταξύ τους μηνύματα πολυμέσων, ούτε δημιουργούν αιτήσεις, παρά μόνο όταν λειτουργούν για λογαριασμό κάποιου UA.

⇒ **Location Servers:** Οι Location Servers αποτελούν μια γενική ονομασία της προδιαγραφής του SIP για βάσεις δεδομένων. Οι βάσεις αυτές μπορούν να περιέχουν πληροφορία σχετικά με την θέση των χρηστών όπως διεύθυνση IP, διεύθυνση URL, γενικά χαρακτηριστικά για την προσφερόμενη υπηρεσία στους χρήστες αλλά και τις ρυθμίσεις των χρηστών. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν και πληροφορία σχετικά με τη δρομολόγηση των δεδομένων από και προς τους τα διάφορα σημεία του SIP δικτύου: τους Proxies, τα Gateways και άλλους Location Servers. Οι UAs δεν επικοινωνούν συνήθως απευθείας με ένα Location Server αλλά μέσω Proxies, Redirect και Registrar Servers. Οι SIP Servers χρησιμοποιούν πρωτόκολλα που δεν ανήκουν στο SIP προκειμένου να επικοινωνήσουν με τον Location Server και να αποκτήσουν την απαραίτητη πληροφορία για να δρομολογήσουν σωστά την κίνηση του SIP.

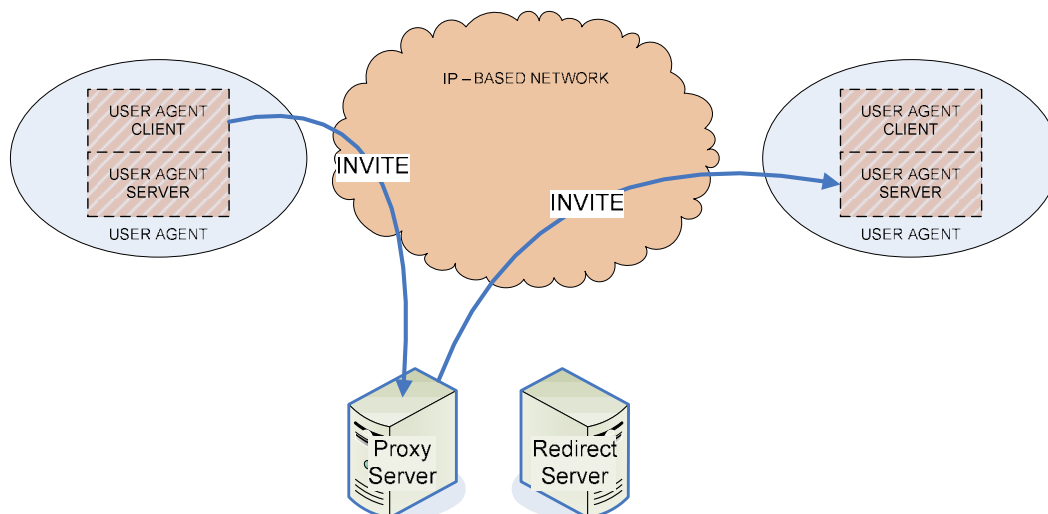
8.9 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ SIP

Το SIP είναι απλό στη λειτουργία του, και βασίζεται στην κωδικοποίηση ASCII για την ανταλλαγή μηνυμάτων (αιτήσεων και αποκρίσεων) μεταξύ των συμμετεχόντων μερών, προκειμένου τελικά να εδραιωθεί ο δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ αυτών. Οι χρήστες ενός SIP δικτύου, ταυτοποιούνται μέσω μιας μοναδικής διεύθυνσης η οποία είναι σαν μια διεύθυνση e-mail: *userID@company.com*. Το πεδίο *userID* της διεύθυνσης μπορεί να είναι κάποιο όνομα ή ακόμα και μια E.164 διεύθυνση. Οι χρήστες εγγράφονται σε κάποιον Registrar Server χρησιμοποιώντας τη προσωπική SIP διεύθυνση τους. Όταν ένας χρήστης ξεκινά μια σύνοδο, μια αίτηση SIP αποστέλλεται στον SIP Server (στον Proxy ή στον Redirect). Η αίτηση περιλαμβάνει τη διεύθυνση του καλούντος καθώς και τη διεύθυνση του καλούμενου. Στα επόμενα παραδείγματα φαίνονται διάφορα σενάρια πραγματοποίησης κλήσεων SIP μέσω ενός Redirect ή ενός Proxy Server. Ένας χρήστης SIP μπορεί να μετακινείται μεταξύ διαφόρων συστημάτων και τοποθεσιών. Η νέα θέση του χρήστη

επανεγγράφεται δυναμικά στον SIP server. Ο Location Server χρησιμοποιεί διάφορα πρωτόκολλα για τον εντοπισμό του καλούμενου χρήστη.

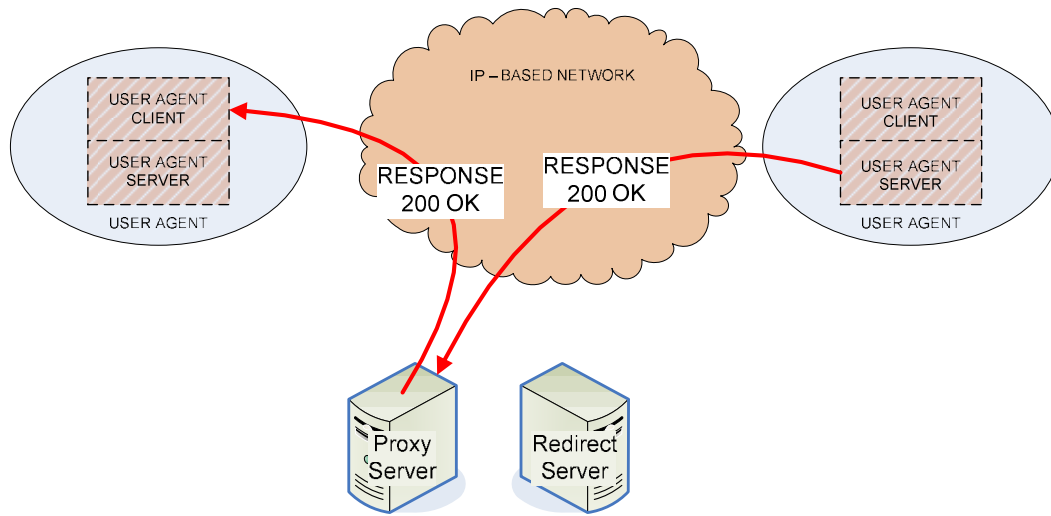
8.9.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΟΔΟΥ ΜΕΣΩ PROXY SERVER.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένας proxy server, ο UA του καλούντος στέλνει μια αίτηση INVITE στον Proxy Server, εκείνος καθορίζει τη διαδρομή προς τον καλούμενο και του προωθεί την αίτηση.



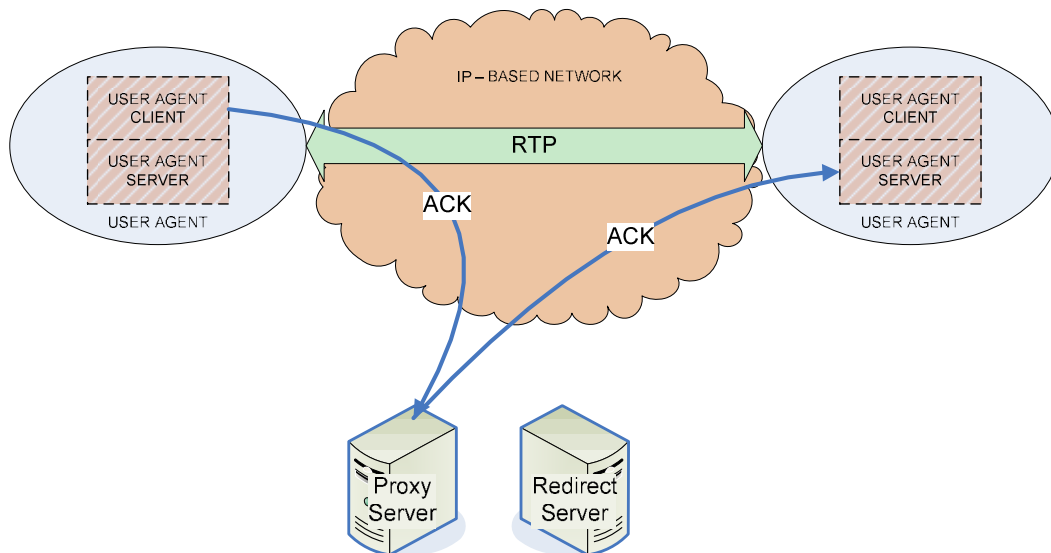
Σχήμα 8-23. Προώθηση αίτησης από τον Proxy Server.

Ο καλούμενος απαντά στον Proxy Server ο οποίος με τη σειρά του προωθεί την απόκριση στον καλούντα.



Σχήμα 8-24. Προώθηση απόκρισης από τον Proxy Server.

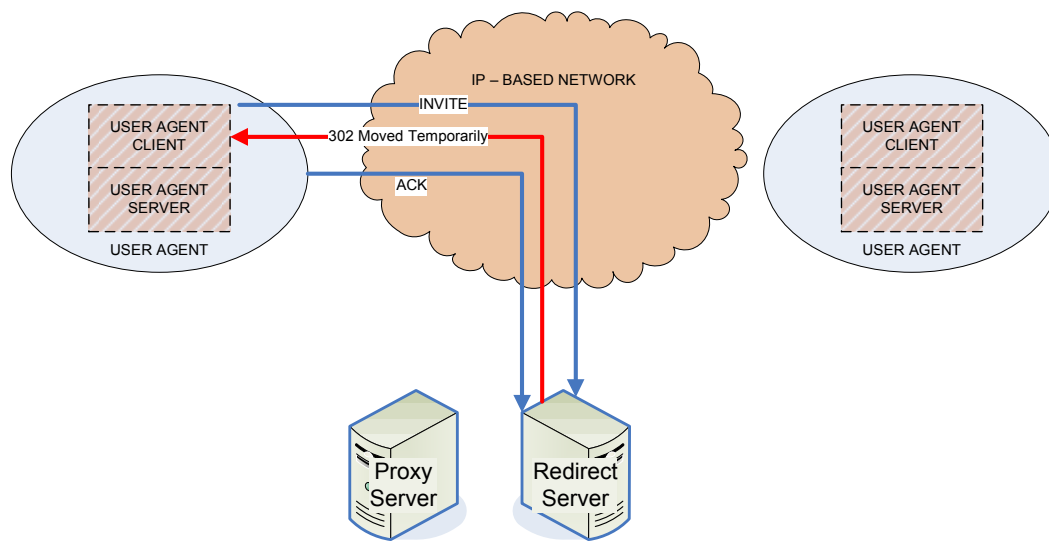
Στη συνέχεια ο Proxy Server προωθεί την απόκριση βεβαίωσης λήψης και από τους 2 συμμετέχοντες. Με τον τρόπο αυτό η σύνδεση έχει εγκατασταθεί και πλέον το πρωτόκολλο RTP (Real Time Protocol) αναλαμβάνει τη μεταφορά της φωνής μεταξύ των 2 μερών.



Σχήμα 8-25. Εγκατάσταση SIP συνόδου διαμέσου Proxy Server.

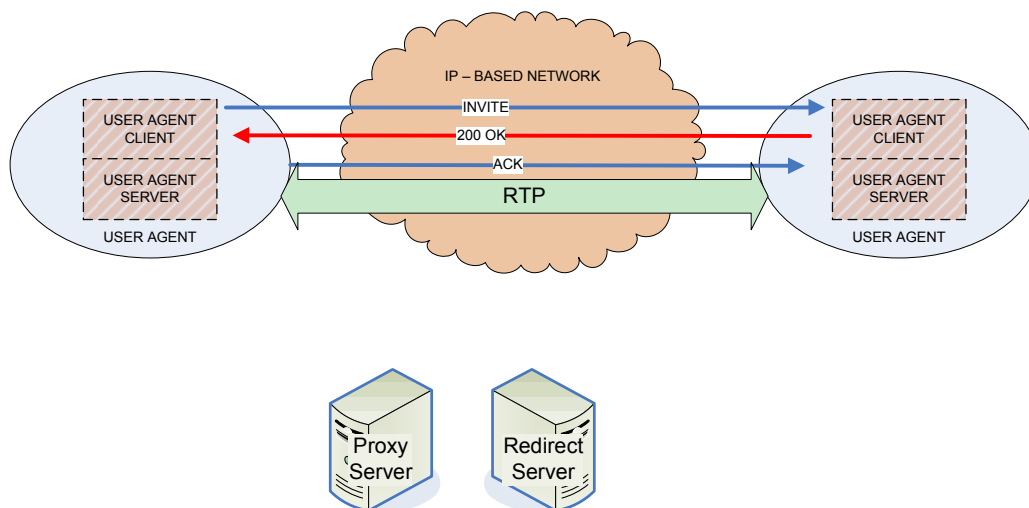
8.9.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΝΟΔΟΥ ΜΕΣΩ REDIRECT SERVER.

Στην περίπτωση που για την εγκατάσταση της επικοινωνίας χρησιμοποιείται ένας redirect server, ο καλών UA αποστέλλει μια αίτηση INVITE στον Redirect Server, ο Redirect Server επικοινωνεί με τον Location Server για να καθορίσει τη διαδρομή προς τον καλούμενο. Στη συνέχεια ο Redirect Server αποστέλλει την πληροφορία αυτή στον καλούντα.



Σχήμα 8-26. Προώθηση αίτησης από τον Redirect Server.

