

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Το ευρύ κοινό, στο άκουσμα του ακρωνυμίου ATM σκέφτεται την αυτόματη μηχανή τραπεζικών συναλλαγών. Όμως, στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων υπολογιστών αυτός ο όρος είναι συνώνυμος με αξιόπιστη μετάδοση υψηλών ταχυτήτων.

Το ATM (Asynchronous Transfer Mode) αποτελεί την βέλτιστη μέχρι τώρα τεχνολογία, για μετάδοση διαφορετικών σημάτων, όπως φωνή, κινούμενη εικόνα ή δεδομένα, με εγγυήσεις όσον αφορά την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών, ενώ ταυτόχρονα εκμεταλεύεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης στο κανάλι. Σήμερα, αποτελεί τον πυρήνα πολλών δικτύων που θέλουν να προσφέρουν στους συνδρομητές τους αποτελεσματική από άκρη σε άκρη επικοινωνία. Παράλληλα, όμως με αυτήν την τεχνολογία μεγάλο ενδιαφέρον παρουσίασε τα τελευταία χρόνια και ο τομέας της κινητής τηλεφωνίας και των ασύρματων επικοινωνιών.

Οι κινητές επικοινωνίες έχουν αλλάξει τις ζωές όλων μας από τότε που έγιναν προσβάσιμες στο ευρύ καταναλωτικό κοινό και για αυτό το λόγο καταλαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό των ερευνών που πραγματοποιούνται στον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Ήδη, πολλά μοντέλα κινητών τηλεφωνικών συσκευών εκτός από τις βασικές υπηρεσίες (π.χ. τηλεφωνική συνομιλία), υποστηρίζουν μια πληθώρα εφαρμογών πολυμέσων, καθώς και περιήγηση στο Διαδίκτυο. Οι εξελιγμένες αυτές δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων ενίσχυσαν την επιθυμία του καταναλωτή για την δημιουργία ασύρματων δικτύων που να υποστηρίζουν την διεξαγωγή τηλεφωνικών συνομιλιών, την αποστολή ή λήψη δεδομένων και την παρακολούθηση βίντεο καθώς ο χρήστης κινείται σε διαφορετικούς χώρους, με την βοήθεια μιας απλής κινητής συσκευής PDA (Personal Digital Assistant) ή ενός φορητού υπολογιστή.

Το έντονο ενδιαφέρον του κοινού για ασύρματες υπηρεσίες και κατ' επέκταση για τα ασύρματα δίκτυα, επισφραγίζεται και από το γεγονός ότι ο αριθμός των ασύρματων τοπικών δικτύων αυξάνεται γεωμετρικά με την πάροδο του χρόνου. Σε πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα έχουν εγκατασταθεί ασύρματα τοπικά δίκτυα ενώ μεγάλα νοσοκομεία ακόμα και στην χώρα μας έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον για την ενσωμάτωσή τους σε ένα ασύρματο δίκτυο μεταφοράς δεδομένων, όπως το EPIRUS-NET [s1].

Όμως, τα υπάρχοντα ασύρματα (κυψελοειδή ή όχι) συστήματα δεν έχουν την δυνατότητα να υποστηρίξουν επαρκώς εφαρμογές πολυμέσων για κινητούς χρήστες. Παράδειγμα αποτελεί το Bluetooth το οποίο υποστηρίζει μόνο μικρής εμβέλειας και περιορισμένης κινητικότητας δίκτυα (piconets). Η αυξανόμενη ανάγκη των χρηστών για πρόσβαση σε εφαρμογές πολυμέσων μαζί με την επιθυμία για κινητικότητα, οδήγησαν τους ερευνητές σε αναζήτηση νέων ασύρματων τεχνολογιών που να μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτές τις σύγχρονες απαιτήσεις.

Το ασύρματο ATM δίκτυο αποτελεί μια τέτοια λύση. Μελέτες που έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν δείχνουν ότι μόνο το ATM έχει την ικανότητα να υποστηρίξει τόσο μεγάλο πλήθος υπηρεσιών, ανάμεσα τους και εφαρμογές πολυμέσων με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας (QoS - Quality of Service). Το ασύρματο ATM προτάθηκε το 1996 από το ATMF (ATM Forum) αλλά ουσιαστικά αποτελεί ακόμα αντικείμενο έρευνας ώστε να αρθούν οι δυσκολίες που προέκυψαν από το εναέριο μέσο μετάδοσης, όπως καθυστερήσεις και σφάλματα. Διάφορες λύσεις έχουν προταθεί και το ασύρματο ATM αναμένεται να αποτελέσει την κεντρική τεχνολογία (Backbone Technology) στην οποία θα στηριχτούν τα νέα ενιαία (integrated) ασύρματα δίκτυα [s 2].

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αποτελείται από επτά κεφάλαια και τρία παραρτήματα. Το πρώτο από αυτά, περιέχει μια μικρή εισαγωγή πάνω στα θέματα τα οποία πρόκειται να αναλυθούν.

Στο δεύτερο, μελετάται η ενσύρματη ATM τεχνολογία. Αναλυτικότερα, παρουσιάζεται σε βάθος η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου, το ATM στρώμα, η δομή του ATM κελιού, τα είδη υποστηριζόμενων υπηρεσιών και ο συσχετισμός τους με τις τεχνικές παραμέτρους. Ακολουθεί αναφορά σε διάφορες εφαρμογές που μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα ATM δίκτυο, όπως μετάδοση φωνής και εικόνας καθώς και περιγραφή των λειτουργιών που συμβαίνουν ώστε να έχουμε έλεγχο συμφόρησης και διαχείριση κίνησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται σύγκριση διάφορων σημαντικών τεχνολογιών με το ενσύρματο ATM όσον αφορά θέματα ασφάλειας, ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων, αξιοπιστίας κ.τ.λ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η αναγκαιότητα υλοποίησης ασύρματων ATM δικτύων. Επίσης γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική του ασύρματου ATM πρωτοκόλλου, στην διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη και στη λειτουργία του στρώματος ασύρματης πρόσβασης. Το τελευταίο αποτελείται από τέσσερα υπό-στρώματα, το Ασύρματο Φυσικό Στρώμα (Radio Physical Layer), το MAC (Medium Access Control), το DLC (Data Link Control) και το στρώμα ασύρματου ελέγχου (Wireless Control Layer), τα οποία και αναλύονται διεξοδικά.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, μελετάται το πρόγραμμα με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις των ασύρματων και ενσύρματων δικτύων. Εξηγείται ο λόγος που επιλέχθηκε έναντι των άλλων προγραμμάτων και γίνεται σύντομη αναφορά στα πλεονεκτήματά του, που το καθιστούν απαραίτητο για την μελέτη δικτύων. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή της υλοποίησης των δικτύων και αναφέρονται τα σενάρια που θα προσομοιωθούν στη συνέχεια.

Στο έκτο κεφάλαιο, ακολουθούν τα πειραματικά αποτελέσματα και οι γραφικές παραστάσεις που συλλέχθηκαν με τη βοήθεια του OPNET. Επιπροσθέτως, γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων. Ακόμα, περιγράφεται το πρόγραμμα προσομοίωσης όσον αφορά τις δυνατότητες του σε συνάρτηση με το βαθμό δυσκολίας του και παραθέτονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της πτυχιακής.

Τέλος, αναφέρονται οι πηγές πληροφοριών που λειτούργησαν ως σημεία αναφοράς γι' αυτή την εργασία, ομαδοποιημένες ανά βιβλία και ιστοσελίδες, καθώς και τρία παραρτήματα. Το πρώτο παρουσιάζει τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ακρωνύμια της ATM τεχνολογίας, το δεύτερο τα σενάρια που μελετήθηκαν και τα αποτελέσματά τους, ενώ το τρίτο αποτελείται από συγκριτικές γραφικές παραστάσεις των προσομοιούμενων σεναρίων ανά κατηγορίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ATM (Asynchronous Transfer Mode)

2.1 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου

Το ATM (Ασύγχρονη Μεταφορά Πληροφορίας) αποτελεί μια μέθοδο τηλεπικοινωνιακής επικοινωνίας, κατά την οποία η πληροφορία μεταφέρεται ή μετάγεται από το ένα μέρος του δικτύου στο άλλο με ασύγχρονο τρόπο. Ο όρος Ασύγχρονη είναι που την κάνει και διαφέρει από άλλες τεχνικές επικοινωνίας. Στο ATM, κελιά* που περιέχουν την πληροφορία μεταφέρονται, όταν κριθεί απαραίτητο. Έτσι, για παράδειγμα, στέλνονται κελιά, μόνο όταν αυτά μεταφέρουν κάποια πληροφορία, σε αντίθεση με την σύγχρονη μετάδοση, που κάποιες φορές αποστέλλονται και κενά από πληροφορία κελιά. Αποτελεί ένα τρόπο επικοινωνίας με την βοήθεια του οποίου έχουμε υψηλές επιδόσεις σε ένα δίκτυο. Ένας παράγοντας που συμβάλλει για να γίνει αυτό εφικτό, εκτός από την χρήση σταθερού και μικρού μεγέθους πακέτων, είναι ότι το ATM είναι ένα πρωτόκολλο με ελάχιστο έλεγχο λαθών και ροής. Οι ρυθμοί δεδομένων που καθορίζονται στο φυσικό στρώμα, ξεκινούν από 25,6 και φτάνουν τα 622,08 Mbps, βέβαια, είναι δυνατόν να επιτευχθούν ταχύτητες χαμηλότερες ή υψηλότερες. Χρησιμοποιεί τεχνικές πολυπλεξίας και καθορισμένο μέγεθος πακέτων για να εξυπηρετήσει διαφορετικά είδη κίνησης και υπηρεσιών. Παρέχει υπηρεσίες τόσο πραγματικού όσο και μη πραγματικού χρόνου. Χαρακτηριστικό της τεχνολογίας αποτελεί το γεγονός ότι υποστηρίζει πολλούς χρήστες ταυτόχρονα οι οποίοι έχουν διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες και κάθε εφαρμογή μπορεί να λαμβάνει χώρα με διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης. Το μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλου που έγινε σύμφωνα με τις συστάσεις της International Telecommunications Union- Telecommunication sector ITU-T I.121, αποτελείται από τρία ανεξάρτητα επίπεδα.[1][2]

2.1.1 Επίπεδο Χρήστη (User Plane)

Το επίπεδο χρήστη (σχήμα. 2.1) είναι υπεύθυνο για την μεταφορά και τον έλεγχο της πληροφορίας στον χρήστη. Περιλαμβάνει, το φυσικό στρώμα που παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο για τη μεταφορά των κελιών, το στρώμα ATM που υποστηρίζει τη μεταφορά των κελιών μέσω των νοητών συνδέσεων μεταξύ των χρηστών, την χρήση των λογικών συνδέσεων καθώς και την παροχή των λειτουργιών της πολυπλεξίας, το στρώμα προσαρμογής στο ATM (AAL- ATM Adapatation Layer) και τέλος, τα υψηλότερα στρώματα.

2.1.2 Επίπεδο Ελέγχου (Control Plane)

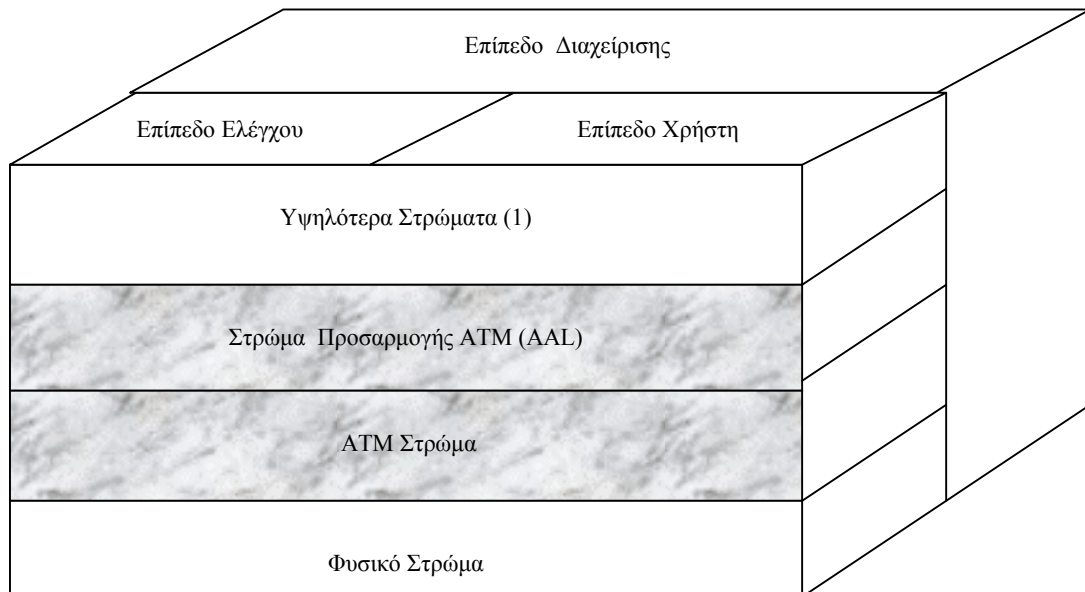
Το επίπεδο ελέγχου (σχήμα 2.1) εκτελεί τον έλεγχο κλήσης και τις λειτουργίες ελέγχου σύνδεσης που είναι απαραίτητες για την παροχή των υπηρεσιών μεταγωγής. Μοιράζεται τα τέσσερα προαναφερόμενα στρώματα, με το επίπεδο του χρήστη.

* Στο ATM ο όρος cell χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την βασική μονάδα επικοινωνίας, ο όρος αυτός μεταφράζεται ως κυψελίδα, κελί, ή κύτταρο. Από τις προαναφερόμενες έννοιες η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι το κελί, που θα υιοθετηθεί στο παρακάτω κείμενο.)

2.1.3 Επίπεδο Διαχείρισης (Management Plane)

Το επίπεδο διαχείρισης δίνει την δυνατότητα να ανταλλάγουν πληροφορίες μεταξύ του επιπέδου ελέγχου και του επιπέδου του χρήστη. Εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης ολόκληρου του συστήματος. Τμήματά του είναι η διαχείριση των στρωμάτων και των δύο επιπέδων*. Το πρώτο τμήμα, πραγματοποιεί τις λειτουργίες που έχουν να κάνουν με τους πόρους του δικτύου. Ενώ το δεύτερο με τον έλεγχο και τον συντονισμό όλων των επιπέδων.

Παρακάτω ακολουθεί μια γραφική αναπαράσταση των επιπέδων και των στρωμάτων στο ATM πρωτόκολλο. Όπως φαίνεται δύο στρώματα αποτελούν τον πυρήνα αυτής της τεχνολογίας. Το πρώτο είναι το στρώμα ATM που καθορίζει το κελί των 48 οκτάδων και την επικεφαλίδα των 5 οκτάδων καθώς και την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για να γίνει εφικτή η μετάδοση των κελιών κατά μήκος του φυσικού δικτύου. Το στρώμα ATM, πραγματοποιεί την λήψη, την αντιγραφή και προώθηση των κελιών, ενώ υποστηρίζει τις λειτουργίες της πολυπλεξίας και της αντιστροφής της διαδικασίας, χρησιμοποιώντας τα πεδία Ταυτοποιητή Νοητού Μονοπατιού (Virtual Path Identifier-VPI) και Ταυτοποιητή Νοητού Καναλιού (Virtual Channel Identifier -VCI), που θα αναλυθούν σαν έννοιες καλύτερα παρακάτω. Σε αυτό το στρώμα γίνεται ο έλεγχος της επικεφαλίδας και ο γενικός έλεγχος ροής.



Σχήμα 2.1 Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ATM [1]

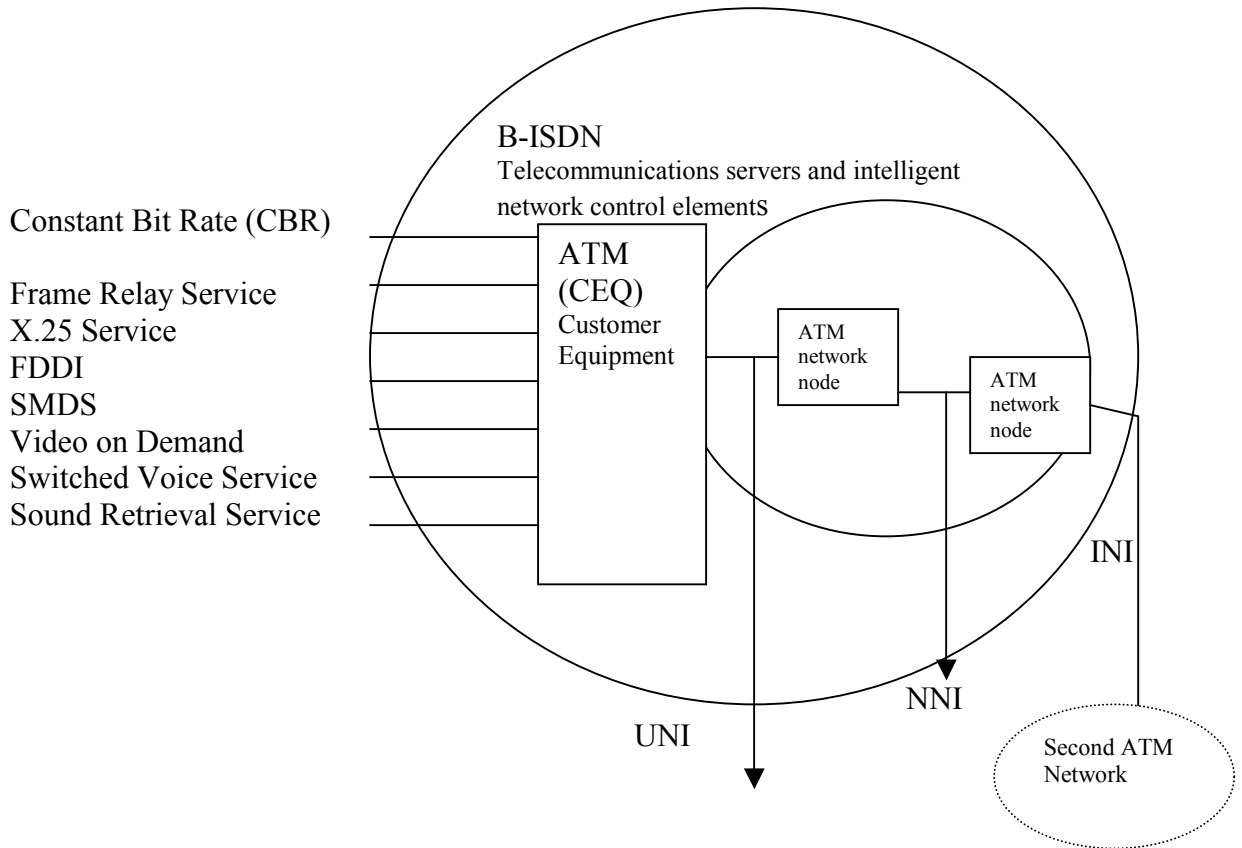
Το στρώμα προσαρμογής, από την άλλη, προσδιορίζει την χρήση των κελιών έτσι ώστε να δημιουργηθούν συνδέσεις κατάλληλες για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών παραδείγματος χάριν: μετάδοση σήματος φωνής, μετάδοση δεδομένων κ.τ.λ. Επίσης, καθορίζει τους τύπους συνδέσεων που ακολουθούν στον πίνακα 2.1.

* Το Layer μεταφράστηκε ως στρώμα και το Plane ως επίπεδο, σε μια προσπάθεια να αποδοθεί το νόημα του αγγλικού όρου με τον καλύτερο τρόπο.

Χαρακτηριστικά Μετάδοσης	Class A	Class B	Class C	Class D
Τύπος AAL	AAL Type 1 (AAL1)	AAL Type 2 (AAL2)	AAL Type 3/4 (AAL 3/4) AAL Type 5 (AAL5)	AAL Type 3/4 (AAL 3/4) AAL Type 5 (AAL5)
Χρονικός συσχετισμός μεταξύ πηγής και προορισμού	Απαραίτητος	Απαραίτητος	Μη απαραίτητος	Μη απαραίτητος
Ρυθμός μετάδοσης	Συνεχής	Μεταβλητός	Μεταβλητός	Μεταβλητός
Τύπος σύνδεσης	Προσανατολισμένος στη σύνδεση	Προσανατολισμένος στη σύνδεση	Προσανατολισμένος στη σύνδεση	Προσανατολισμένος στη μη σύνδεση

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες υπηρεσιών του ATM επιπέδου προσαρμογής.