Ο καλών στη συνέχεια, αποστέλλει μια αίτηση INVITE απευθείας στη συσκευή που αντιστοιχεί στην πληροφορία που του απέστειλε ο Redirect Server. Η συσκευή αυτή μπορεί να είναι ο καλούμενος ή κάποιος άλλος Server ο οποίος με τον ίδιο τρόπο θα προωθήσει την αίτηση. Όταν τελικώς η αίτηση καταλήξει στον καλούμενο, αυτός στέλνει μια απόκριση και ο καλών απαντά με μια απόκριση βεβαίωσης λήψης (ACK). Με τον τρόπο αυτό η σύνοδος έχει εγκατασταθεί και πλέον το πρωτόκολλο RTP (Real Time Protocol) αναλαμβάνει τη μεταφορά της φωνής μεταξύ των 2 μερών.



Σχήμα 8-27. Προώθηση απόκρισης και εγκατάσταση συνόδου διαμέσου του Redirect Server.

8.9.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΥ SIP ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ.

Το σύνολο των αιτήσεων του SIP (οι οποίες είναι επίσης γνωστές και σαν μέθοδοι) παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα. Οι πρώτες 6 καθορίζονται από την προδιαγραφή RFC2543 (τη βασική προδιαγραφή περιγραφής του SIP) ενώ οι υπόλοιπες περιλαμβάνονται σε επιπλέον προδιαγραφές.

METHOD	DESCRIPTION
INVITE	Session setup
ACK	Acknowledgment of final response to INVITE
BYE	Session termination
CANCEL	Pending session cancellation
REGISTER	Registration of a user's URL
OPTIONS	Query of options and capabilities
INFO	Midcall signaling transport
PRACK	Provisional response acknowledgment
COMET	Preconditions met notification
REFER	Transfer user to a URL
SUBSCRIBE	Request notification of an event
UNSUBSCRIBE	Cancel notification of an event
NOTIFY	Transport of subscribed event notification
MESSAGE	Transport of an instant message body

Πίνακας 8-8. Μέθοδοι του πρωτοκόλλου SIP.

Οι αποκρίσεις στο SIP είναι αριθμητικές. Πολλές από τις αποκρίσεις το SIP τις έχει δανειστεί από το HTTP με προσθήκες βεβαίως αρκετών νέων. Οι αποκρίσεις χωρίζονται σε 6 διαφορετικές κλάσεις. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι κλάσεις αυτές.

CLASS	DESCRIPTION
1XX	Provisional or Informational: Request is progressing but not yet complete.
2XX	Success: The request has completed successfully.
3XX	Redirection: Request should be tried at another location.
4XX	Client error: Request was not completed due to error on request, can be retried when corrected.
5XX	Server error: Request was not completed due to error in recipient, can be retried at another location.
6XX	Global failure: Request has failed and should not be retried again.

Πίνακας 8-9. Κλάσεις αποκρίσεων του πρωτοκόλλου SIP.

8.10 SIP vs. H.323

Το SIP έχει σαφή πλεονεκτήματα έναντι του H.323 [68]. Είναι ισχυρότερο, μορφοματικό και με μεγαλύτερες δυνατότητες επεκτασιμότητας, Έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλές, ειδικά στη Βόρεια Αμερική με τους νεοεισερχόμενους στην αγορά VoIP παρόχους. Έχει επιλεχτεί πρόσφατα από το 3GPP και το 3GPP2 ως βάση για το βασισμένο σε IP υποσύστημα πολυμέσων τους. Επιπλέον, δεδομένου ότι το SIP είναι αρκετά απλό, μπορεί να επεκταθεί και να αναπτυχθεί ευκολότερα από την πλευρά του χρόνου προς στην αγορά. Εντούτοις, το H.323 έχει το πλεονέκτημα ότι ήταν το πρώτο πρωτόκολλο VoIP που εφαρμόστηκε στο δίκτυο, γεγονός που οδήγησε στην πιο εκτεταμένη εξάπλωση του. Δεν μπορεί κανείς με σαφήνεια να γνωμοδοτήσει υπέρ της επικράτησης της μιας ή της άλλης τεχνολογίας. Αντ' αυτού, είναι σαφές ότι θα υπάρξει ανάγκη για τη διαλειτουργικότητα μεταξύ του SIP και του H.323 σε επίπεδο σηματοδοσίας, για τη διασύνδεση μεταξύ των διαφορετικών δικτύων VoIP και των PSTN/ISDN δικτύων. Συνοπτικά:

- Το H.323 παρουσιάζει μια παραδοσιακή δόμηση που προσομοιάζει τον τρόπο λειτουργίας των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος. Συνδέει ουσιαστικά αυτά με τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Έτσι η σηματοδοσία στηρίζεται στο Q.931 του ISDN και σε παλαιότερες συστάσεις της σειράς H της ITU-T. Από την άλλη, το SIP εμφανίζεται σαν ένα σαφώς πιο ελαφρύ πρωτόκολλο με μια Διαδικτυακή προσέγγιση και φυσικά βασίζεται στο HTTP.
- Όσον αφορά στην πολυπλοκότητα, μπορούμε να σημειώσουμε ότι το H.323 είναι κάπως πιο πολύπλοκο πρωτόκολλο. Αυτό το καταλαβαίνουμε εύκολα και με απλή σύγκριση των προδιαγραφών τους που για το μεν H.323 περιγράφονται σε 736 σελίδες, ενώ για το SIP σε 128. Ακόμα το H.323 χρησιμοποιεί εκατοντάδες στοιχεία ενώ το SIP χρησιμοποιεί μόνο 37 επικεφαλίδες (32 για προδιαγραφές και 5 για επεκτάσεις ελέγχου κλήσης). Το SIP είναι γενικά πιο εύκολο και στην υλοποίηση. Το H.323 χρησιμοποιεί δυαδική αναπαράσταση για τα μηνύματα του ενώ το SIP χρησιμοποιεί απλό κείμενο,

σχεδόν όμοιο με το HTTP. Σαν αποτέλεσμα αυτού τα μηνύματα του SIP είναι πιο εύκολα στην επεξεργασία τους. Ένας ακόμη λόγος της πολυπλοκότητας του H.323 είναι το ότι χρησιμοποιεί μια πληθώρα πρωτοκόλλων ενώ το SIP χρησιμοποιεί μιαν απλή αίτηση όπου συμπεριλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες.

- Όσον αφορά το θέμα της επεκτασιμότητας, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τόσο το H.323 όσο και το SIP παρέχουν μηχανισμούς που την εξασφαλίζουν. Το SIP, χρησιμοποιώντας όλη την εμπειρία του HTTP και του SMTP μπορεί πολύ εύκολα να δεχτεί επεκτάσεις. Από την άλλη οφείλουμε να παρατηρήσουμε ένα γεγονός που διαπιστώσαμε κατά την ανάπτυξη της εργασίας και είναι το ότι ο Gatekeeper μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα H.323 σύστημα για να διευκολύνει πολύ την επεκτασιμότητα σε διάφορα επίπεδα καθότι λειτουργεί σαν συγκεντρωτικό στοιχείο.
- Το SIP εμφανίζεται αρκετά διαμορφώσιμο. Αυτή η ικανότητα του επιτρέπει λ.χ. να χρησιμοποιεί μηχανισμούς H.245 για περιγραφή δυνατοτήτων όπως είναι χωρίς άλλες αλλαγές. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί εν παραλλήλω με το H.323. Στην περίπτωση αυτή το SIP χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του καλούμενου χρήστη και από κει και πέρα η επικοινωνία συνεχίζεται με τη χρήση του H.323.
- Στον τομέα των υπηρεσιών, το H.323 υπερτερεί προς το πλήθος των παρεχομένων υπηρεσιών. Χρησιμοποιεί την οικογένεια H.45x πρωτοκόλλων που ορίζουν διάφορες υπηρεσίες. Το SIP παρέχει ένα παρόμοιο σύνολο με τις υπηρεσίες αυτές. Το H.323 υποστηρίζει διάφορα σημαντικά στοιχεία ελέγχου συνδιάσκεψης. Το SIP παρέχει καλύτερη κινητικότητα για τον χρήστη λ.χ. μια κλήση για τον χρήστη X θα μπορούσε να απαντηθεί από αυτόν, την γυναίκα του ή μια απλή τηλεφωνική συσκευή. Από την άλλη το H.323 παρέχει και έναν έμμεσο τρόπο για εμπλουτισμό των υπηρεσιών με ορισμό αυτών και παροχή αυτών κεντρικά από τον Gatekeeper αντί να φορτώνουμε H.45x πρωτόκολλα στα τερματικά άκρα και στα Gateway.

Συνοψίζοντας λεμε ότι το SIP είναι λιγότερο πολύπλοκο και πιο ευέλικτο από το H.323. Προσφέρουν και τα δυο πλούσια επεκτασιμότητα και σε παροχή υπηρεσιών υπερτερεί το H.323, όμως και το SIP παρέχει παρόμοιο σύνολο.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις απαραίτητες για μια VoIP κλήση λειτουργίες, το H.323 εμφανίζεται πιο δυνατό σε θέματα ελέγχου συνδιάσκεψης, δέσμευσης πόρων και διαχείρισης. Το SIP είναι πιο ικανό σε θέματα εγκατάστασης κλήσης, βασικού ελέγχου κλήσης (όπου όμως το H.323 βελτιώνεται διαρκώς στις νέες εκδόσεις) και σε προηγμένα χαρακτηριστικά όπως έλεγχος τρίτου μέλους, κλήση με απλό κλικ, μεταφορά HTML και πολλαπλότητα κλήσεων. Σε θέματα όμως ευελιξίας ξεχωρ το SIP.

Παρόλα αυτά το H.323 είναι ένα πολύ σταθερό πρωτόκολλο. Είναι πολύ δοκιμασμένο και στην αγορά υπάρχουν και συνεχίζουν να εξελίσσονται πληθώρα λύσεων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημά του είναι ότι προσφέρει συμπαγή συνεργασία με το PSTN.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται συνοπτικά μια σύγκριση των χαρακτηριστικών SIP και H.323.

	H.323	SIP
Complexity	Complex.	Reduced complexity.
Message set	Binary ASN.1 encoding.	Text format, logically numbered/structured responses.
Message parsing / debugging	Specialised tools.	Simple tools. Reusability of HTTP code.
Methods for implementing services	Umbrella of ITU-T protocols.	Re-use Internet protocols.
Extensibility	Extensible..	More extensible.
Backwards compatibility and features evolution	Supported. Suffers from functionality redundancy.	More flexibility.
3rd party services	Less ability – Complex ASN.1.	Higher ability – text formats and extension headers.
Modularity	Umbrella protocol standard.	Modular design.
Scalability	Installed base designed for reliable transport.	Designed for it.
Wide Area support	Yes. May handle large number of calls.	Better.
Message	Smaller binary messages.	Text formatted, largermessages.
CPU processing	More processing..	Less processing.
QoS	Supported.	Supported.
Services	High TTM.	Low TTM.
Supported services	H.323 more explicitly defined (standardised).	SIP defined in white papers/Internet drafts/RFC.
Exchange capability	Better for media – worse for signalling extensibility.	Worse for media – better for signalling extensibility.
Personal mobility	Location-based services still ongoing.	Designed with mobility.Location-based services still ongoing.
Legacy interoperability	H.246	Draft status H.323.
Security	H.235 added later. Worse for firewall traversal	Designed with security.Better for firewall traversal.

Πίνακας 8-10: Σύγκριση των χαρακτηριστικών SIP & H.323

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΜΕΤΑΔΟΣΗ
ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ
ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ IP.

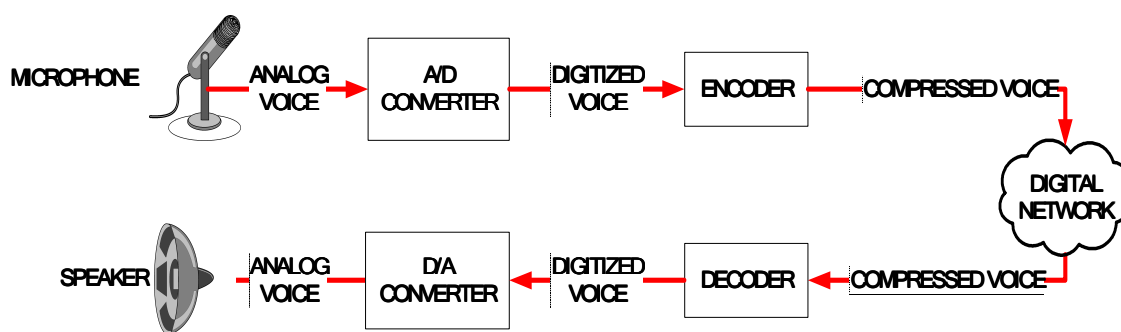
Προβλήματα & Αντιμετώπιση

Καθώς στην VoIP τηλεφωνία χρησιμοποιούνται κυκλώματα μεταγωγής πακέτου και όχι κυκλώματος, μια σειρά από προβλήματα μπορεί να εμφανιστούν. Αυτά οφείλονται κυρίως στις εγγενείς αδυναμίες των IP δικτύων. Τα δίκτυα αυτά είναι σχεδιασμένα να δρομολογούν κίνηση δεδομένων και πολλές φορές δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των real time εφαρμογών φωνής. Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με το οποίο οι τεχνολογίες VoIP (ανεξαρτήτως προδιαγραφής) επιτυγχάνουν τη μετάδοση φωνής πάνω από τα δίκτυα IP, τα προβλήματα που η μετάδοση αυτή παρουσιάζει αλλά και τις τεχνικές για την επίλυση στους.