Το ATM δίκτυο υποστηρίζει όλα τα είδη συνδέσεων. Οι τρεις κύριες διεπαφές ενός ATM δικτύου είναι η Διεπαφή Δίκτυο προς Δίκτυο (Network to Network Interface-NNI), η Διεπαφή Χρήστης προς Δίκτυο (User to Network Interface-UNI) και η Διεπαφή Διαδικτύου (Inter-Network Interface-INI). Η πρώτη διεπαφή χρησιμοποιείται μεταξύ κόμβων του ίδιου δικτύου ή και σε διαφορετικά υποδίκτυα. Με την βοήθειά της δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα ATM δίκτυο από διαφορετικούς κατασκευαστές συσκευών. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύνδεση δύο υποδικτύων διαφορετικών κατασκευαστών. Η δεύτερη διεπαφή βρίσκεται ανάμεσα στον εξοπλισμό ενός ATM πελάτη και ενός ATM διακόπτη του δικτύου. Η τρίτη διεπαφή έχει να κάνει όχι μόνο με τη δια-συνδεσιμότητα αλλά και με την ορθότητα αυτής της διαδικασίας. Έτσι, βασίζεται πάνω στο NNI αλλά επιπλέον περιέχει κάποια στοιχεία που εγγυούνται την ασφάλεια, τον έλεγχο και την διαχείριση συνδέσεων για παράδειγμα μεταξύ δύο ATM δικτύων [2]. Το σχήμα 2.2 αποσαφηνίζει τις έννοιες. Επίσης, διακρίνονται οι τύποι δικτύων που υποστηρίζει.

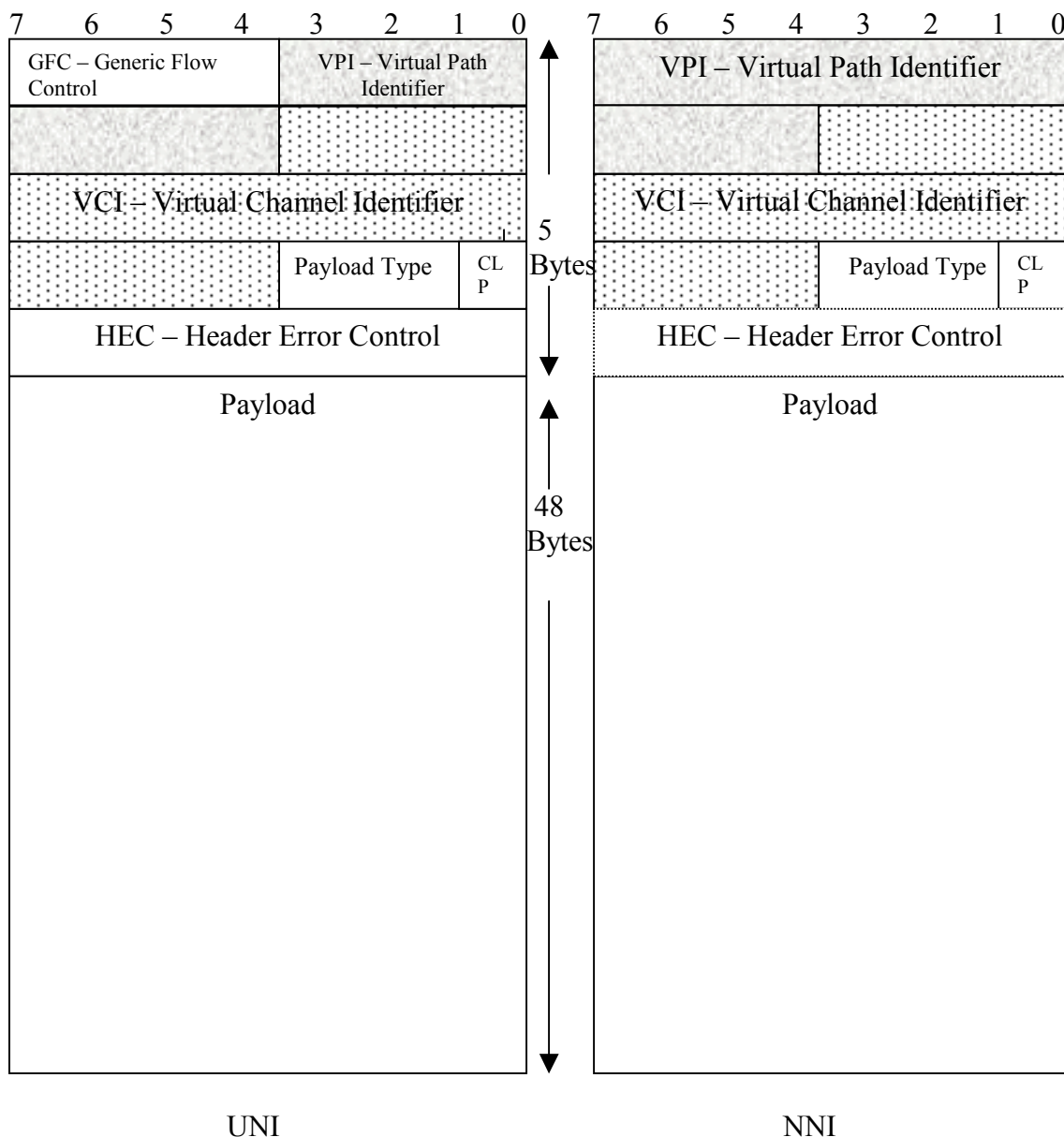


Σχήμα 2.2 ATM και B-ISDN οι διαθέσιμοι τύποι συνδέσεων και οι κύριες διεπαφές του ATM. [2]

2.2 Το ATM Κελί

Η βασική μονάδα στο ATM είναι το κελί (cell). Τα πρότυπα του ATM καθορίζουν ένα κελί σταθερού μήκους 53 bytes. Η ισχύουσα μορφή του ATM κελιού αποτελεί το προϊόν των οργανισμών προτυποποίησης, ANSI και ETSI. Από τα 53 bytes, τα 5 αποτελούν την "επικεφαλίδα" (header) και τα υπόλοιπα 48 μεταφέρουν την "ωφέλιμη" πληροφορία (payload). Υπάρχουν δύο τυποποιημένες δομές για τα ATM κελιά, που αναφέρονται στην διεπαφή χρήστη δικτύου (User to Network Interface - UNI) και δικτύου με δίκτυο (Network to Network Interface - NNI) (σχήμα 2.3). Η δομή του ATM κελιού για διεπαφή δικτύου με δίκτυο (NNI) είναι ίδια με αυτήν της διεπαφής χρήστη με δίκτυο με δύο εξαιρέσεις. Πρώτον, δεν υπάρχει το πεδίο Γενικού Ελέγχου Ροής (Generic Flow Control - GFC) και δεύτερον, το πεδίο του Ταυτοποιητή Νοητού Μονοπατιού (Virtual Path Identifier - VPI), έχει αυξηθεί σε 12 δυαδικά ψηφία (χρησιμοποιώντας και τα 4 ψηφία του GFC).

Με την βοήθεια των ATM κελιών επιτυγχάνεται δυναμικός καταμερισμός χωρητικότητας στους διάφορους χρήστες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπεται η συνύπαρξη υπηρεσιών ευρέως και στενού φάσματος μέσα στο ίδιο δίκτυο, αφού οι δύο κατηγορίες υπηρεσιών θα διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στον αριθμό των cells που απαιτούν. Σε ένα δίκτυο ATM, όλη η πληροφορία μεταγεται και πολυπλέκεται χρησιμοποιώντας κελιά σταθερού μήκους. Η επικεφαλίδα του κελιού καθορίζει τον προορισμό του, τον τύπο του και την προτεραιότητά του.



Σχήμα 2.3 Μορφή κελιού ATM

Το πεδίο GFC αποτελείται από τέσσερα δυαδικά ψηφία. Για παράδειγμα, για επικοινωνία σημείο προς σημείο (point to point), το πεδίο αυτό τίθεται 0000. Τα πεδία (Virtual Path Identifier- VPI) και (Virtual Channel Identifier- VCI), αφορούν την δρομολόγηση. Η διαδικασία δρομολόγησης περιλαμβάνει τη μετάφραση της τιμής VPI στους κόμβους μεταγωγής νοητών μονοπατιών και τη μετάφραση, τόσο του VPI όσο και του VCI, στους κόμβους μεταγωγής νοητών καναλιών. Στην περίπτωση του UNI, έχουμε 24 bits στα πεδία δρομολόγησης, που είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα των 8 bits για το VPI και των 16 bits για το VCI. Στην περίπτωση του NNI 28 bits βρίσκονται στα πεδία δρομολόγησης, από τα οποία 12 bits αποτελούν το VPI και 16 bits το VCI. Το πεδίο τύπου ωφέλιμου φορτίου (Payload Type- PT) αποτελείται από 3 bits και δηλώνει τον τύπο της πληροφορίας του αντίστοιχου πεδίου. Το bit προτεραιότητας απώλειας κελιού (Cell Loss Priority- CLP) έχει καθοδηγητικό χαρακτήρα για το δίκτυο, όταν αυτό βρίσκεται σε καταστάσεις συμφόρησης. Η τιμή 1 δείχνει ότι το κελί αυτό μπορεί να απορριφθεί, το αντίθετο, φυσικά, ισχύει για την τιμή 0. Το πεδίο ελέγχου σφαλμάτων

επικεφαλίδας (**Header Error Control- HEC**) χρησιμοποιείται τόσο για έλεγχο σφαλμάτων, όσο και για συγχρονισμό. Ο λόγος που αυτό το πεδίο έχει τόση σημασία είναι η σπουδαιότητα που έχει η επικεφαλίδα καθ' όλη τη διάρκεια που το κελί μετακινείται μέσα στο δίκτυο. Αποτελείται από 8 bits τα οποία καθορίζονται ανάλογα με τα υπόλοιπα 32 bit της επικεφαλίδας.

Βασικό πλεονέκτημα της παραπάνω δομής, των κελιών, μεταξύ των άλλων όπως έχουμε προαναφέρει, αποτελεί το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται μικρά σε μέγεθος κελιά με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες ταχύτητες. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος του ωφέλιμου φορτίου πληροφορίας υπόκειται σε ανώτερα στρώματα και επιτρέπεται η συνύπαρξη κελιών με "μεταφορά δυαδικών ψηφίων με σταθερό ρυθμό" (**Constant Bit Rate - CBR**), όπως η φωνή και το video, μαζί με μεταφορά δεδομένων "μεταφορά δυαδικών ψηφίων με μεταβλητό ρυθμό" (**Variable Bit Rate - VBR**), όπως μπορεί να συμβαίνει με πακέτα μεταβλητού μήκους.

2.3 Το ATM Στρώμα

Τα ATM δίκτυα είναι κυρίως προσανατολισμένα προς την σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι ένα νοητό κύκλωμα, χρειάζεται να οριστεί κατά μήκος ενός ATM δικτύου, πριν γίνει μεταφορά οποιουδήποτε δεδομένου. Σύμφωνα με τα πρότυπα του ATM υπάρχουν δυο τύποι συνδέσεων (**Virtual Path Connections - VPCs**) δηλαδή συνδέσεις νοητού μονοπατιού και (**Virtual Channel Connections - VCCs**) δηλαδή συνδέσεις νοητού καναλιού. Το VCC είναι η βασική μονάδα μεταγωγής σε ένα δίκτυο ATM. Μεταφέρει μια ακολουθία κελιών, σε σειρά, από χρήστη σε χρήστη. Χρησιμοποιείται για τη σηματοδότηση ελέγχου (επικοινωνία χρήστη - δικτύου) και τη διαχείριση του δικτύου. Μια ομάδα VCC που έχουν τα ίδια τερματικά σημεία αποτελούν μια VPC. Με αυτόν τον τρόπο το δίκτυο δεν δρομολογεί κελιά που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη VCC, αντίθετα, όλα τα κελιά που ανήκουν σε μια VPC ακολουθούν την ίδια διαδρομή κατά μήκος του ATM δικτύου.

2.3.1 Νοητό Κανάλι

Τα ATM κελιά ρέουν κατά μήκος διαδρομών, γνωστών ως εικονικά κανάλια **Virtual Channels (VCs)**. Κάθε πακέτο ταυτοποιείται από ένα αριθμό, το VCI, που δίνεται από τον μεταγωγέα που το έστειλε και αφορά το κανάλι στο οποίο θα σταλεί. Όταν ο δέκτης μεταγωγέας δέχεται ένα πακέτο με $VCI = k$ σε μια φυσική πόρτα x , κάνει αναζήτηση στον πίνακα δρομολόγησης για $(x:k)$ που θα υποδεικνύει σε ποια φυσική πόρτα να στείλει το κελί και ποιο VCI να του αποδώσει, ώστε να το χρησιμοποιήσει στον επόμενο μεταγωγέα. Εάν το VC είναι καθορισμένο για μια σύνδεση για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε καλείται Μόνιμη Νοητή Σύνδεση (**Permanent Virtual Connection-PVC**), πρόκειται για μια σύνδεση που έχει γίνει από κάποιον εξωτερικό μηχανισμό, όπως η διαχείριση δικτύου, στην οποία μια ομάδα από μεταγωγείς μεταξύ μιας ATM πηγής και ενός προορισμού ATM προγραμματίζονται με βάση τις κατάλληλες VPI και VCI τιμές-. Εάν έχουμε αυτόματο καθορισμό του VC τότε έχουμε το λεγόμενο Νοητή Σύνδεση με Μεταγωγή (**Switched Virtual Connections- SVC**) -είναι μια σύνδεση, που καθορίζεται αυτόματα μέσω ενός πρωτοκόλλου σηματοδότησης- εξασφαλίζεται δηλαδή μια προσωρινή σύνδεση μεταξύ δυο τερματικών που διαρκεί όσο χρόνο διαρκεί και η επικοινωνία τους. Σε αντίθεση με το προηγούμενο VC, δεν χρειάζεται να επέμβουμε για να καθοριστεί και έτσι είναι ευρύτερα χρησιμοποιούμενο.

2.3.2 Νοητό Μονοπάτι

Μια δέσμη νοητών καναλιών καλείται νοητό μονοπάτι (Virtual Path - VP). Νοητά κανάλια που μοιράζονται το ίδιο μονοπάτι έχουν την ίδια τιμή Ταυτοποιητή Νοητού Καναλιού (Virtual Path Identifier - VPI). Η χρήση των νοητών μονοπατιών προσφέρει: απλή αρχιτεκτονική δικτύου, γρήγορη ανάκαμψη σε περιπτώσεις αποτυχιών του δικτύου -αυτό συμβαίνει γιατί γίνεται κοινή δρομολόγηση μέσα στο δίκτυο-, περιορίζει το κόστος ελέγχου λόγω της ομαδοποίησης, αυξάνει την απόδοση του δικτύου -το δίκτυο διαχειρίζεται λιγότερες αυτόνομες μονάδες-.[1]

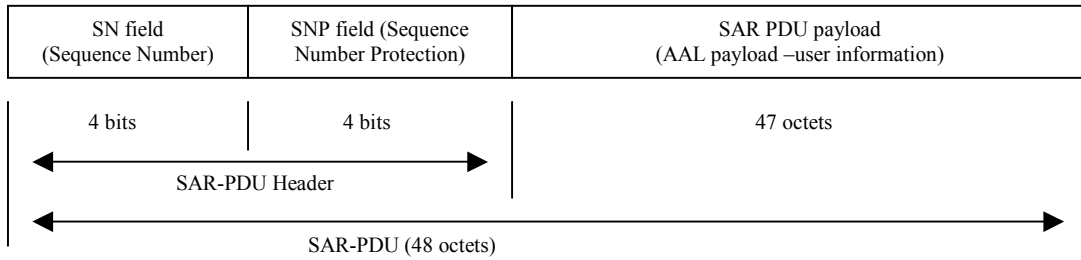
2.4 AAL (ATM Adaptation Layer)

Το AAL αναφέρει τους κανόνες που έχουν να κάνουν με την κωδικοποίηση και την χρήση του ωφέλιμου φορτίου του κελιού, δηλαδή της πληροφορίας που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, έχει μέγεθος 48 οκτάδες. Είναι ίσως το πιο σημαντικό από τα κομμάτια του ATM αφού παρέχει την μετατροπή της πληροφορίας, σε μια μορφή ικανή να μεταφερθεί κατά μήκος του ATM δικτύου. Χωρίζεται σε δυο υποστρώματα στο υπόστρωμα σύγκλισης (Convergence Sublayer - CS) και στο υπόστρωμα τεμαχισμού και επανα-συναρμολόγησης, (Segmentation And Reassembly Sublayer - SAR). Το πρώτο παρέχει τις λειτουργίες που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη συγκεκριμένων εφαρμογών χρησιμοποιώντας το AAL, ενώ το δεύτερο αποτελεί μια μέθοδο τεμαχισμού ή τμηματοποίησης ταξινομημένων πακέτων, που έχει σαν στόχο την τοποθέτηση της πληροφορίας που λαμβάνεται από το CS, σε κελιά προς μετάδοση και το αντίθετο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι του AAL όπως θα αναφέρουμε στη συνέχεια. Κάθε SAR- PDU (Protocol Data Unit) αποτελεί το ωφέλιμο φορτίο ενός κελιού ATM (Σχήμα 2.4).

2.4.1 AAL Τύπος 1

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται για πηγές που μεταφέρουν δυαδικά ψηφία με σταθερό ρυθμό, ευαίσθητες στη καθυστέρηση που μπορεί να υποστεί το πακέτο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του εντός του δικτύου. Χρησιμοποιώντας το AAL1, μπορούν να διακινήθούν, συνδέσεις που βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος ή σε μισθωμένες γραμμές, μέσα σε ένα ATM δίκτυο. Σ' αυτό το τύπο του επιπέδου προσαρμογής χρησιμοποιούμε την υπηρεσία CBR.

Οι παρακάτω διαδικασίες διαδραματίζονται στο στρώμα αυτό: κατάτμηση και αναδόμηση της πληροφορίας, διαχείριση των ποικίλων καθυστερήσεων των κελιών, διαχείριση των χαμένων από λάθος κελιών, ανάκτηση συχνότητας στον δέκτη, έλεγχος του πεδίου πληροφορίας για λάθη στα δυαδικά ψηφία και πιθανές διορθωτικές κινήσεις. Το 48 οκτάδων φορτίο του στρώματος ATM υποδιαιρείται από το AAL-1 σε 47 οκτάδων φορτίο και μια οκτάδα για την επικεφαλίδα AAL. [4]



Σχήμα 2.4 Σχηματισμός SAR-PDU στο AAL1. **Protocol Data Unit (PDU)**: Είναι το τμήμα μηνύματος ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου που περιέχει πληροφορίες για το είδος του ωφέλιμου φορτίου και πληροφορίες ελέγχου, συνήθως βρίσκεται στην επικεφαλίδα. Το SN και το SNP που προσφέρει αναγνώριση και διόρθωση σφάλματος της SAR-PDU Header. [2]

2.4.2 AAL Τύπος 2

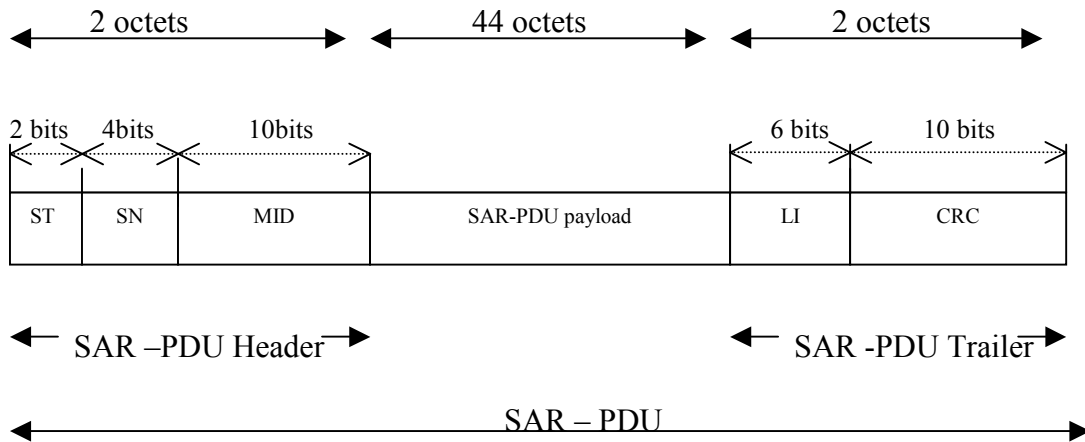
Είναι το λιγότερο αναπτυγμένο. Αντανακλά τις σχετικά λίγες υπηρεσίες για μεταφορά πακέτων βίντεο και σήματα δεδομένων τάξεως Β. Στις γενικές του αρχές είναι όμοιο με το προηγούμενο, εκτός του ότι επειδή έχει μεταβλητό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, για να διατηρήσει την χρονική σχέση μεταξύ πηγής και προορισμού, είναι ίσως αναγκαίο να στείλει μερικά κενά πεδία SAR-PDUs [2]. Προορίζεται κυρίως για αναλογικές εφαρμογές όπως ο ήχος.