A.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ IP ΔΙΚΤΥΑ

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μετάδοση της φωνής πάνω από ένα ψηφιακό δίκτυο επικοινωνιών, είναι απαραίτητο η φωνή να επεξεργασθεί από ένα Αναλογικό / Ψηφιακό μετατροπέα (*Analog-to-digital Converter*). Το εύρος συχνοτήτων της φωνής περιορίζεται σε συχνότητες μικρότερες των 4kHz στα αναλογικά τηλεφωνικά δίκτυα. Σύμφωνα με το θεώρημα ομοιόμορφης δειγματοληψίας του Shannon, αν γίνει δειγματοληψία της φωνής με ρυθμό 8 kHz (8000 δειγματα ανά δευτερόλεπτο), τότε μπορεί το αρχικό σήμα να επανασυντεθεί χωρίς απώλεια πληροφορίας που περιέχει το φάσμα των 0~4kHz. Τα υπάρχοντα τηλεφωνικά δίκτυα χρησιμοποιούν την παλμοκωδική διαμόρφωση (*Pulse Code Modulation – PCM*) για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με κβαντοποίηση του πλάτους σε μια από τις 65,356 δυνατές στάθμες καθώς απεικόνιση έχει βάθος 16-bit. Αυτό είναι απαραίτητο, προκειμένου να υπάρχει πιστότητα κατά την αναπαραγωγή της μεταδιδόμενης φωνής.

Στο παρουσιάζονται τα βασικά στάδια επεξεργασίας του σήματος της φωνής προκειμένου αυτό να μεταδοθεί πάνω από ένα δίκτυο μεταφοράς δεδομένων.



Σχήμα 9-1: Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση για μεταφορά μέσω VoIP

9.1 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΦΩΝΗΣ.

Ο ρυθμός μετάδοσης στα ψηφιακά δίκτυα για κάθε κανάλι φωνής είναι 128 kbit/sec (8000 δείγματα x 16 ψηφία/δείγμα). Καθώς η φωνή μεταδίδεται πολλές φορές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, είναι οικονομικά συμφέρον να βρεθεί τρόπος ώστε να περιορισθεί το καταναλισκόμενο εύρος ζώνης. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός είναι απαραίτητη η κωδικοποίηση της φωνής. Ο Κωδικοποιητής (codec) αποτελείται από δυο μέρη: τον κωδικοποιητή (coder) και τον αποκωδικοποιητή (decoder). Σκοπός είναι η συμπίεση της πληροφορίας της μεταδιδόμενης φωνής, προκειμένου να υπάρχει η επιθυμητή μείωση του εύρους ζώνης.

Το δίκτυο IP χαρακτηρίζεται από **ασύγχρονη και μη αξιόπιστη** συμπεριφορά, την στιγμή που το δημόσιο δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος PSTN παρέχει **συγχρονισμένη και αξιόπιστη** συμπεριφορά. Λόγω της ετερογενούς φύσης των δικτύων αυτών, υπάρχει ανάγκη διαφορετικού χειρισμού της κίνησης που σχετίζεται με υπηρεσίες φωνής. Οι κλασικές τηλεφωνικές συνδέσεις λειτουργούν παραδοσιακά στην ταχύτητα των 64Kbps (PCM – G.711). Στο δίκτυο IP όμως δεν εξασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσίας σε επίπεδο μεταφοράς δεδομένων και ειδικά στις παραμέτρους που αφορούν την κίνηση πραγματικού χρόνου. Η μεταβαλλόμενη διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης οδηγεί στην χρήση τεχνικών συμπίεσης που χρησιμοποιούν σαφώς χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (από 5.3Kbps (G.723.1) μέχρι 8Kbps (G.729)). Είναι προφανές ότι, ο χαμηλότερος ρυθμός μετάδοσης προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος και μεγαλύτερες πιθανόν καθυστερήσεις κατά τη μετάδοση.

Στον Πίνακα 9- παρατίθενται οι καθυστερήσεις που εισάγουν οι αλγόριθμοι κωδικοποίησης καθώς και ένα μέτρο της ποιότητάς της παραγόμενης φωνής (*Mean Opinion Score – MOS*). Το MOS συνίσταται από μια υποκειμενική ανάλυση διαφόρων στοιχείων όπως η ευκρίνεια του ήχου, η καθυστέρηση, η ηχώ, ο θόρυβος, ο ψαλιδισμός της φωνής (*clipping*) και η επίδραση της απώλειας πακέτων.

Από τον πίνακα αυτό παρατηρούμε εύκολα ότι, ένας *codec* βασιζόμενος στο πρωτόκολλο G.723.1 έχει σαν αποτέλεσμα ποιότητα ήχου χαμηλότερη από αυτήν της τυπικής τηλεφωνίας (G.711). Η εισαγόμενη καθυστέρηση προκύπτει τόσο από τον μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας των σημάτων της φωνής, όσο και από τον χρόνο δημιουργίας των πακέτων. Η καθυστέρηση επεξεργασίας προκαλείται από την εκτέλεση του αλγορίθμου κωδικοποίησης σε ένα μη-συμπιεσμένο δείγμα φωνής και από την δημιουργία των δεδομένων που πρέπει να σταλούν στο πεδίο πληροφορίας των πακέτων. Η καθυστέρηση κατά την δημιουργία των πακέτων αντιπροσωπεύει τον χρόνο που χρειάζεται για την

δημιουργία ενός πακέτου με συμπιεσμένα δεδομένα φωνής ενός συγκεκριμένου μεγέθους. Συνεπώς, με την μείωση του ρυθμού μετάδοσης μπορούμε να επιτύχουμε την εξυπηρέτηση περισσότερων συνδέσεων φωνής σε ένα δεδομένο κανάλι αυξάνοντας, βέβαια, την παραμόρφωση του σήματος και την καθυστέρηση.

Αλγόριθμος Κωδικοποίησης	Ρυθμός Μετάδοσης (Kbps)	Ποιότητα φωνής (MOS)	Καθυστέρηση (ms)	Πολυπλοκότητα (MIPS)
G.711 PCM	64.0	4.3	5	~0
G.721 ADPCM	32.0	4.1	8	6.5
G.726 Multirate ADPCM	16, 24, 32, 40	2.0, 3.2, 4.0, 4.2	8	6.5
G.723 MP-MLQ ACELP	5.3, 6.3	3.6	37.5	25
G.728 LD-CELP	16.0	4.1	22	37.5
G.729 CS-ACELP	8.0	4.1	25	34
G.729a CS-ACELP	8.0	3.4	25	17
GSM RPE-LPC	13.0	3.9	30	4

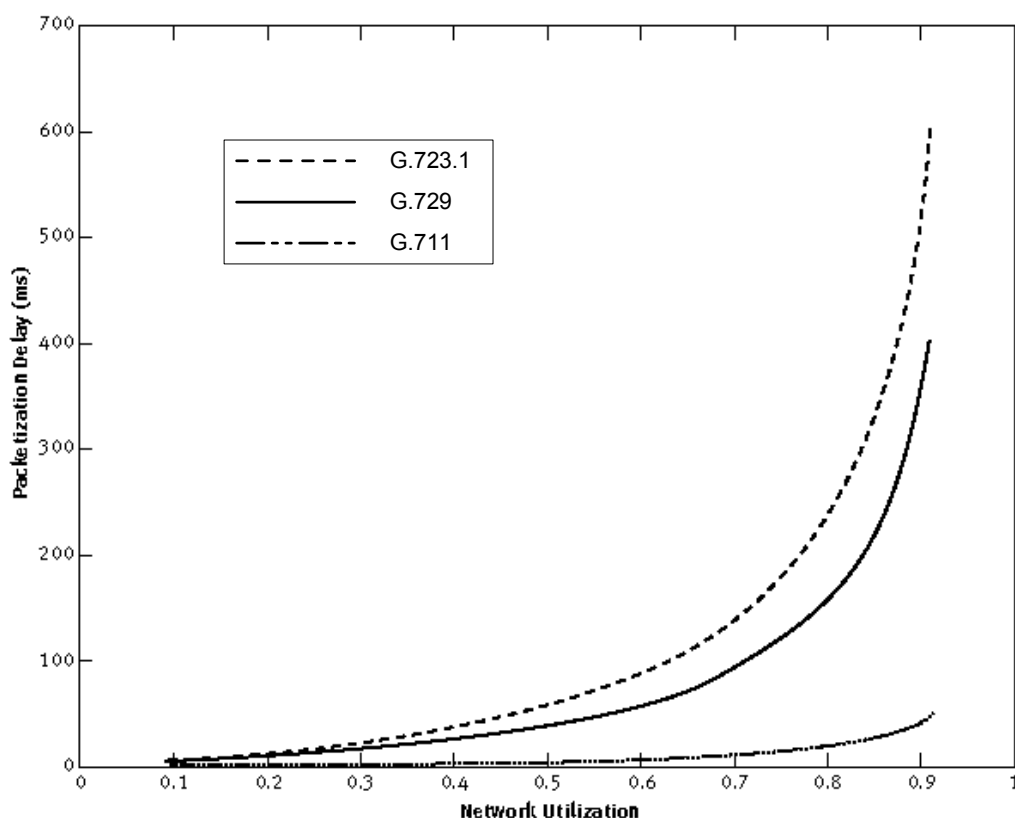
Πίνακας 9-1: Κωδικοποίηση φωνής και απόδοση

9.2 ΠΑΚΕΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η στοιβία πρωτοκόλλων *RTP/UDP/IP* χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, πάνω από δικτυα δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή και όταν δεν χρησιμοποιείται κάποια τεχνική συμπίεσης των επικεφαλίδων των διαφόρων επιπέδων, χρησιμοποιούνται 40 *bytes* για τις επικεφαλίδες των μεταδιδόμενων πακέτων. Υπάρχει συνεπώς μία ανταλλαγή μεταξύ της καθυστέρησης δημιουργίας ενός πακέτου και της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης για μεταφορά ωφέλιμης πληροφορίας (*payload-to-header ratio*). Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση *G.723.1* χρειάζονται 60 *msec* για την συλλογή 40 *bytes* πληροφορίας φωνής, που αντιστοιχεί σε 50% χρησιμοποίηση του καναλιού.

Στο Σχήμα 9- απεικονίζεται η καθυστέρηση της δημιουργίας πακέτων σε συνάρτηση με την χρησιμοποίηση του δικτύου. Η καθυστέρηση αυτή μπορεί να μειωθεί με χρήση τεχνικής που επιτρέπει την πολυπλεξία πολλών συνδέσεων στο ίδιο πακέτο [69]. Τα οφέλη από την διαδικασία αυτή όμως, είναι περισσότερα. Αυξάνεται η χρησιμοποίηση του δικτύου αφού ο λόγος μεγέθους πληροφορίας προς μέγεθος επικεφαλίδων είναι μεγαλύτερος. Ακόμη, μειώνεται ο ρυθμός των διακοπών (*interrupts*) στον επεξεργαστή του *Gateway*. Οποιαδήποτε

στιγμή φτάσει ένα πακέτο στον *Gateway*, το λειτουργικό σύστημα του επεξεργαστή εκτελεί ένα *context switch* στην ρουτίνα εξυπηρέτησης του interrupt για την επεξεργασία του. Χωρίς πολυπλεξία, η συχνότητα αυτών των διακοπών αυξάνει γραμμικά με τον αριθμό των χρηστών. Με χρήση πολυπλεξίας όμως, ο ρυθμός μετάδοσης των πακέτων δεν αυξάνει με την προσθήκη νέων χρηστών με αποτέλεσμα ο ρυθμός των διακοπών να παραμένει σταθερός. Συνεπώς, αυξάνεται η δυνατότητα επεκτασιμότητας του συστήματος.



Σχήμα 9-2 Καθυστέρηση δημιουργίας πακέτων συναρτήσει της χρησιμοποίησης του δικτύου

9.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΦΩΝΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΔΙΚΤΥΑ IP

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα βασικότερα σημεία που πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα και που αποτελούν τις αιτίες για τα πιο σημαντικά προβλήματα που εμφανίζονται στις επικοινωνίες VoIP.

Η τεχνολογία των δικτύων IP έχει αναπτυχθεί για την μεταφορά δεδομένων από και προς διάφορα τερματικά σημεία. Τα τερματικά σημεία συνδέονται με πολλαπλές διαδρομές και η δρομολόγηση των δεδομένων σε πακέτα από άκρο σε άκρο εξαρτάται από την κατάσταση του δικτύου την συγκεκριμένη στιγμή. Βασική προτεραιότητα του δικτύου IP

είναι **να υπάρχει πάντα διασυνδεσιμότητα** μεταξύ των τερματικών σημείων **χωρίς** όμως να εξασφαλίζονται οι παράμετροι της σύνδεσης αυτής.

Για τον λόγο αυτό η σχεδίαση ολοκληρωμένων υπηρεσιών πάνω από δίκτυα IP δημιουργεί πολλές προκλήσεις στον μηχανικό σχεδιαστή λόγω των μεταβαλλόμενων συνθηκών που επικρατούν σε αυτά τα δίκτυα. Αντίθετα, οι συνθήκες διασύνδεσης στα δίκτυα TDM όπως είναι και δίκτυο PSTN είναι αυστηρά καθορισμένες αφού αυτά έχουν σχεδιαστεί για να προσφέρουν βελτιστοποιημένες υπηρεσίες για ευαίσθητες-στο-χρόνο εφαρμογές φωνής που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλή διαταραχή χρονισμού (jitter) και σταθερό εύρος ζώνης. Τα δίκτυα IP από την άλλη έχουν κατασκευαστεί για να υποστηρίξουν εφαρμογές δεδομένων μη-πραγματικού-χρόνου όπως η μεταφορά αρχείων (FTP) και ηλεκτρονικής αλληλογραφίας (e-mail). Αυτές οι εφαρμογές χαρακτηρίζονται από εκρηκτικής μορφής κίνηση (burst) , με περιστασιακές αιχμές στην ζήτηση για υψηλό εύρος ζώνης που όμως δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στην καθυστέρηση. Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στα δίκτυα IP παραμένει ένα αντικείμενο έρευνας που επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των πακέτων που χάνονται λόγω σφαλμάτων στις συνδέσεις ή προβλημάτων στην διαχείριση της κίνησης. Παρ' όλες τις δυσκολίες, η ποιότητα υπηρεσιών μπορεί εύκολα να ελεγχθεί σε ιδιωτικά IP δίκτυα, όπως τα εταιρικά. Τα τελευταία χρόνια πάντως το διαδίκτυο έχει αποτελέσει αφορμή για προσπάθειες παροχής ολοκληρωμένων υπηρεσιών και συγκεκριμένα μεταφοράς φωνητικών κλήσεων, παρ'όλο που δεν εγγυάται την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρει. Οι προσπάθειες αυτές έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμες και έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών τεχνολογιών που τελικά επέτρεψαν σε τηλεπικοινωνιακές εταιρίες να κατασκευάσουν τηλεφωνικά δίκτυα που βασίζονται στην τεχνολογία IP για να παρέχουν φωνητικές υπηρεσίες. Σύμφωνα με τις ενδείξεις οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες θα παρέχουν αρχικά υπηρεσίες φωνής πάνω από IP, με σκοπό να παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες πολυμέσων όταν η τεχνολογία ωριμάσει και γίνει ευρέως αποδεκτή από τους καταναλωτές.