2.4.3 AAL Τύπος 3/4

Στην αρχή υπήρχαν δύο τύποι AAL. Ο AAL 3 και ο AAL 4, που ανταποκρίνονταν στους τύπους συνδέσεων C και D. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους έγιναν ισοδύναμοι και τώρα αναφέρονται ως AAL 3/4.

Χρησιμοποιείται για μεταφορά πακέτων είτε με μέθοδο προσανατολισμένη στη σύνδεση, είτε όχι, κατά μήκος ενός ATM δικτύου. Η υπηρεσία μπορεί να είναι τύπου μηνυμάτων ή ροής δεδομένων [1]. Η υπηρεσία μηνυμάτων μεταφέρει δεδομένα σε πλαίσια και η υπηρεσία ροής δεδομένων υποστηρίζει τη μεταφορά αλληλουχίας δεδομένων, χαμηλής ταχύτητας με απαιτήσεις μικρής καθυστέρησης.

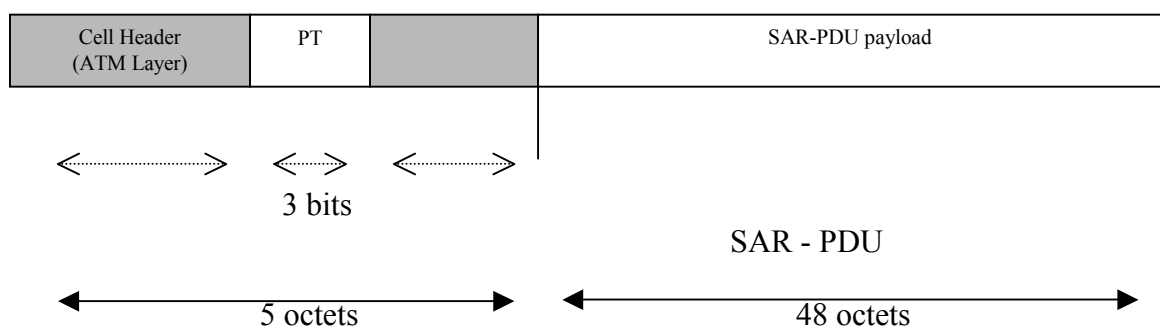
Το σχήμα 2.5 δείχνει το σχηματισμό SAR-PDU στο AAL 3/4. Το πεδίο Ένδειξη Μήκους - **Length Indication (LI)** χρησιμοποιείται για να δείξει πόσες οκτάδες από το SAR-PDU payload χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν την πληροφορία. Το πεδίο Αναγνώριση Πολυπλεξίας (**Multiplexing Identification - MID**) επιτρέπει σε ένα αριθμό από διαφορετικές συνδέσεις να μπορούν να χειρίζονται το ίδιο ATM στρώμα. Ενώ το πεδίο (**Cyclic Redundancy Check - CRC**) είναι ένας κώδικας έλεγχου λαθών των 10 bit που χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει τυχόν λάθη στην SAR –PDU επικεφαλίδα (header), το ωφέλιμο φορτίο (payload) και στο πεδίο ένδειξης μήκους (length indication) . [2]



Σχήμα 2.5 Σχηματισμός SAR-PDU στο AAL3/4.

2.4.4 AAL Τύπος 5

Το πρωτόκολλο αυτό αναπτύχθηκε για να παρέχει ένα εργαλείο μεταφοράς για υψηλότερου επιπέδου πρωτόκολλα που είναι προσανατολισμένα στη σύνδεση, είναι πιο απλό από το προηγούμενο και πιο επαρκές. Η λειτουργία του είναι όμοια με το AAL 3/4 αλλά δεν έχει τις πολυπλεκτικές δυνατότητες που παρέχει ο προηγούμενος τύπος [2]. Με τη βοήθειά του μειώνεται ο επιπλέον χρόνος επεξεργασίας πρωτοκόλλων, καθώς και ο χρόνος εκπομπής. Ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζεται η προσαρμοστικότητα στα υπάρχοντα πρωτόκολλα μεταφοράς.



Σχήμα 2.6 Σχηματισμός SAR-PDU στο AAL5. Το πεδίο Payload Type (PT) του ATM Layer, καθορίζει τον τύπο του κελιού. [2]

2.5 Κατηγορίες Υπηρεσιών ATM

Υπάρχουν πέντε τύποι υπηρεσιών που έχουν καθοριστεί για το ATM. Όλες τους χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας με καθορισμένη τιμή για κάθε παράμετρο. Οι παράμετροι ποιότητας υπηρεσιών (**Quality of Service - QoS**), αναφέρονται στην εικόνα που παρουσιάζει το δίκτυο στον τελικό χρήστη και ουσιαστικά μας δείχνουν την πιθανότητα να μπλοκαριστεί η προσφερόμενη κίνηση.

Τύπος υπηρεσίας	QoS
Constant Bit Rate (CBR)	Χρησιμοποιείται για να εξομοιώσουμε την μεταγωγή κυκλώματος. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι σταθερός. Έχει σταθερό άνω όριο καθυστέρησης μεταφοράς της πληροφορίας. Παραδείγματα είναι η τηλεφωνία, η τηλεόραση και το βίντεο κατά απαίτηση.
Variable Bit Rate – non real time (VBR – nrt)	Επιτρέπει στους χρήστες να στέλνουν δεδομένα που αλλάζουν σε σχέση με το χρόνο και εξαρτώνται από την διαθεσιμότητα της πληροφορίας. Εφαρμόζεται στατιστική πολυπλεξία για να γίνει καλύτερη χρήση των πόρων δικτύου. Παράδειγμα αποτελούν τα multimedia e-mail.
Variable Bit Rate – real time (VBR – rt)	Είναι παρόμοια με την προηγούμενη αλλά χρησιμοποιείται για εφαρμογές ευαίσθητες στις μεταβολές καθυστέρησης κελιών. Παραδείγματα είναι η φωνή με Speech Activity Detection (SAD)
Available Bit Rate (ABR)	Αυτή η τάξη βασίζεται στον έλεγχο του ρυθμού κίνησης. Και έχει στόχο την κίνηση δεδομένων όπως μεταφορά αρχείων και e-mail. Οι χρήστες μπορούν να καθορίσουν τον ελάχιστο ρυθμό δεδομένων ο οποίος θα αποτελεί εγγύηση για τη σύνδεση. Παράδειγμα αποτελεί μια διασύνδεση LAN.
Unspecified Bit Rate (UBR)	Χρησιμοποιείται για το TCP/IP τα κελιά προωθούνται με τεχνική First In First Out (FIFO) χρησιμοποιώντας την χωρητικότητα που δεν καταναλώνεται από άλλες υπηρεσίες. Περιλαμβάνει όλες τις προηγούμενες. Παράδειγμα είναι ο χειρισμός απομακρυσμένου τερματικού.

Πίνακας 2.2 Τύποι υπηρεσιών στο ATM [10] [1]

Το ATM Forum έχει καθορίσει ένα σύνολο τεχνικών παραμέτρων που συσχετίζονται με μία σύνδεση και επηρεάζουν την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών. Αυτές οι παράμετροι φαίνονται στο πίνακα 2.3.

Καθορισμός παραμέτρων	Ορισμός
Cell Loss Ratio (CLR)	Είναι το ποσοστό των κελιών που δεν παραδίδονται στον προορισμό τους επειδή χάθηκαν στο δίκτυο λόγω συμφόρησης ή υπερχειλίσης.
Cell Transfer Delay (CTD)	Η καθυστέρηση που εμφανίζεται μεταξύ εισόδου και εξόδου του δικτύου. Περιλαμβάνει την καθυστέρηση μετάδοσης, την καθυστέρηση δρομολόγησης και τον χρόνο εξυπηρέτησης.
Cell Delay Variation (CDV)	Είναι ένα μέτρο της διακύμανσης της καθυστέρησης μετάδοσης.
Peak Cell Rate (PCR)	Ο μέγιστος ρυθμός κελιών τον οποίο θα μεταδίδει ο χρήστης.
Sustainable Cell Rate (SCR)	Ο μέσος ρυθμός μετάδοσης κελιών που μετράται σε μια μεγάλη περίοδο της σύνδεσης.
Burst Tolerance (BT)	Αυτή η παράμετρος καθορίζει το μέγιστο χρονικά καταιγισμό που μπορεί να σταλεί στο (PCR).