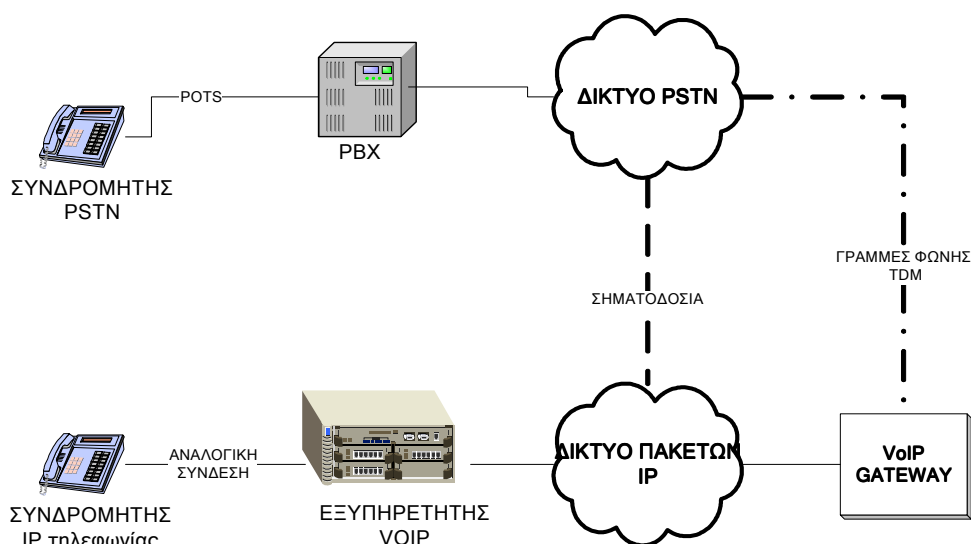
Η επιθυμία να συνδυαστούν τα δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων πάνω από ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων ικανό να μεταφέρει ολοκληρωμένες υπηρεσίες απαιτεί από το νέο δημόσιο δίκτυο να υλοποιεί μηχανισμούς που εξασφαλίζουν επαρκή και προβλέψιμη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για όλες τις εφαρμογές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν αναλογιστούμε ότι οι χρήστες του PSTN έχουν συνηθίσει να λαμβάνουν ένα υψηλό επίπεδο φωνητικών υπηρεσιών. Έτσι οι υπηρεσίες VOIP θα έχουν επιτυχία μόνο εάν παρέχουν συγκρίσιμη ποιότητα με αυτή του δικτύου PSTN.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα φωνής και υπηρεσιών στα δίκτυα PSTN και VoIP.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ σχετικοί με την ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ σχετικοί με την ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΦΩΝΗΣ	
	Κοινοί σε PSTN και VoIP δίκτυα	Μόνο σε VoIP δίκτυα
ΔΙΚΤΥΑ PSTN και VoIP	Κοινοί σε PSTN και VoIP δίκτυα	Μόνο σε VoIP δίκτυα
<p>Τηλεφωνικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας- για παράδειγμα τηλεκάρτες, αριθμοί χωρίς χρέωση, προώθηση κλήσεων, φωνητικό ταχυδρομείο.</p> <p>Διαθεσιμότητα – Χρόνος εκτός λειτουργίας, πιθανότητα εμφάνισης κατειλημμένου σήματος.</p> <p>Αξιοπιστία – Απορριφθέντες κλήσεις, λανθασμένες κλήσεις.</p> <p>Καθυστέρηση σύνδεσης.</p> <p>Κόστος.</p>	<p>Ένταση ήχου</p> <p>Καθυστέρηση</p> <p>Ηχώ</p> <p>Ευκρίνεια:</p> <p>Κατανόηση του ήχου</p> <p>Θόρυβος</p> <p>Παρεμβολή</p>	<p>Καθυστέρηση</p> <p>Διαταραχή συγχρονισμού (jitter)</p> <p>Ευκρίνεια:</p> <p>Απώλεια πακέτων</p> <p>Διαθεσιμότητα εύρους ζώνης</p> <p>Συμπίεση</p>

Πίνακας 9-2: Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να μετρηθούν σε μια τυπική συνδεσμολογία μεταξύ ενός συνδρομητή του δικτύου PSTN και ενός συνδρομητή IP τηλεφωνίας όπως αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9-3 - Συνδεσμολογία μεταξύ συνδρομητών PSTN και IP

Παρακάτω θα επικεντρωθούμε στους βασικούς λόγους και τις κρίσιμες παραμέτρους που επηρεάζουν την ποιότητα φωνής. Με τον όρο ποιότητα φωνής εννοούμε *την πιστότητα του αναπαραγόμενου λόγου και την ευκολία κατανόησης σε μια συνομιλία*. Ακολουθεί η ανάλυση των παραγόντων που παρουσιάζει ο Πίνακας 9-2.

9.3.1 ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ

Η ευκρίνεια είναι στενά συνδεδεμένη με την ευκολία κατανόησης μίας συνομιλίας, η οποία αποτελεί αντικειμενική μέτρηση του όγκου της πληροφορίας που μπορεί να εξαχθεί από ένα τηλεφώνημα. Η ευκρίνεια της ομιλίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που δεν είναι όλοι ευδιάκριτοι. Για παράδειγμα, συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος είναι πιο σημαντικές για την ικανότητα κατανόησης της ομιλίας από άλλες. Έτσι η ζώνη των 250-800 Hz είναι λιγότερο σημαντική από αυτή των 1000-1200 Hz. Παρακάτω παρατίθενται οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευκρίνεια της φωνής:

Οι τυπικές τηλεφωνικές συσκευές στα δύο άκρα του κυκλώματος μίας κλήσης επηρεάζουν την ευκρίνεια της φωνής μέσω της ποιότητας του μεγαφώνου και του μικροφώνου τους αλλά ενδεχομένως και από ακουστική ηχώ που δημιουργείται από αυτά, στην περίπτωση που αυτή δεν καταστέλλεται. Αν και η συγκεκριμένη παράμετρος δεν σχετίζεται με το είδος του δικτύου που χρησιμοποιείται για μεταφορά της φωνής, η επιβάρυνση που δημιουργείται προστίθεται σε αυτή που δημιουργούν οι υπόλοιποι παράγοντες. Το συγκεκριμένο θέμα έχει ιδιαίτερη σημασία στις κινητές τηλεπικοινωνίες όπου περιορισμοί μεγέθους επιβάλλουν την χρήση χαμηλότερης ποιότητας μικροφώνων και ακουστικών.

Το δίκτυο PSTN χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση φωνής μεταξύ των κόμβων διαμεταγωγής. Η ψηφιοποίηση έχει μικρή επίδραση στην ευκρίνεια με ελάχιστη αύξηση στο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) και δεν έχει σημαντική επίδραση στην επιδείνωση της ποιότητας.

Το VoIP Gateway στο Σχήμα 9-3 συνδέεται στο δίκτυο PSTN και μετατρέπει τα ψηφιακά δείγματα φωνής στις γραμμές TDM σε πακέτα της ίδιας ή διαφορετικής κωδικοποίησης. Εάν έχουμε μετατροπή της κωδικοποίησης από μορφή PCM (G.711) σε άλλη συμπιεσμένη μορφή, τότε είναι πιθανή η μείωση της ευκρίνειας της φωνής. Τα υποσυστήματα του gateway που επηρεάζουν την ευκρίνεια είναι ο κωδικοποιητής-αποκωδικοποιητής της φωνής, ο μηχανισμός ανίχνευσης/καταπίεσης σιωπής, ο μηχανισμός αναπαραγωγής του θορύβου περιβάλλοντος και το είδος της μετατροπής της κωδικοποίησης που απαιτεί μια κλήση.

Επιπλέον το δίκτυο μεταγωγής πακέτου (IP network) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα της φωνής εάν δεν παρέχεται εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Η έλλειψη QoS μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στην μεταφορά των πακέτων, όπως η απώλεια πακέτων και η διαταραχή του χρονισμού παράδοσης (jitter). Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να επιδεινώσουν σημαντικά την ευκρίνεια της φωνής σε δίκτυα VoIP. Αντίθετα το δίκτυο PSTN, παρότι δεν πετυχαίνει υψηλή εκμετάλλευση των πόρων του, σπάνια παρουσιάζει απώλεια δεδομένων ή διαταραχή του συγχρονισμού άφιξης αυτών.

9.3.2 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ/ ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΦΩΝΗΣ (CODECS)

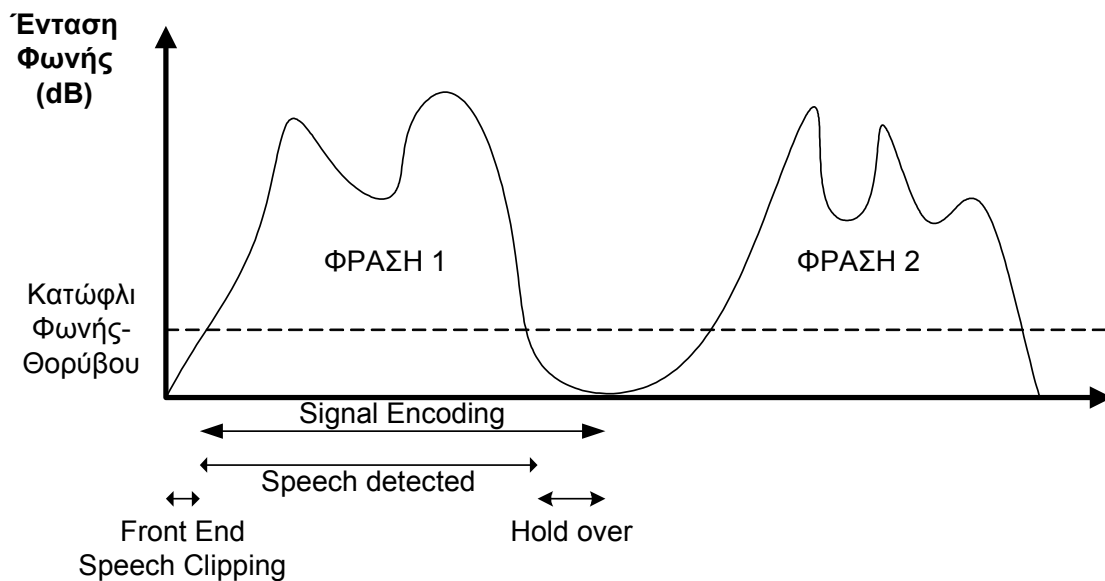
Ο κωδικοποιητής φωνής μετατρέπει την φωνή από αναλογική μορφή σε ψηφιακή ροή bits και αντιστρόφως. Επιπλέον, κάποιοι κωδικοποιητές χρησιμοποιούν τεχνικές συμπίεσης φωνής που αφαιρούν πλεονάζουσα πληροφορία για να περιορίσουν το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση. Η συμπίεση είναι μια διαδικασία που πρέπει να σταθμίσει την ποιότητα της φωνής σε σχέση με την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ, την καθυστέρηση και το απαραίτητο εύρος ζώνης. Όσο μεγαλύτερη οικονομία εύρους ζώνης απαιτείται τόσο υψηλότερη υπολογιστική ισχύς χρειάζεται για δεδομένη ποιότητα φωνής. Επιπλέον, ο περιορισμός του εύρους ζώνης οδηγεί σε μεγαλύτερη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. Κατά συνέπεια η επιλογή του codec αποτελεί ένα συμβιβασμό μεταξύ ποιότητας φωνής και απαιτούμενου εύρους ζώνης.

Ειδικά οι χαμηλού ρυθμού κωδικοποιητές φωνής όπως ο G.729 και ο G.723.1 προσπαθούν να αναπαράγουν ικανοποιητικά τον ήχο όπως θα γινόταν υποκειμενικά αντιληπτός και όχι ακριβώς την κυματομορφή του. Αυτό σημαίνει ότι η απώλεια ή η υπερβολική καθυστέρηση στα πακέτα φωνής έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην ποιότητα του ήχου σε αυτές τις κωδικοποιήσεις σε σχέση με μεγαλύτερου ρυθμού κωδικοποιητές όπως ο G.711.

9.3.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΟΛΗ ΣΙΩΠΗΣ

Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη οικονομία στο χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης ανά κανάλι φωνής, οι τερματικές συσκευές VoIP διαθέτουν ένα υποσύστημα που ανιχνεύει την ύπαρξη φωνής στο κανάλι (Voice Activity Detector VAD). Όταν ο καλών μιλάει το VAD επιτρέπει στα πακέτα φωνής να μεταφέρονται στο άλλο άκρο. Όταν δεν έχουμε ομιλία δεν μεταφέρονται πακέτα. Επειδή η ανθρώπινη συνομιλία απαιτεί συνήθως ένα κανάλι προς μία κατεύθυνση κάθε φορά (half-duplex), η ανίχνευση και η καταστολή σιωπής οδηγεί σε

οικονομία εύρους ζώνης της τάξης του 40-50% για ένα σύνολο καναλιών. Η συμπεριφορά ενός VAD φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9-4 Η συμπεριφορά του VAD

Η εφαρμογή της ανίχνευσης και της καταστολής σιωπής δεν επηρεάζει άμεσα την ευκρίνεια αλλά όταν δεν λειτουργεί σωστά μπορεί να μειώσει σημαντικά την ποιότητα μιας συνομιλίας. Για παράδειγμα εκτεταμένη αποκοπή στην αρχή μιας πρότασης (front-end speech Clipping) μπορεί να την κάνει δυσνόητη, ενώ μεγάλη υστέρηση διακοπής (hold-over) θα οδηγήσει σε σπατάλη εύρους ζώνης. Η μικρή υστέρηση διακοπής από την άλλη θα δώσει την αίσθηση ότι υπάρχουν διακοπές επικοινωνίας μεταξύ των φράσεων.