Πίνακας 2.3 Τεχνικές Παράμετροι στο ATM [10]

Υπηρεσίες	CBR	VBR-NRT	VBR-RT	ABR	UBR
Παράμετροι					
CLR	+	+	+	+	-
CTD	+	-	+	-	-
CDV	+	+	+	-	-
PCR	+	+	+	-	+
SCR	-	+	+	-	-
BT & PCR	-	+	+	-	-
Flow Control	-	-	-	+	-

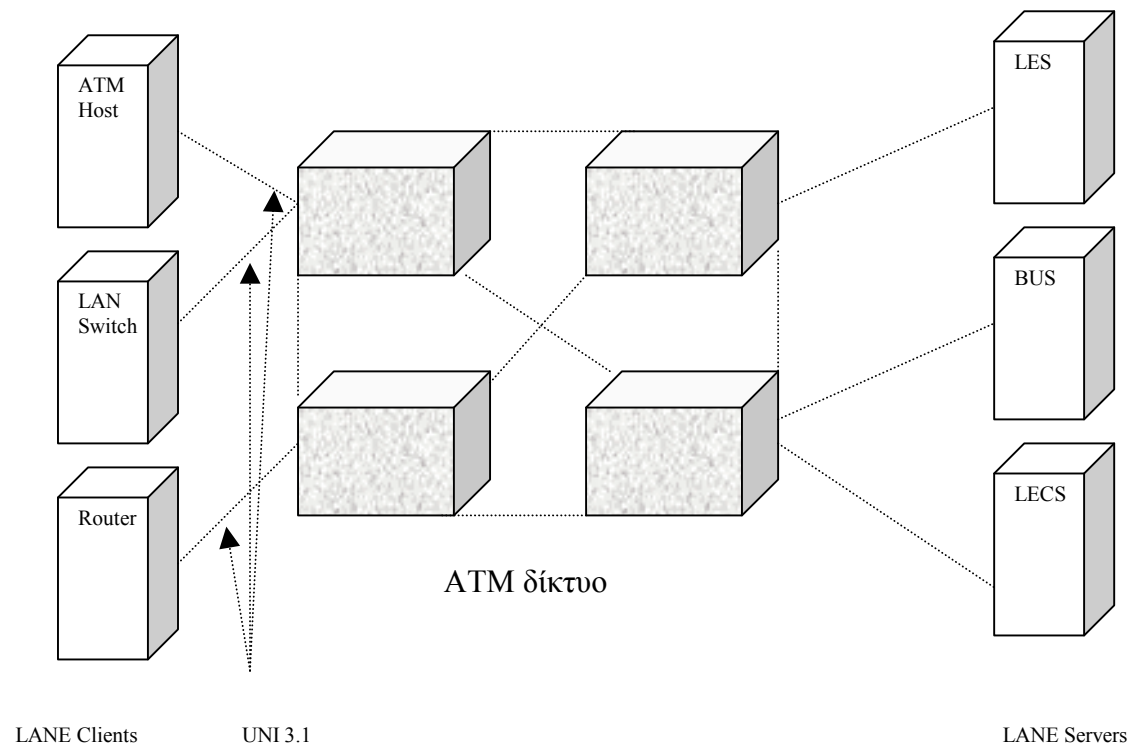
Πίνακας 2.4 Συσχετισμός τάξεων υπηρεσιών στο ATM και τεχνικών παραμέτρων. Οι πολλαπλές τάξεις υπηρεσιών καθιστούν το ATM την επιλεγόμενη τεχνολογία για multimedia εφαρμογές. [10]

Κατηγορία Υπηρεσίας	Περιγραφείς Κίνησης	CLR	Delay Variance	Bandwidth	Use of feedback
CBR	PCR	+	+	+	-
rt-VBR	PCR,SCR,MBS	+	+	+	-
nrt-VBR	PCR,SCR,MBS	+	-	+	-
ABR	PCR,MCR	+	-	+	+
UBR	PCR	-	-	-	

Πίνακας 2.5 Κατηγορίες υπηρεσιών που δείχνει τα χαρακτηριστικά καθεμίας και τις παρεχόμενες της εγγυήσεις. (PCR: Peak Cell Rate SCR: Sustainable Cell Rate, MBS: Maximum Burst Size, MCR: Maximum Cell Rate)

2.6 Προσομοίωση τοπικού δικτύου από την ATM τεχνολογία

Η προσομοίωση των τοπικών δικτύων από την ATM τεχνολογία είναι πολύ σημαντική δυνατότητα, γιατί επιτρέπει στις υπάρχουσες εφαρμογές που τρέχουν σε περιβάλλον τοπικών δικτύων, να λειτουργούν με διαφανή τρόπο, πάνω από το ATM. Το πιο κοινά χρησιμοποιούμενο σύνολο από πρότυπα για τοπικά δίκτυα είναι το ATM LAN Emulation (LANE), σχήμα 2.7.



Σχήμα 2.7 LANE υπηρεσίες. Το σχήμα αναπαριστά ένα προσομοιωμένο τοπικό δίκτυο, ELAN (Emulated LAN) με servers. Είναι επίσης δυνατόν να έχουμε πολλά ELANs μέσα στο ίδιο φυσικό ATM δίκτυο.

Με την βοήθεια αυτής της υπηρεσίας προσφέρεται διασυνδεσιμότητα τοπικών δικτύων (LAN's) μέσω ενός δημοσίου ATM δικτύου. Λειτουργεί στο MAC στρώμα και υποστηρίζει πολλά από τα χαρακτηριστικά του Ethernet και του Token-Ring. Τα πακέτα δηλαδή δρομολογούνται με βάση τις MAC διευθύνσεις που τους έχουν αποδοθεί. Το ATM LAN Emulation που καθορίστηκε από το ATM Forum, καθορίζει δυο είδη στοιχείων του LAN δικτύου, ικανά να συνδέονται σε ένα ATM δίκτυο.

- 1) Τους ATM LANE clients, LAN Emulation Clients (LEC). Οι LECs για παράδειγμα μπορούν να είναι δρομολογητές, μεταγωγείς τοπικών δικτύων ή κεντρικοί υπολογιστές (hosts) που διαθέτουν LANE λογισμικό και συνδέονται με το ATM δίκτυο χρησιμοποιώντας την UNI 3.1 διεπαφή.
- 2) Τους ATM LANE servers που υποστηρίζουν τις ATM LANE υπηρεσίες.

Οι ακόλουθοι τύποι εξυπηρετητών (servers) είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία ενός LANE:

LAN Emulation Server (LES): Οι LES υλοποιούν τον λειτουργικό έλεγχο για ένα συγκεκριμένο emulated LAN (ELAN). Αντιστοιχεί μόνο ένα LES για κάθε ELAN. Κάθε LES αναγνωρίζεται με μια καθορισμένη ATM διεύθυνση.

Broadcast and Unknown Server (BUS): Είναι ένας multicast εξυπηρετητής που χρησιμοποιείται για να προωθήσει multicast και broadcast κίνηση σε πελάτες (clients) σε ένα καθορισμένο ELAN. Κάθε LEC συσχετίζεται με μόνο ένα BUS ανά ELAN, αλλά μπορούν να υπάρχουν πολλοί BUS's μέσα σε ένα ELAN.

LAN Emulation Configuration Server (LECS): Οι LECS είναι οντότητες που αναθέτουν LANE clients σε ELANs και τα κατευθύνουν στα LES που ανταποκρίνονται σε ένα συγκεκριμένο ELAN.

2.7 Εφαρμογές του ATM

Το ATM αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική μεταφοράς δεδομένων, στην οποία βασίζονται οι τηλεπικοινωνίες. Όπως είδαμε και πρωτότερα είναι ικανό να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα πολλούς χρήστες, καθένας από τους οποίους μπορεί να έχει διαφορετικές ανάγκες (π.χ. μετάδοση δεδομένων, μεταφορά εικόνας, τηλεφωνία κ.τ.λ.) ενώ συγχρόνως κάθε χρήση μπορεί να έχει διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης.

Το ATM έχει πολλές εφαρμογές. Προσφέρεται από παροχείς υπηρεσιών σαν μια δικτυακή υποδομή κατάλληλη για εταιρίες, πανεπιστήμια, νοσοκομεία και διαφόρων ειδών ιδρύματα ή ερευνητικά κέντρα. Χρησιμοποιείται ως backbone για το frame relay, το B-ISDN και το Internet, ενώ φυσικά αποτελεί την βέλτιστη επιλογή για δίκτυα που διαπραγματεύονται εφαρμογές πολυμέσων. Η συντριπτική πλειοψηφία (σχεδόν 80 %) των παγκόσμιων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, χρησιμοποιούν το ATM σαν τον κορμό των δικτύων τους. Ένα από τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι ότι λειτουργεί σαν μια γέφυρα μεταξύ παλαιότερων εξοπλισμών και λειτουργικών συστημάτων νέας γενιάς. Επιπροσθέτως, υποστηρίζει ευέλικτα τις ακόλουθες τεχνολογίες: DSL (ADSL), IP Ethernet, Frame Relay, SONET (Synchronous Optical Network)/SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Τέλος, έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει ασύρματα δίκτυα.

2.7.1 Synchronous Digital Hierarchy (SDH) -Synchronous Optical Network (SONET)

Το SONET είναι μια διεπαφή που στηρίζεται σε οπτικά μέσα όπως οι οπτικές ίνες, προτάθηκε από την BellCore ενώ προτυποποιήθηκε από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προτυποποίησης ANSI. Κάνει χρήση τεχνικών πολυπλεξίας και παρέχει την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των ικανοτήτων μετάδοσης μιας οπτικής ίνας. Θεωρείται μια από τις καλύτερες προτάσεις όσον αφορά την σύγχρονη επικοινωνία. Προσφέρει ταχύτητες από 1.544 Mbps έως 9.98 Gbps [11]. Με το SONET υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς πολλών διαφορετικών τύπων φορτίων. Αποτελεί ουσιαστικά μια καλή επιλογή φυσικού μέσου για το ATM.

Η βασική δομή πλαισίου στο SONET είναι σε STS-1 τυποποίηση με βασικό ρυθμό μετάδοσης τα 51.84Mbps. Υπάρχει μια οικογένεια από ρυθμούς μετάδοσης και τυποποιήσεις βασισμένες στο STS-1 με ρυθμούς μετάδοσης $n * 51,84$ Mbps όπου n είναι ακέραιος. Η άμεση μετατροπή του STS-1 (Synchronous Transport Signal Level -n) σήματος σε οπτικό σήμα ονομάζεται OC-1 (Optical Carrier) .