9.3.4 ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η αναπαραγωγή του θορύβου περιβάλλοντος (Comfort noise generation CNG) είναι συμπληρωματική λειτουργία με την παραπάνω (VAD). Σκοπός της είναι, σε περιόδους σιωπής όπου δεν έχουμε μετάδοση πακέτων λόγω της λειτουργίας του VAD, να επιλέξει τι θα αναπαράγει ο δέκτης. Εάν το κανάλι παραμένει σιωπηλό σε αυτές τις περιόδους, ο ακροατής έχει την δυσάρεστη αίσθηση ότι η επικοινωνία έχει διακοπεί. Η λειτουργία CNG εξομοιώνει τον θόρυβο του περιβάλλοντος του πομπού στον δέκτη κατά τις περιόδους σιωπής. Ο θόρυβος αναπαράγεται με βάση παραμέτρους που έχουν μετρηθεί από τον πομπό. Το πόσο ταιριάζει η εξομοίωση του θορύβου με τον πραγματικό θόρυβο περιβάλλοντος του πομπού ορίζει την ποιότητα της λειτουργίας CNG και κατ'επέκταση την ποιότητα της συνομιλίας.

9.3.5 ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΑΚΕΤΩΝ

Η απώλεια πακέτων είναι συνηθισμένη σε IP δίκτυα δεδομένων. Έτσι προκύπτουν ερωτηματικά για την επίδραση αυτού του φαινομένου στην μετάδοση της φωνής πάνω από δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Όταν η διαδρομή μιας ροής πακέτων που μεταφέρει πληροφορία φωνής αντιμετωπίζει συμφόρηση, τότε οι δρομολογητές μπορεί να αρχίσουν να απορρίπτουν πακέτα. Ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την επιλογή των πακέτων που θα απορριφθούν, κάποιες κλήσεις θα επηρεαστούν περισσότερο από κάποιες άλλες. Ειδικά σε περιπτώσεις που έχουν πολυπλεξία και συνάθροιση διαφορετικών τύπων υπηρεσιών, η απώλεια πακέτων μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα σε σχέση με αυτή που τυπικά προσφέρει το δίκτυο PSTN.

Η απώλεια πακέτων δεν σημαίνει απαραίτητα ότι τα πακέτα δεν φτάνουν ποτέ στον προορισμό τους. Για την φωνητική τηλεφωνία όμως, ένα πακέτο που φτάνει πολύ αργά για να είναι χρήσιμο είναι το ίδιο με ένα πακέτο που έχει χαθεί αφού τελικά θα απορριφθεί από τον δέκτη. Το αποτέλεσμα των καθυστερημένων πακέτων για την ποιότητα της φωνής είναι το ίδιο με την απώλεια πακέτων.

Το δίκτυο PSTN δεν αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα. Και αυτό γιατί τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω των γραμμών αφού έχει δεσμευτεί το εύρος ζώνης και διατηρείται για όλη την διάρκεια μίας κλήσης.

Σε εφαρμογές μη-πραγματικού χρόνου όπως οι μεταφορά αρχείων, η απώλεια πακέτων είναι ανεπιθύμητη μεν αλλά όχι και τόσο κρίσιμη αφού τα πρωτόκολλα υποστηρίζουν την επαναμετάδοση προκειμένου να ανακτηθούν τμήματα που έχουν χαθεί. Στην περίπτωση όμως της μετάδοσης δεδομένων πραγματικού χρόνου (όπως η φωνή), η πληροφορία πρέπει να φτάσει εντός ενός συγκεκριμένου «παράθυρου» χρόνου για να είναι χρήσιμη στην αναπαραγωγή του σήματος φωνής. Η επαναμετάδοση θα προσέθετε υπερβολική καθυστέρηση στην αναπαραγωγή οπότε δεν είναι πρακτική. Οι εφαρμογές σε πραγματικού χρόνου είναι βασισμένες στο UDP, το οποίο δεν παρέχει δυνατότητα αναμετάδοσης. Είναι σημαντικό τόσο τα πακέτα φωνής αλλά και τα πακέτα σηματοδοσίας να μην απορριφθούν, διαφορετικά, η ποιότητα φωνής μπορεί να επηρεαστεί.

Για να αποφευχθεί η απώλεια πακέτων, είναι απαραίτητοι μηχανισμοί διαχείρισης κίνησης στο IP δίκτυο. Αλγόριθμοι ελέγχου ροών και καθορισμού προτεραιοτήτων στην κίνηση μπορούν να εξασφαλίσουν την ακεραιότητα της μεταφοράς της σηματοδοσίας και του περιεχομένου πολυμέσων. Οι σύγχρονοι δρομολογητές μπορεί να είναι σχεδιασμένοι ώστε να υλοποιούν κάποια από τις πολλές μεθόδους που εξασφαλίζουν τέτοια λειτουργία όπως το πρωτόκολλο RSVP. Επίσης, οι μηχανισμοί κατηγοριοποίησης των υπηρεσιών

(Class of Service - CoS) μπορεί να προσφέρουν προτεραιότητα παράδοσης των πακέτων. Με τη διαμόρφωση των παραμέτρων CoS, οι δρομολογητές μπορούν να δώσουν στα πακέτα μεγαλύτερης σπουδαιότητας (όπως της φωνής) πιο υψηλή προτεραιότητα, εξασφαλίζοντας κατά συνέπεια παράδοση πακέτων για τις κρίσιμες εφαρμογές, ακόμη και κατά τη διάρκεια της συμφόρησης δικτύων. Άλλες μέθοδοι είναι η χρήση διαμεταγωγής με βάση «ετικέτες» από πολλαπλά πρωτόκολλα (MPLS), και η κατηγοριοποίηση της κίνησης με βάση διαφοροποιημένες υπηρεσίες IP (IP DiffServ).

Όμως η εφαρμογή των μεθόδων αυτών επιβάλλει περιορισμούς στην ικανότητα μετάδοσης δεδομένων από τα IP δίκτυα, για παράδειγμα την δέσμευση πόρων καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου, για μελλοντική χρήση από εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Επιπλέον η μέθοδος που χρησιμοποιείται πρέπει να εφαρμόζεται σε όλη την διαδρομή των δεδομένων φωνής στο IP δίκτυο (από άκρο σε άκρο) κάτι που είναι εφικτό όταν μια κλίση δρομολογείται μέσω ενός ιδιωτικού δικτύου το οποίο έχει ενιαία διαχείριση. Σε πολλές περιπτώσεις όμως μια τηλεφωνική κλίση πρέπει να διασχίσει διαφορετικά δίκτυα IP που είναι διασυνδεδεμένα και τα οποία δεν εφαρμόζουν τις ίδιες μεθόδους διαχείρισης εύρους ζώνης. Κατά συνέπεια η ποιότητα της υπηρεσίας δεν μπορεί εύκολα να εξασφαλιστεί από άκρο σε άκρο.

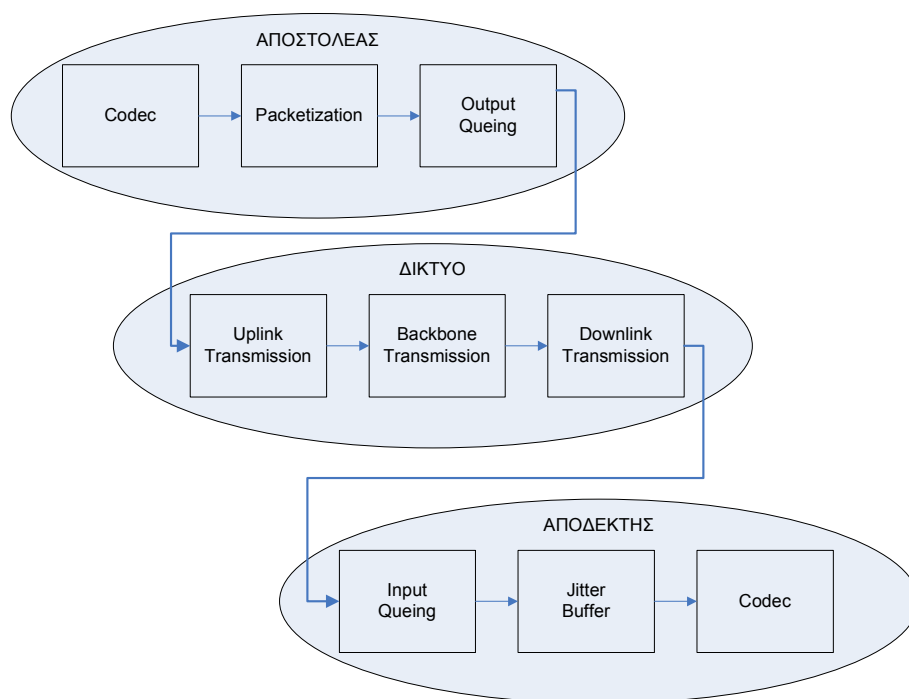
Αν και η απώλεια πακέτων οποιουδήποτε είδους είναι ανεπιθύμητη, κάποια απώλεια μπορεί να γίνει αποδεκτή. Κάποιο ποσό απώλειας πακέτων για τις υπηρεσίες φωνής θα μπορούσε να είναι πιο εύκολα αποδεκτό, εφ' όσον είναι εξαπλωμένο σε ένα μεγάλο αριθμό χρηστών. Εφ' όσον το ποσό απώλειας πακέτων είναι λιγότερο από 5% για το συνολικό αριθμό κλήσεων, η ποιότητα γενικά δεν επηρεάζεται αρνητικά. Διάφοροι μηχανισμοί διόρθωσης λαθών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να αυξηθεί η ανοχή στην απώλεια πακέτων χωρίς ιδιαίτερη μείωση της ποιότητας υπηρεσίας. Για παράδειγμα, μπορεί μαζί με το τρέχον δείγμα να αποστέλλεται και το επόμενο ώστε να μειώνεται η πιθανότητα να μην λάβει ο δέκτης την πληροφορία που χρειάζεται για να αναπαράγει το σήμα. Παρόλα αυτά, ο σχεδιασμός ενός δικτύου IP πρέπει να γίνεται με στόχο να εξασφαλίζονται χαμηλές απώλειες πακέτων σε περίπτωση συμφόρησης, τουλάχιστον σε βαθμό που δεν επιδεινώνουν σημαντικά την ποιότητα της φωνής.

9.3.6 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΑΠΟ ΑΚΡΟ ΣΕ ΑΚΡΟ

Η καθυστέρηση είναι ο χρόνος που απαιτείται για ένα σήμα να μεταφερθεί μέσω του δικτύου. Όταν αναφερόμαστε σε τηλεφωνία, η καθυστέρηση ορίζεται σαν τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσει ο λόγος από τον ομιλητή στον ακροατή. Αποτελεί δε το άθροισμα

των καθυστερήσεων που επιβάλλουν όλα τα υποσυστήματα που εμπλέκονται για την μετάδοση της φωνής μέσω του δικτύου (βλ. Σχήμα 9-5). Η επίδραση της καθυστέρησης στην μετάδοση της φωνής αναλύεται στην σύσταση G.114 [70] της ITU-T. Οι μεγάλες τιμές καθυστέρησης δεν υποβιβάζουν απαραίτητως την ποιότητα φωνής ενός τηλεφωνήματος, μπορεί όμως να έχουν σαν αποτέλεσμα μια έλλειψη συγχρονισμού μεταξύ των ομιλητών, έτσι ώστε υπάρχουν δισταγμοί ή αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Παρακάτω ακολουθεί μια παρουσίαση των παραγόντων που ως επί το πλείστον επηρεάζουν την καθυστέρηση σε διάφορα είδη δικτύων:



Σχήμα 9-5 : Ακολουθία διαδικασιών που προκαλούν καθυστέρηση

Στο δίκτυο PSTN καθυστέρηση προκύπτει κυρίως κατά την μετάδοση σε συνδέσεις μεγάλης απόστασης. Οι καθυστερήσεις από τον εξοπλισμό διαμεταγωγής του δικτύου αλλά και από τους ψηφιοαναλογικούς μετατροπείς είναι γενικά αμελητέες σε σχέση με την ικανότητα αντίληψης του ακροατή. Σημαντικές καθυστερήσεις προκύπτουν όταν η διαδρομή περιλαμβάνει γεωστατικούς δορυφόρους όπου η διάδοση του σήματος απαιτεί 250ms. Γενικά όμως το δημόσιο δίκτυο PSTN έχει σχεδιαστεί για να παρέχει χαμηλή καθυστέρηση, οπότε θέτει και υψηλά στάνταρτ αναφοράς σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο τρόπο μετάδοσης φωνής.