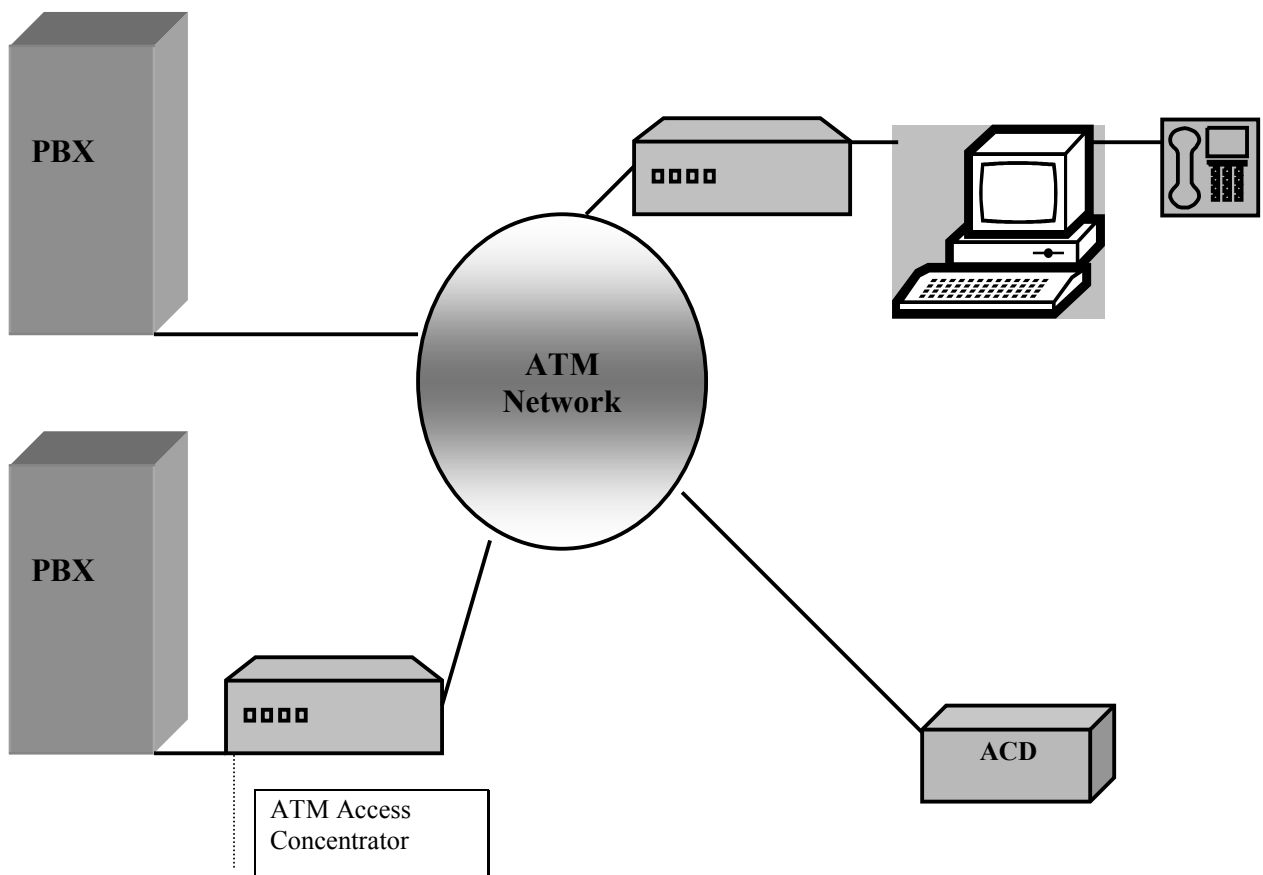
Μια συμβατή τεχνολογία με την προαναφερθείσα είναι το SDH, μια τεχνολογία που σαν κύριο άξονα της έχει την σύγχρονη μετάδοση με πολυπλεξία. Έτσι το SDH (Synchronous Digital Hierarchy) απαιτεί το συγχρονισμό όλων των links μέσα στο δίκτυο και αποτελεί την πρόταση της ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) ως το ιδανικό φυσικό μέσο για το ATM. Το γεγονός το SDH είναι σύγχρονη τεχνολογία βοηθάει στην επάρκεια του δικτύου που λειτουργεί υπο το καθεστώς της, καθώς και στην ευκολότερη διαχείριση του. Το frame repetition rate στο SDH είναι 8000 Hz. Άρα ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης στη γραμμή θα είναι 155.52Mbps αφού ένα πλαίσιο STM-1 έχει 19.440 bits (19440*8000). Η αντιστοιχία μεταξύ των δυο τεχνολογιών SDH και SONET φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Optical Carrier Level	SDH level ITU	SONET level ANSI	Data Rate
OC-1		STS-1	51.84Mbps
OC-3	STM-1	STS-3	155.52Mbps
OC-12	STM-4	STS-12	622.08Mbps
OC-24	STM-8	STS-24	1.244Gbps
OC-48	STM-16	STS-48	2.488Gbps
OC-N	STM-N/3	STS-N	N*51.84 Mbps

Πίνακας 2.6 SONET/SDH Hierarchy OC: Optical Carrier, STS: Synchronous Transport Signal,STM: Synchronous Transport Module [10].

2.7.2 Φωνή στο ATM -Voice over ATM

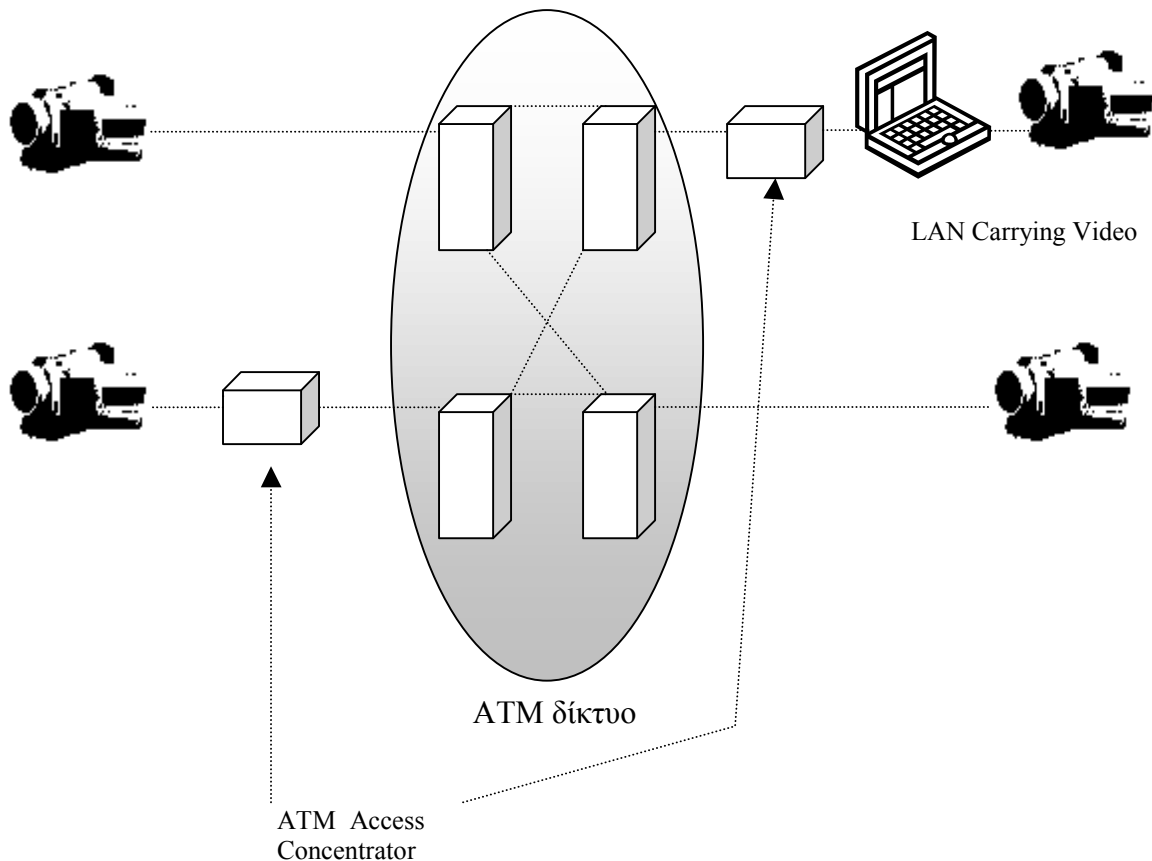
Οι υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, όπως η φωνή υποστηρίζονται, γενικά, από τεχνικές όπως η μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι, αρχικά ήταν φυσικό η φωνή να αποτελεί μέρος της υπηρεσίας CBR χρησιμοποιώντας PVCs (**P**ermanent **V**irtual **C**ircuits), αλλά παρόλο που αποτελεί ίσως το πιο απλό τρόπο να μεταφερθεί η φωνή, δεν αξιοποιεί τις ικανότητες του ATM δικτύου. Ταυτόχρονα υπάρχει ένα σοβαρό μειονέκτημα από την εφαρμογή αυτή, που είναι ότι ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης, πρέπει να αφιερωθεί για αυτό το σκοπό άσχετα αν υπάρχει ωφέλιμη πληροφορία για μετάδοση ή όχι. Καθώς η τεχνολογία προοδεύει φαίνεται ότι παρά την κατατρεχτική φύση που έχει η φωνή σαν σήμα, μπορεί να μεταδοθεί επαρκώς, με την χρήση VBR -RT σύνδεσης πάνω από το ATM δίκτυο. Αυτό γίνεται εφικτό, καθώς στην επικοινωνία με φωνή, υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες υπάρχει σιγή, δεν μεταδίδεται δηλαδή χρήσιμη πληροφορία. Αυτές είναι όταν δεν υπάρχει τηλεφωνική συνομιλία σε ένα κανάλι π.χ. κατά την διάρκεια της νύχτας, όταν υπάρχει τηλεφωνική συνομιλία αλλά κανένας δεν μιλάει, ή όταν μόνο το ένα άτομο μιλάει. Στην περίπτωση που η υπηρεσία αυτή επιλεγεί για την μεταφορά φωνής SVCs (**S**witched **V**irtual **C**ircuits) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν ή να τερματίσουν τις εκάστοτε τηλεφωνικές συνδέσεις. (Σχήμα 2.8)



Σχήμα 2.8 Εφαρμογή με φωνή πάνω από ATM. ACD είναι το ακρωνύμιο των λέξεων **A**utomatic **C**all **D**iversion και χρησιμοποιείται σε κέντρα εξυπηρέτησης πελατών. **P**riate **B**ranch **E**xchange PBX είναι ένα ιδιωτικό τηλεφωνικό κέντρο με δυνατότητα σύνδεσης στο τηλεφωνικό δίκτυο.