Σε δίκτυα μεταγωγής πακέτου η καθυστέρηση καθορίζεται κυρίως από τον χρόνο που απαιτείται για αποθήκευση, στις ουρές αναμονής, για διαμεταγωγή και δρομολόγηση από

τους κόμβους του δικτύου. Ο χρόνος αυτός αποτελεί το άθροισμα των παρακάτω παραγόντων:

- **Διαδικασία παραλαβής του πακέτου**, που συνδέεται με τον χρόνο που απαιτείται για να παραληφθεί ένα ολόκληρο πακέτο από τον δρομολογητή πριν αυτό επεξεργαστεί και προωθηθεί στον επόμενο κόμβο. Η καθυστέρηση που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία ορίζεται από το μήκος του πακέτου, τις παραμέτρους λειτουργίας στο επίπεδο σύνδεσης και την ταχύτητα της σύνδεσης. Η χρήση μικρών πακέτων πάνω από γρήγορες συνδέσεις περιορίζει σημαντικά αυτή την καθυστέρηση. Σε δίκτυα VoIP το ζητούμενο είναι η επιλογή μήκους πακέτων που εξασφαλίζει την καλύτερη σχέση αποδοτικότητας του εύρους ζώνης και χαμηλής καθυστέρησης.
- **Διαδικασία μεταγωγής και δρομολόγησης του πακέτου**, που συνδέεται με τον χρόνο που χρειάζεται ένας κόμβος του δικτύου για να προωθήσει ένα πακέτο. Ο χρόνος αυτός χρησιμοποιείται για την ανάλυση της επικεφαλίδας του πακέτου, τον έλεγχο του πίνακα δρομολόγησης και την προώθηση του στην πόρτα εξόδου. Ο χρόνος διαμεταγωγής σχετίζεται με την αρχιτεκτονική και την βελτιστοποιημένη υλοποίηση του πίνακα δρομολόγησης. Τα σύγχρονα συστήματα διαμεταγωγής κίνησης IP μπορούν να επιταχύνουν την διαδικασία δρομολόγησης εκτελώντας την στο υλικό αντί για το λογισμικό. Η τεχνολογία Multi-Protocol Label Switching (MPLS) υπόσχεται την καλύτερη σχέση μεταξύ της ταχύτητας προώθησης και της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας.
- **Υλοποίηση ουρών αναμονής**. Τα δίκτυα IP, λόγω της στατιστικής πολυπλεξίας και της ασύγχρονης άφιξης των πακέτων απαιτούν την χρήση ουρών αναμονής για την διαχείριση της κίνησης. Αυτό συνεπάγεται μια καθυστέρηση που σχετίζεται με το φορτίο κίνησης, το μήκος των πακέτων και την στατιστική κατανομή της κίνησης στις πόρτες ενός κόμβου διαμεταγωγής. Η χρήση ισχυρότερου του απαιτούμενου δρομολογητή και γρηγορότερων συνδέσεων μπορεί να ελαττώσει αλλά όχι να εξαφανίσει αυτή την καθυστέρηση. Επιπλέον η εκτίμηση του μεγέθους των ουρών αναμονής είναι πολύπλοκη λόγω του φαινομένου jitter.
- **Καθυστέρηση Διάδοσης (propagation delay)**. Καθυστέρηση διάδοσης είναι ο χρόνος που απαιτεί ένα ηλεκτρικό σήμα για να διανύσει το μήκος ενός αγωγού. Η ταχύτητα αυτών των σημάτων είναι πάντα πιο αργή από αυτή της ταχύτητας του φωτός. Υπάρχει πάντα καθυστέρηση διάδοσης εντούτοις, γίνεται αξιόλογη μόνο όταν το σήμα ταξιδεύει μεγάλες αποστάσεις. Ο αποδεικτός τύπος για τον υπολογισμό της καθυστέρησης διάδοσης είναι ο ακόλουθος

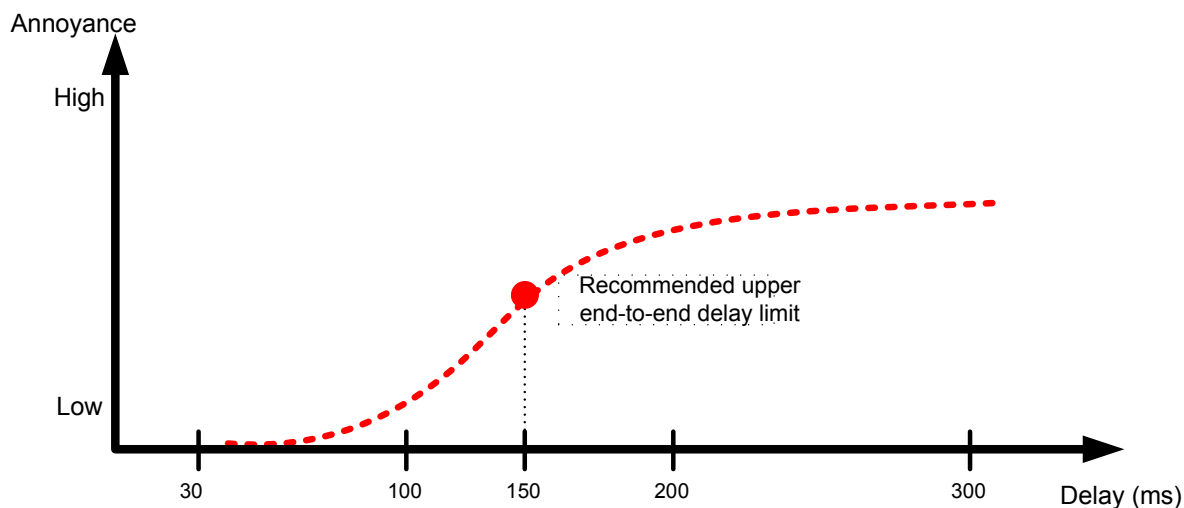
$$\text{Καθυστέρηση Διάδοσης(sec)} = \frac{\text{Απόσταση Διάδοσης(χλμ)}}{299,300 \left(\frac{\text{χλμ}}{\text{sec}}\right) * 0,6}$$

Έτσι η καθυστέρησης διάδοσης μιας ίνας μήκους 6.000 χλμ υπολογίζεται ότι είναι 33.4 ms.

Επιπλέον καθυστέρηση επιβάλλουν τα VoIP gateways και τα VoIP terminals. Οι διαδικασίες που συμβάλλουν σε αυτό είναι:

- **Η επεξεργασία της φωνής στον πομπό και στον δέκτη**, που περιλαμβάνει τον χρόνο που απαιτείται για την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση του σήματος της φωνής από αναλογική ή ψηφιακή μορφή στον τύπο κωδικοποίησης που έχει επιλεγεί για την κλήση. Μερικοί codecs συμπιέζουν το φωνητικό σήμα, κάτι που εισάγει επιπλέον καθυστέρηση λόγω των απαιτούμενων υπολογισμών. Όσο πιο υψηλή συμπίεση απαιτείται, τόσο πιο πολλά δεδομένα φωνής πρέπει να τοποθετηθούν σε buffers και όσο πιο πολύπλοκη η επεξεργασία που χρειάζεται, τόσο μεγαλύτερη η καθυστέρηση.
- **Στην πλευρά του δέκτη**, τα πακέτα της φωνής πρέπει να καθυστερηθούν για να μπορέσει να αντισταθμιστεί η διακύμανση στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων των πακέτων. Τα πακέτα που δημιουργούνται ανά σταθερά χρονικά διαστήματα γενικά φτάνουν στον δέκτη με τυχαία χρονική κατανομή (μεταβαλλόμενα διαστήματα). Το μέτρο της μεταβλητότητας των μεσοδιαστημάτων ονομάζεται Jitter. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στους διαφορετικούς χρόνους αποθήκευσης και αναμονής (buffering-queuing time) που αντιμετωπίζει ένα πακέτο στους κόμβους του δικτύου κατά τη διαδρομή του από το ένα άκρο στο άλλο. Η εξομάλυνση του Jitter είναι απαραίτητη αφού ο codec της φωνής απαιτεί σταθερή ροή δεδομένων χωρίς κενά μεταξύ τους. Η καθυστέρηση που σχετίζεται με αυτό το φαινόμενο μπορεί να ελαττωθεί σχεδιάζοντας ένα δίκτυο με χαμηλή διακύμανση στην καθυστέρηση σε κάθε κόμβο και με τον ελάχιστο αριθμό κόμβων. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό σε ιδιωτικά δίκτυα όχι όμως στην τηλεφωνία μεγάλων αποστάσεων όπου τα πακέτα των κλήσεων πρέπει να διασχίσουν δίκτυα άλλων τηλεπικοινωνιακών φορέων. Η χρήση μηχανισμών που δίνουν προτεραιότητα στην κίνηση της φωνής σε σχέση με την υπόλοιπη κίνηση μπορεί να ελαττώσει σημαντικά το jitter. Τα TDM δίκτυα δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα jitter αφού τα δείγματα της φωνής μεταφέρονται από κόμβους που είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους, ενώ το μήκος των δειγμάτων είναι μικρό (ένα byte).
- **Στην πλευρά του πομπού**, ο χρόνος που απαιτείται για να εισαχθούν τα δεδομένα σε πακέτα (packetization delay) πρέπει να συνυπολογιστεί στις καθυστερήσεις. Η καθυστέρηση αυτή σχετίζεται με το μέγεθος των πακέτων αφού ένα μεγάλο πακέτο

χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να γεμίσει. Η χρήση μικρών πακέτων μπορεί να μειώσει σημαντικά αυτόν τον χρόνο αλλά αυξάνει την σπατάλη εύρους ζώνης αφού περισσότερα πακέτα πρέπει να σταλούν με παρόμοιες πληροφορίες στην επικεφαλίδα. Το ζητούμενο εδώ για τους σχεδιαστές δικτύων είναι η επίτευξη του βέλτιστου συμβιβασμού μεταξύ της ποιότητας της φωνής, της καθυστέρησης εισαγωγής σε πακέτα και της αποδοτικής χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης.



Σχήμα 9-6 Συσχέτιση της καθυστέρησης με την ενόχληση του χρήστη

Η καθυστέρηση της φωνής δεν επηρεάζει την ευκρίνεια της συνομιλίας αλλά τον ρυθμό της, μέχρι του σημείου που μπορεί γίνει αδύνατη οποιαδήποτε επικοινωνία. Εάν έχουμε καθυστέρηση μέχρι 150 ms, οι περισσότεροι χρήστες πιθανότατα δεν θα την αντιληφθούν καν. Όταν η καθυστέρηση κυμαίνεται μεταξύ 150 και 400 ms, οι χρήστες καταλαβαίνουν μια μικρή αργοπορία στην αντίδραση του συνομιλητή. Οι διακοπές είναι πιο συχνές και μπορεί να υπάρχει απώλεια του ρυθμού της συνομιλίας όσο η καθυστέρηση αυξάνει. Πάνω από τα 400 ms, η καθυστέρηση είναι εμφανής στους χρήστες και συχνά οι ομιλητές πρέπει να περιμένουν για να αποφύγουν διακοπές και ταυτόχρονη ομιλία. Καθυστέρηση πάνω από 400ms δεν είναι αποδεκτή από τους συνδρομητές τηλεφωνικών υπηρεσιών, ενώ ο στόχος είναι η καθυστέρηση να παραμένει κάτω από τα 150ms για τηλεφωνία υψηλής ποιότητας.

Οι συστάσεις της προδιαγραφής G.114 της ITU-T συνοψίζονται στο παρακάτω πίνακα:

Καθυστέρηση	Αποτέλεσμα
0 – 150 ms	Ανεκτό για τις περισσότερες χρήσεις.
150 – 400 ms	Ανεκτό με την προϋπόθεση ότι οι παροχείς υπηρεσιών είναι ενήμεροι για την επίπτωσή της στην ποιότητα που απολαμβάνουν οι χρήστες.
400+ ms	Μη αποδεκτό για γενικό σχεδιασμό δικτύων. Αναγνωρίζεται ότι σε εξαιρετικές περιπτώσεις αυτό το όριο μπορεί να ξεπεραστεί.

Πίνακας 9-3 : Προδιαγραφές για την συνολική καθυστέρηση από την ITU-T (G.114).

Συνήθως, σαν άνω όριο για την ανάπτυξη υπηρεσιών φωνής πάνω από δίκτυα IP θέτουμε τα 250-300 ms, ενώ για υψηλού επιπέδου τηλεφωνία στόχος είναι τα 100ms.

9.3.7 Ηχώ

Όσον αφορά στη τηλεφωνία, η ηχώ είναι η φωνή του ομιλητή που επιστρέφει στο αυτί του μέσω του μεγαφώνου του τηλεφώνου. Λέγοντας το με έναν άλλο τρόπο, η ηχώ εμφανίζεται όταν το σήμα φωνής του ομιλητή διαρρέει από το μονοπάτι μετάδοσης πίσω στο μονοπάτι λήψης. Εάν ο χρόνος μεταξύ της αρχικής προφορικής φράσης και της ηχούς επιστροφής είναι μικρός (από 25 έως 30 ms), ή εάν το επίπεδο της ηχούς είναι πολύ χαμηλό (περίπου -25 DB), πιθανώς δεν θα προκληθεί οποιαδήποτε ενόχληση ή διαταραχή στις συνομιλίες φωνής. Σε πολλά δίκτυα PSTN, η ηχώ υπάρχει αλλά εμφανίζεται τόσο κοντά χρονικά στην πηγή ομιλίας που σπάνια δημιουργεί πρόβλημα (εξαιρέση μπορεί να αποτελέσει η ηχώ που ακούγεται σε μια υπερπόντια δορυφορική κλήση). Στην πραγματικότητα, μια ειδική περίπτωση ηχούς με μια καθυστέρηση περίπου 28 ms (συχνά αποκαλούμενη και πλευρικός τόνος) είναι επιθυμητή επειδή καθησυχάζει τον ομιλητή που ακούει τη φωνή του στο ακουστικό ενώ μιλάει. Όταν η ηχώ είναι αρκετά δυνατή για να ακουστεί περνώντας μέσω των δικτύων με αρκετή καθυστέρηση ώστε να είναι αντιληπτή στον ομιλητή (συνήθως 30 ms και άνω) τότε η ποιότητα μιας κλήσης φωνής γίνεται προβληματική.

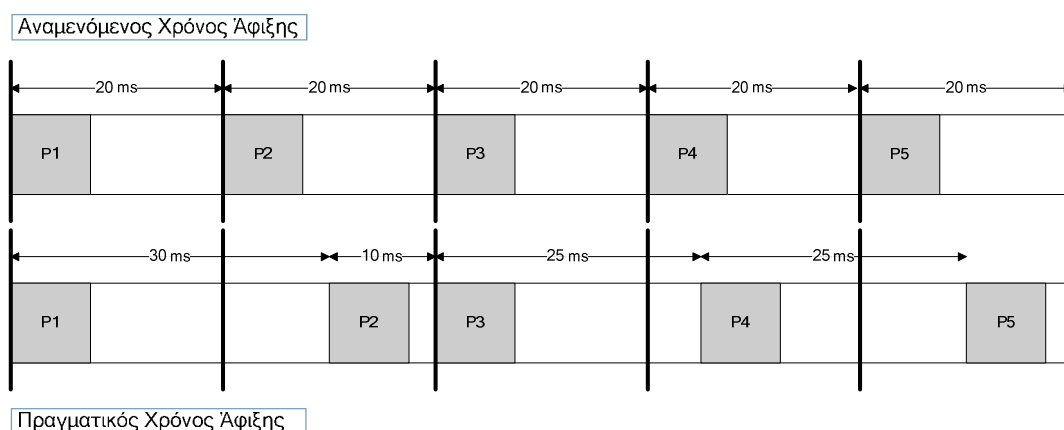
Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η ηχώ προκαλείται από ανεπαρκή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ των αναλογικών συσκευών τηλεφωνίας και των μέσων μεταφοράς στο τμήμα του δικτύου που αποκαλείται τοπικός βρόχος. Στην κλασική τηλεφωνία υπάρχει ένα υβριδικό κύκλωμα που διασυνδέει τον τοπικό βρόχο με τα δύο καλώδια με το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο σε μια γραμμή τεσσάρων καλωδίων. Το υβριδικό αυτό κύκλωμα

διαχωρίζει τους δρόμους εκπομπής και λήψης έτσι ώστε να μεταφερθούν σε διαφορετικά ζεύγη καλωδίων. Επειδή όμως το κύκλωμα αυτό δεν είναι ιδανικό και ο διαχωρισμός των σημάτων δεν είναι τέλειος, έχουμε διαρροή του σήματος εκπομπής στο σήμα λήψης κάτι που προκαλεί την ηχώ. Μια άλλη πηγή ηχούς είναι η ακουστική ηχώ, που είναι αποτέλεσμα της σύζευξης μεταξύ του μικροφώνου και του μεγαφώνου.

Η προδιαγραφή G.131 της ITU-T[71] ορίζει ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται μονάδες καταστολής ηχούς σε συνδέσεις που εμφανίζουν καθυστερήσεις μεγαλύτερες των 25 ms. Από την προηγούμενη σχετική με τις καθυστερήσεις ανάλυση, είναι εμφανές ότι σε ένα δίκτυο VoIP η καθυστέρηση σχεδόν πάντα θα ξεπερνά τα 25ms. Άρα σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη η χρήση καταστολέων ηχούς (echo cancellers).

9.3.8 ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ ΑΦΙΞΗΣ ΤΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (JITTER)

Η χρονική διαταραχή άφιξης του πακέτου (Jitter) είναι το μέτρο του χρόνου μεταξύ της στιγμής όπου αναμένεται ένα πακέτο για να φθάσει στον παραλήπτη, και της στιγμής που φθάνει πραγματικά. Με άλλα λόγια, με ένα σταθερό ποσοστό μετάδοσης πακέτων κάθε 20 ms, κάθε πακέτο θα αναμενόταν να φθάσει στον προορισμό του ακριβώς κάθε 20 ms. Στην πραγματικότητα η κατάσταση είναι διαφορετική. Παραδείγματος χάριν, το Σχήμα 9-7 παρουσιάζει την αναμενόμενη και την πραγματική στιγμή άφιξης των πακέτων της φωνής. Τα πακέτα ένα (P1) και τρία (P3) να λαμβάνονται ακριβώς την αναμενόμενη στιγμή, αλλά τα πακέτα δύο και 5 (P2 & P5) καταφθάνουν 10 ms αργότερα από την αναμενόμενη στιγμή άφιξης και πακέτο τέσσερα (P4) 5 ms πιο αργά. Ο κυριότερος λόγος εμφάνισης της χρονικής αυτής διαταραχής είναι οι δυναμικές αλλαγές που εμφανίζονται στο συνολικό φορτίο του δικτύου.



Σχήμα 9-7. Παράδειγμα Διαταραχής Χρονισμού Μετάδοσης (Jitter).

Μια άλλη αιτία είναι οι το γεγονός ότι κάποια πακέτα μερικές φορές ακολουθούν διαφορετική διαδρομή ίσου-κόστους που δεν έχει το ίδιο μήκος με τις άλλες διαδρομές. Οι Media Gateways διαθέτουν ειδικούς απομονωτές (Buffers) που αποθηκεύουν μια ομάδα πακέτων, έτσι ώστε η αναδημιουργημένη κυματομορφή της φωνής να μην επηρεάζεται από την μη κανονική άφιξη των πακέτων. Οι buffers μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις επιπτώσεις του jitter, αλλά δεν μπορούν να εξαλείψουν το φαινόμενο. Αν και κάποιο ποσό χρονικών διαταραχών πρέπει θεωρείται αναμενόμενο, μεγάλες χρονικές διαταραχές μπορούν να προκαλέσουν χαμηλή ποιότητα φωνής επειδή το Media Gateway θα απορρίψει τα πακέτα που καταφθάνουν εκτός χρονικής σειράς. Σε μια τέτοια περίπτωση, το Media Gateway θα εξαντλούσε τα αποθηκευμένα πακέτα των buffers και τελικά θα προκαλούνταν διαταραχές στην κυματομορφή της φωνής.

9.3.9 ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ

Κάποιος οργανισμός που επιθυμεί να εφαρμόσει το VoIP μπορεί να καθορίσει πόσο εύρος ζώνης να θέσει κατά μέρος για την απαραίτητη κίνηση των πακέτων φωνής χρησιμοποιώντας. Εντούτοις, σε ένα ενοποιημένο δίκτυο υπηρεσιών φωνής και δεδομένων, οι διαχειριστές των δικτύων πρέπει να λάβουν συνολικές αποφάσεις σχετικά με πόσο εύρος ζώνης θα πρέπει να παραχωρηθεί σε κάθε υπηρεσία. Αυτές οι αποφάσεις είναι βασισμένες στην προσεκτική εκτίμηση των προτεραιοτήτων των χρηστών του δικτύου αλλά και του συνολικού διαθέσιμου εύρους ζώνης. Εάν ένας διαχειριστής διαθέσει μικρό εύρος ζώνης για την υπηρεσία φωνής, μπορεί να προκύψουν σοβαρά προβλήματα όσον αφορά στην ποιότητα της φωνής. Ένας ακόμα παράγοντας είναι και το ότι οι υπηρεσίες φωνής είναι λιγότερο ανεκτιμής στη μείωση εύρους ζώνης από αυτή της απλής κυκλοφορίας Διαδικτύου. Επομένως, το εύρος ζώνης για τις υπηρεσίες φωνής και τη σχετική σηματοδότηση πρέπει να έχει προτεραιότητα έναντι αυτής της κυκλοφορίας Διαδικτύου.

Εάν ένα δίκτυο ήταν να χρησιμοποιηθεί το ίδιο επικρατούν σχέδιο κωδικοποίησης G.711, όπως το τρέχον σύστημα του PSTN, οι απαιτήσεις εύρους ζώνης για τα δίκτυα VoIP θα έτειναν να είναι μεγαλύτερες από αυτό ενός δικτύου μεταγωγής κυκλώματος φωνής της παρόμοιας ικανότητας. Ο λόγος είναι το πλεόνασμα (overhead) των δεδομένων που είναι απαραίτητο να μεταδοθούν επιπλέον των δεδομένων της φωνής. στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για να παραδώσουν την υπηρεσία φωνής. Χαρακτηριστικά, μια εταιρεία θα χρειαζόταν ταχύτητες της τάξης Oc-12c/STM-4 και υψηλότερες για να υποστηρίξει χιλιάδες ταυτόχρονες κλήσεις. Εντούτοις, τα δίκτυα VoIP που υιοθετούν τη συμπίεση και την καταστολή σιωπής θα μπορούσαν πραγματικά να χρησιμοποιήσουν πολύ λιγότερο

εύρος ζώνης από ένα παρόμοιο circuit-switched δίκτυο. Ο λόγος είναι λόγω της μεγαλύτερης κλιμάκωσης του εύρους ζώνης που ένα IP δίκτυο έχει σε σύγκριση με σταθερό, δίκτυο TDM καναλιών.

Οι κατανομές του εύρους ζώνης δικτύων είναι βασισμένες στους προβαλλόμενους αριθμούς κλήσεων στις ώρες αιχμής. Οποιοσδήποτε μεγάλος αριθμός εγγραφών του εύρους ζώνης φωνής μπορεί να προκαλέσει μείωση της ποιότητας φωνής. Επίσης, πρέπει να δεσμευεται επαρκές εύρος ζώνης για τη σηματοδότηση, προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι οι κλήσεις μπορούν να εγκαθίστανται και να περαιώνονται με βεβαιότητα. Ο τύπος για τον υπολογισμό του συνολικού εύρους ζώνης που απαιτείται για την κυκλοφορία φωνής είναι σχετικά απλός.

Ο τύπος για να υπολογίσει τη χρήση εύρους ζώνης φωνής φορέων RTP για έναν δεδομένο αριθμό τηλεφωνημάτων είναι ο ακόλουθος:

$$\text{Bits/sec} = (\text{Ρυθμός δημιουργίας πακέτων ανά sec}) \cdot (\text{μέγεθος πακέτων}) \cdot \text{αριθμός κλήσεων} \cdot 8 \text{ bit ανά sec}$$

όπου τα δείγματα ανά SEC = 1.000 msec/δείγμα

Παράδειγμα

2.000 κανάλια φωνής full-duplex, κωδικοποιημένα κατά G.711 με ρυθμό δημιουργίας πακέτων 1 πακέτο ανά 20 msec και με ένα μέγεθος πακέτων 200 bytes (επικεφαλίδα IP 40 bytes + ωφέλιμο φορτίο 160 bytes) μας δίνει 50 δείγματα ανά δευτερόλεπτο

$$160 \text{ Mbps} = 50 \times 200 \times 2.000 \times 8.$$

Ο αριθμός αυτός είναι ένα χονδρικό μέτρο της κυκλοφορίας IP και δεν λαμβάνει υπόψη το εύρος που χρησιμοποιούνται από τα πρωτόκολλα μεταφοράς (στις συνδέσεις μεταξύ των δρομολογητών) και τα πρωτόκολλα στρώματος data-link. Προσθέστε αυτήν την ακατέργαστη αξία IP σε αυτή των γενικών εξόδων για να καθορίσετε τις ταχύτητες συνδέσεων που απαιτούνται για να υποστηρίξουν αυτόν τον αριθμό κλήσεων. Σημειώστε ότι αυτή η αξία αντιπροσωπεύει μόνο την περιεκτικότητα σε φωνή.

Οι απαιτήσεις εύρους ζώνης για τη σηματοδότηση, ποικίλλουν ανάλογα με το αριθμό των κλήσεων που παράγονται και το πρωτόκολλο σηματοδότησης που χρησιμοποιείται. Εάν ένας μεγάλος αριθμός κλήσεων αρχίζει σε μια σχετικά μικρή χρονική περίοδο, οι μέγιστες ανάγκες εύρους ζώνης για τη σηματοδότηση θα μπορούσαν να είναι αρκετά υψηλές. Μια γενική παραδοχή για τη μέγιστη απαίτηση εύρους ζώνης σηματοδότησης στο πρωτόκολλο IP είναι κατά προσέγγιση τρία τοις εκατό όλης της κυκλοφορίας. Η χρησιμοποίηση του προηγούμενου παραδείγματος, που επισημαίνει τις απαιτήσεις εύρους ζώνης, εάν και οι 2.000 κλήσεις άρχισαν σε ένα δευτερόλεπτο, θα ήταν περίπου 4.8 Mbps (3 τοις εκατό των

160 Mbps). Με τον υπολογισμό του φορέα και της σηματοδοσίας, το συνολικό εύρος ζώνης που απαιτείται για να υποστηρίξει 2000 κωδικοποιημένες G.711 κλήσεις θα ήταν περίπου ένα μέγιστο 164.8 Mbps. Αυτή η απαίτηση εύρους ζώνης είναι ένα θεωρητικό μέγιστο για αυτήν την συγκεκριμένη περίπτωση. Εάν οι παράμετροι αλλάζουν, όπως το ποσοστό έναρξης κλήσης, τη μέθοδο κωδικοποίησης φωνής, ποσοστό δημιουργιών πακέτων, απασχόληση της συμπίεσης και της καταστολής σιωπής, οι απαιτήσεις εύρους ζώνης θα άλλαζαν επίσης. Με τις μεγάλες εφαρμογές VoIP που απαιτούν το αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης, γίνεται επιτακτικό ότι το δίκτυο IP παραδίδει την αναγκαία υπηρεσία στην προβλέψιμα υψηλή απόδοση.

9.3.10 ΑΕΙΟΠΙΣΤΙΑ

Παρά το γεγονός ότι οι αποτυχίες δικτύων είναι σπάνιες, ο προγραμματισμός δράσης σε περίπτωση βλάβης του δικτύου είναι απαραίτητος. Οι εναλλακτικές στρατηγικές είναι επιθυμητές για τις περιπτώσεις όταν κάποιες συσκευές δικτύου δυσλειτουργούν ή καταστρέφονται οι συνδέσεις τους. Μια στρατηγική είναι η εγκατάσταση εφεδρικών συνδέσεων μεταξύ των συσκευών δικτύων ή/και η εγκατάσταση εφεδρικού εξοπλισμού. Για την εξασφάλιση συνεχούς υπηρεσίας, οι χρήστες πρέπει να προγραμματίσουν προσεκτικά το πώς οι Media Gateways και οι Media Gateway Controllers μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα εφεδρικά συστήματα.

Τα δίκτυα IP χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για να ανταλλάξουν τις πληροφορίες δρομολόγησης. Ως τμήμα της λειτουργίας τους, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης ελέγχουν τη θέση της διασύνδεσης των συνδέσεων. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης επαναδρομολογούν πακέτα σε περίπτωση αποτυχίας εάν μια εναλλακτική διαδρομή είναι ήδη διαθέσιμη. Ανάλογα με τον τύπο της διασύνδεσης, ο χρόνος που απαιτείται για την ανίχνευση και τον υπολογισμό μιας τέτοιας εναλλακτικής πορείας μπορεί να ποικίλει. Παραδείγματος χάριν, η απώλεια σήματος για μια σύνδεση SONET/SDH μπορεί να ανιχνευθεί πολύ γρήγορα. Εντούτοις, μια σύνδεση μέσω ενός Switch σε ένα τοπικού LAN μπορεί να χρειαστεί το χρονικό διάστημα που καθορίζεται από το πρωτόκολλο προτού να ανιχνευθεί μια αποτυχία. Εγκαθιστώντας MGs και MGCs που μπορούν ενεργά να ανιχνεύσουν τη θέση της διεύθυνσης επόμενης δρομολόγησης (Default Gateway) ως τμήμα του μηχανισμού ασφαλείας τους μειώνει την πιθανότητα διακοπής των υπηρεσιών. Μια άλλη πιθανή επιλογή είναι ότι οι MGs & MGCs θα μπορούσαν να συνδεθούν άμεσα με το δρομολογητή. Σε αυτήν την περίπτωση, η δυνατότητα μιας

αποτυχίας συνδέσεων (ανάλογα με τη φύση της αποτυχίας) θα μπορούσε να ανιχνευθεί αμέσως και οι συσκευές δικτύων θα ελάμβαναν κατάλληλα μέτρα.

9.3.11 ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η ασφάλεια ειδικά σε ένα ενοποιημένο δίκτυο φωνής και δεδομένων, είναι μια υψηλή προτεραιότητα. Οι χρήστες πρέπει να προστατεύσουν τις συσκευές μεταδόσεων φωνής από την μη επιθυμητή πρόσβαση και τις κακόβουλες επιθέσεις. Ενώ η αποτροπή της μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση πρωτοκόλλων ασφάλειας (όπως τα RADIUS και SSH), οι επιθέσεις του τύπου Denial of Service (DoS) μπορούν να είναι ένας πραγματικός κίνδυνος στις υπηρεσίες φωνής. Είναι κατανοητό ότι τέτοιες επιθέσεις είτε θα επηρέαζαν σημαντικά είτε θα έθεταν εκτός λειτουργίας εντελώς τις υπηρεσίες φωνής.

Ένας τρόπος να εξασφαλιστούν οι συσκευές VoIP είναι να χρησιμοποιηθεί η ιδιωτική διευθυνσιοδότηση για τα Media Gateways και τους κεντρικούς Servers επεξεργασίας των κλήσεων. Με αυτό τον οι διευθύνσεις των MGs δεν θα γίνονται γνωστές στο Διαδίκτυο, και, επομένως, οι συσκευές είναι απρόσιτες στον εξωτερικό κόσμο.

Επιπλέον, όλοι οι κεντρικοί Servers επεξεργασίας VoIP, καθώς και τα MGs πρέπει να τοποθετηθούν πίσω από Firewalls για να επιβάλουν τις πολιτικές ελέγχου πρόσβασης και να τις προστατεύσουν από οποιεσδήποτε επιθέσεις DoS. Οι Firewalls πρέπει να μπορούν να κατανοούν τα πρωτόκολλα σηματοδότησης, για να είναι σε θέση να ανοίξουν και να κλείσουν δυναμικά τις κατάλληλες «πόρτες» πρόσβασης (ports) για την κυκλοφορία VoIP μόνο κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, έτσι ώστε αυτές οι πόρτες να μην είναι διαθέσιμες και επομένως ευάλωτες σε για την αναρμόδια χρήση. Οι κεντρικοί Servers είναι κρίσιμοι για την επικοινωνία VoIP επομένως, οι πολιτικές των Firewalls πρέπει να είναι σε ισχύ για να προστατεύσουν τις επικοινωνίες μεταξύ αυτών και των τερματικών συσκευών VoIP. Οι πολιτικές ασφαλείας πρέπει να περιορίσουν την επικοινωνία VoIP, μεταξύ εξουσιοδοτημένων τερματικών συσκευών ή να επιτρέπουν την κυκλοφορία μόνο μεταξύ συγκεκριμένων διευθύνσεων ή διεπαφών IP. Οι Firewalls μπορούν παράλληλα να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίζουν το δίκτυο VoIP, χωρίζοντας την κίνηση της φωνής από την κίνηση των δεδομένων εξασφαλίζοντας έτσι την κατάλληλη προτεραιότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

-
- [1] The RISC Architecture. Presented by Crystal Chen, Greg Novick, and Kirk Shimano
<http://cse.stanford.edu/class/sophomore-college/projects-00/risc/>:
- [2] Guide to RISC Processors: for Programmers and Engineers, Sivarama P. Dandamudi , Springer, ISBN: 978-0387210179
- [3] www.freescale.com/PowerPC : Freescale Semiconductor - PowerPC Architecture Processors.
- [4] Communications Semiconductor and Optical Component Market Share, 2002 © 2003 Gartner, Inc.
- [5] IEEE Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE Std. 1149.1-1990, Joint Test Action Group (JTAG), Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), New York, May 21, 1990.
- [6] ITU-T Recommendation Q.931 (1993). Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1) – ISDN User-Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call Control.
- [7] The PICMG (*PCI Industrial Computer Manufacturers Group*) Compact PCI Specification, PICMG 2.0 R3.0, October 1, 1999. www.picmg.org/test/compcci.htm
- [8] Compact PCI, “Hot Swap Specification”, PICMG 2.1 rev 1.0, August 3, 1998.
- [9] PCI Specification, rev 2.3, “An Evolution of the Conventional PCI Specification”, March 20, 2002.
<http://www.pcisig.com>
- [10] H.110 Hardware Compatibility Specification : CT Bus revision 1.0. www.ectf.org
- [11] UTOPIA Specification Level 1, Version 2.01, March 21, 1994, The ATM Forum Technical Committee
- [12] Stergios Spanos, Kyriakos Satlas, Kostas Papakonstantinou, John Angelopoulos, George Stasinopoulos. Implementation of an open platform for voice over IP applications. Proceedings of the Proceedings of the 7th WSEAS Int.Conf. on Communications, Corfu Island, Greece, July 7-10, 2003
- [13] PCI-X Specification Rev. 1.0a, PCI Special Interest Group, <http://www.pcisig.com>
- [14] UTOPIA Level 2, version 1.0, The ATM Forum, June 1995.
- [15] PCI Telecom Mezzanine/Carrier Card Specification, PICMG 2.15 Revision 1.0, July 2001
- [16] Ambassador @ T8105 H.100/H.110 Interface and Time-Slot Interchanger, www.agere.com
- [17] Building Embedded Linux Systems, Karim Yaghmour, O'Reilly Media, Inc.; 1 edition (April 2003)
ISBN:9780596002220
- [18] <http://ppcboot.sourceforge.net/>
- [19] Yaghmour, K., Building Embedded Linux Systems, O'Reilly, 2003, ISBN 0-596-00222-X.
- [20] RFC1483 - Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5, Juha Heinanen, Telecom Finland July 1993.
- [21] RFC1577 - Classical IP and ARP over ATM, M. Laubach, Hewlett-Packard Laboratories, January 1994
- [22] Freescale PowerQUICC and PowerQUICC-II Network Processors, www.freescale.com
- [23] Pegler, D., Nevil, D., and Zeffertt, A., Linux ATM driver for MPC86xESAR, <http://sourceforge.net/projects/mpc860sar>

- [24] Almesberger, W., Linux ATM device driver interface, Technical Report No. DI 96/178, February 1996 (see also <http://linux-atm.sourceforge.net>).
- [25] Almesberger, W., ATM on Linux - The 3rd Year, 4th Int. Linux Kongress 1997, March 1997, Wurzburg, Germany (see also <http://linux-atm.sourceforge.net>).
- [26] Apostolos Meliones, Stergios D. Spanos: Performance Analysis of Embedded Linux ATM for MPC8260 and Derivatives. Proceedings of the 11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2006) (pages 101-108).
- [27] Mackerras, P., PPP for Linux, release ppp-2.4.2, <http://samba.org/ftp/unpacked/ppp>
- [28] Smartbits 2000 Performance Analyzer, SmartWindows. SmartApplications. www.spirent.com
- [29] S. Bradner, Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices, RFC1242, Harvard University, Bay Networks, July 1991.
- [30] Bradner, J. McQuaid, Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, RFC2544, Harvard University, Bay Networks, May 1996.
- [31] Cisco 7200 Series Routers. www.cisco.com
- [32] PacketStar® PSAX 1250 Multiservice Media Gateway. www.alcatel-lucent.com
- [33] The Internals of Advanced Interrupt Handling Techniques: Performance Optimization of an Embedded Linux Network Interface. Stergios Spanos, Apostolos Meliones, George Stasinopoulos. Elsevier Computer Communications 31 (2008), pp. 3460-3468
- [34] J.C. Mogul, K.K. Ramakrishnan, Eliminating receive livelock in an interrupt-driven kernel. ACM Transactions on Computer Systems 15 (3) (1997) 217-252.
- [35] The NAPI driver design. www.linuxfoundation.org/en/Net:NAPI
- [36] Daniel P. Bovet, Marco Cesati, Understanding the Linux Kernel, 3rd ed., O'Reilly, 2005.
- [37] J.H. Salim, R. Olsson, A. Kuznetsov, Beyond softnet, in: Proceedings of the 5th Annual Linux Showcase & Conference (ALS 2001), Oakland, CA, USA, November 2001.
- [38] Τα προγράμματα οδήγησης που ενσωματώνουν τη τεχνική NAPI περιλαμβάνουν κάρτες των εταιρειών 3com, SMC, RealTek κα. Βλέπε στον κώδικα του πυρήνα, φάκελος:/drivers/net/. Διαθέσιμος από την ιστοσελίδα www.kernel.org
- [39] Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τους socket buffers βλέπε vger.kernel.org/~davem/skb.html
- [40] Spirent Communications - www.spirentcom.com
- [41] S. Bradner, Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices, RFC1242, Harvard University, Bay Networks, July 1991.
- [42] Bradner, J. McQuaid, Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, RFC2544, Harvard University, Bay Networks, May 1996.
- [43] IP Telephony – The Integration of Robust VoIP services, Bill Douskalis, Prentice Hall, 2000.
- [44] Media Gateway Control Protocol Architecture and Requirements (RFC 2805), IETF, N. Greene, M. Ramalho, B. Rosen, Απρίλιος 2000.
- [45] ITU-T Recommendation H.323 (2006). Packet-Based Multimedia Communications Systems.

- [46] ITU-T Recommendation H.225.0 (2006). Call Signaling Protocols and Media Stream Packetization for Packet-Based Multimedia Communications Systems.
- [47] ITU-T Recommendation H.245 (2008). Control Protocol for Multimedia Communication.
- [48] ITU-T Recommendation H.235 (2005). Security and Encryption for H-Series (H.323- and other H-245-Based) Multimedia Terminals.
- [49] ITU-T Recommendation H.450.1 (1998). Generic Functional Protocol for the Support of Supplementary Services in H.323.
- [50] ETSI TISPAN Project. <http://www.etsi.org/tispan>, 2008.
- [51] S. Dixit και S. Elby. "Frame Relay and ATM Interworking". *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 6, Ιούνιος 1996.
- [52] H. J. Fowler και J. W. Murphy. "Network Management Considerations for Interworking ATM Networks with non-ATM Services". *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 6, Ιούνιος 1996.
- [53] B. Petri και D. Schwerje. "Narrowband ISDN and Broadband ISDN Service and Network Interworking". *IEEE Communications Magazine*, Vol. 34, No. 6, Ιούνιος 1996.
- [54] ITU-T Recommendation Q.7xx - Signalling System No. 7.
- [55] ITU-T Recommendation E.164 (1997). The International Public Telecommunication Numbering Plan.
- [56] ITU-T Recommendation Q.12xx – Intelligent Networks Architecture Principles.
- [57] RFC1889 (1996) - RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications.
- [58] ITU-T Recommendation G.711 (1988). Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies.
- [59] ITU-T Recommendation G.722 (1988). 7KHz Audio-coding within 64Kbit/s, 32Kbit/s and 24Kbit/s.
- [60] ITU-T Recommendation G.723.1 (1995). Dual Rate Speech codec for multimedia telecommunications transmitting at 6.4 and 5.3Kbit/s.
- [61] ITU-T Recommendation G.726 (1990). 40, 32, 24, 16 kbit/s adaptive differential pulse code modulation (ADPCM).
- [62] ITU-T Recommendation G.728 (1992). *Speech coding at 16Kbit/s*.
- [63] ITU-T recommendation G.729 (1995). Speech codec for multimedia telecommunications transmitting at 8/13Kbit/s.
- [64] ITU-T Recommendation Q.931 (1993). Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1) – ISDN User-Network Interface Layer 3 Specification for Basic Call Control.
- [65] ITU-T Recommendation Q.932 (1993). Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1) – Generic Procedures for the Control of ISDN Supplementary Services.
- [66] RFC2833: RTP payload for DTMF Digits, Telephony Tones and Telephony Signals, IETF, May 2000.
- [67] RFC 3261 - SIP: Session Initiation Protocol – June 2002.
- [68] Theodore Zahariadis – Stergios Spanos : The Clearest Voice - IEE Communications Engineer, April/May 2004 (p.14-17)
- [69] J. Rosenberg & H. Schulzrinne. *An RTP Payload Format for User Multiplexing*. Internet Draft, IETF, January 1998.

[70] ITU-T Recommendation G.114. Transmission systems and media, general recommendation on the transmission quality for an entire international telephone connection; one-way transmission time. March 1993

[71] ITU-T Recommendation G.131. Control of talker echo. August 1996.