2.7.3 Video στο ATM

Το ATMF έχει καθορίσει την χρήση της υπηρεσίας VBR -RT αξιοποιώντας το AAL-5 για το MPEG2 (Motion Pictures Expert Group) στις ATM -video on demand- εφαρμογές, καθώς αυτή η προσέγγιση εκμεταλλεύεται καλύτερα τους πόρους του δικτύου. (Το MPEG2 είναι ένα πρωτόκολλο μετάδοσης εικόνας που απευθύνεται σε εφαρμογές που απαιτούν broadcast υψηλής ποιότητας ήχου και εικόνας. Χρησιμοποιείται ήδη σε κάποια μουσεία για interactive video παρουσιάσεις.)



Σχήμα 2.9 Απλή εφαρμογή Video broadcast στο ATM.

Η VBR-RT υπηρεσία είναι ικανή να μεταφέρει video broadcast ενώ τόσο SVCs όσο και PVCs μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα SVCs μπορούν να χρησιμοποιηθούν για video on demand ενώ τα PVCs για broadcast video.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 2.7 που συσχετίζει τις διάφορες εφαρμογές του ATM με τις υπηρεσίες που μας παρέχει.

APPLICATION AREA	CBR	Rt-VBR	Nrt-VBR	ABR	UBR
CRITICAL DATA	**	*	***	*	N/S
LAN EMULATION	*	*	**	***	**
DATA TRANSPORT/ INTERWORKING (IP-FR)	*	*	**	***	**
CIRCUIT EMULATION	***	**	N/S	N/S	N/S
ISDN – VIDEO CONFERENCE	***			N/S	N/S
COMPRESSED AUDIO	*	***	**	**	*
VIDEO DISTRIBUTION	***	**	*	N/S	N/S
INTERACTIVE MULTIMEDIA	***	***	**	**	*

Πίνακας 2.7 Αυτός ο πίνακας δείχνει κάποια δείγματα περιοχών εφαρμογών για τις ATM κατηγορίες υπηρεσιών. Φυσικά δεν λειτουργεί δεσμευτικά ως προς αυτές. Με τρεις αστερίσκους υποδηλώνεται ότι η υπηρεσία αυτή καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες εφαρμογής. Με δύο αστερίσκους υποδηλώνεται ότι η υπηρεσία είναι πολύ καλή για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, ενώ με έναν υποδηλώνεται ότι είναι ικανοποιητική. Το σύμβολο N/S φανερώνει ότι η υπηρεσία δεν αρμόζει για την εφαρμογή αυτή. [11]

2.8 Έλεγχος Κίνησης & Συμφόρησης στο ATM

Ο έλεγχος κίνησης και συμφόρησης στο ATM είναι συνάρτηση ορισμένων λειτουργιών που εφαρμόζονται σε διαφορετικές οντότητες κίνησης και διαφορετική κλίμακα χρόνου. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη επεξήγησή τους :

1. **Connection Admission Control (CAC)** Έλεγχος Αποδοχής Σύνδεσης. Εδώ προσδιορίζεται αν ένα αίτημα σύνδεσης θα γίνει αποδεκτό ή πρέπει να απορριφθεί. Η λειτουργία αυτή λαμβάνει μέρος κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης μίας σύνδεσης.
2. **Feedback Controls (FC)** Έλεγχοι Ανατροφοδότησης. Έχει να κάνει με στατιστικά στοιχεία που λαμβάνονται από το ίδιο το δίκτυο ώστε να ρυθμιστεί η κυκλοφορία του.
3. **Usage Parameter Control (UPC)** Έλεγχος Παραμέτρων Χρήσης. Αποτελεί προληπτικό έλεγχο έτσι ώστε το δίκτυο να αποφύγει πιθανή μελλοντική συμφόρηση. Αυτό κατορθώνεται εξασφαλίζοντας ότι η εκάστοτε σύνδεση θα είναι εντός των δικαιοδοσιών που της έχουν αποδοθεί κατά τη διάρκεια της εγκατάστασής της.
4. **Cell Loss Priority Control (CLP)** Έλεγχος Προτεραιότητας Απολεσθέντων Κελιών. Το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να απορρίψει κάποια κελιά, χαμηλής προτεραιότητας, με σκοπό, για παράδειγμα, την αποφυγή συμφόρησης.
5. **Network Resource Management (NRM)** Διαχείριση Πόρων Δικτύου. Διαχειρίζεται τις συνδέσεις σύμφωνα με τις εκάστοτε υπηρεσίες.

Δυο από τις παραπάνω διαδικασίες υλοποιούνται από το δίκτυο για αυτό το λόγο θα αναλυθούν περισσότερο παρακάτω. Οι υπόλοιπες, που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο έχουν άμεση σχέση με την κατηγορία υπηρεσίας.

1. **Connection Admission Control (CAC)** Έλεγχος Αποδοχής Σύνδεσης. Καθορίζεται ως το σύνολο των ενεργειών που πραγματοποιούνται από το ίδιο το δίκτυο κατά την διάρκεια εγκατάστασης μιας σύνδεσης ή σε περιπτώσεις που ξαναγίνονται ρυθμίσεις της σύνδεσης και καθορίζει αν μια κλήση σύνδεσης μπορεί να γίνει αποδεκτή ή πρέπει να απορριφτεί.
2. **Usage Parameter Control (UPC)** Έλεγχος Παραμέτρων Χρήσης. Αποτελεί το σύνολο των ενεργειών στις οποίες προβαίνει ένα δίκτυο για να γίνει καταγραφή και έλεγχος της κίνησης που προσφέρεται, ενώ παράλληλα εξετάζει την αξιοπιστία του ATM δικτύου στην UNI. Αποτελεί αναγκαιότητα για οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πολλαπλές υπηρεσίες. Ο κύριος σκοπός του UPC είναι να προστατεύει τους πόρους του δικτύου από κακόβουλες αλλά και ακούσιες επιθέσεις που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα υπηρεσιών άλλων συνδέσεων ήδη εγκατεστημένων. Στοιχεία του είναι ένα σύνολο αλγορίθμων που εκτελούνται στους μεταγωγείς. Παραβιάσεις των προσυμφωνημένων παραμέτρων ανιχνεύονται και κατάλληλες ενέργειες λαμβάνουν χώρα (π.χ. απόρριψη). [11]

2.9 ATM Διαχείριση Δικτύου

Ο βασικός στόχος της διαχείρισης του ATM δικτύου είναι, να παρέχει διασφαλισμένη ποιότητα υπηρεσιών αλλά και καλό καταμερισμό στην εκμετάλλευση των πόρων του

δικτύου. Η διαχείριση δικτύου και οι διάφορες λειτουργίες της μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες , σύμφωνα με τις χρονικές απαιτήσεις.

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν έλεγχοι που γίνονται σε πραγματικό χρόνο και αφορούν το επίπεδο των κόμβων (Nodal Level Controls). Αυτοί υλοποιούνται σε hardware και περιλαμβάνουν αλγόριθμους με βάση τα βάρη μαζί με ελέγχους ρυθμών κίνησης, που παρέχουν διαμόρφωση (κίνησης) και επιτήρηση. Η κατάλληλη σχεδίαση όσον αφορά την αρχιτεκτονική των Buffers στους Switch και η χωρητικότητα που τους αποδίδεται είναι κρίσιμη για την σωστή και αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου.
2. Έλεγχοι που πραγματοποιούνται σε «σχεδόν» πραγματικό χρόνο και γίνονται στο επίπεδο δικτύου (Network Level) συνήθως υλοποιούνται με λογισμικό αλλά όχι πάντα, περιλαμβάνουν έλεγχο αποδοχής σύνδεσης (Connection Admission Control - CAC) για νέες συνδέσεις, δρομολόγηση δικτύου, και συστήματα επαναδρομολόγησης. Αποτελούν τον κεντρικό πυρήνα έλεγχου και διαχείρισης του δικτύου.
3. Ελέγχους που πραγματοποιούνται σε μη πραγματικό χρόνο και υποστηρίζουν κυρίως την συλλογή δεδομένων. [10]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Σύγκριση Τεχνολογιών με το ATM

Είναι σημαντικό να γίνει σύγκριση της ATM τεχνολογίας, με τις ήδη υπάρχουσες, για να διαπιστωθεί που το ATM υπερτερεί σαν τεχνολογία και που υστερεί. Με αυτόν τον τρόπο κάποιος μπορεί να αξιολογήσει την χρησιμότητά της.

3.1.1 Direct Cabling (Απευθείας Καλωδίωση) σε σχέση με το ATM

Η μέθοδος αυτή είναι υλοποιήσιμη μόνο στις περιπτώσεις που έχουμε συσκευές που βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται η εξασθένηση του σήματος όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, χωρίς κάποια συσκευή όπως ένας switch που ενισχύει το σήμα, δεν είναι δυνατή η επικοινωνία. Συνεπώς, ένα τέτοιο είδος δεν συγκρίνεται με το ATM λόγω των μικρών δυνατοτήτων του και αποτελεί ικανοποιητική λύση μόνο για πολύ μικρές επιχειρήσεις ή για οικιακές λύσεις.[2]

3.1.2 Μισθωμένες γραμμές σε σχέση με το ATM

Οι μισθωμένες γραμμές χρησιμοποιούνται συνήθως από εταιρίες τηλεπικοινωνιών για σύνδεση δυο σταθερών σημείων τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες. Προσφέρουν μια μισθωμένη γραμμή για αδιάλειπτη επικοινωνία. Παλαιότερα γινόταν χρήση αναλογικών γραμμών που μισθώνονταν με βάση το εύρος ζώνης τους. Σήμερα οι μισθωμένες γραμμές είναι ψηφιακές και βασίζονται στο TDM. Η χωρητικότητα αυτού του καναλιού εκφράζεται με βάση τον ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας εκφρασμένο σε bits/sec.

Η ασφάλεια αυτών των τύπων δικτύων είναι σχετικά μεγάλη, γι' αυτό προτιμούνται σε περιπτώσεις που εμπιστευτικές πληροφορίες ανταλλάσσονται μεταξύ δυο ιστοσελίδων (sites). Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει προστασία από hackers που στο διαδίκτυο δρουν ανενόχλητοι. Η χρήση του ATM προσφέρει τα ίδια πλεονεκτήματα αλλά έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος. Από την άλλη με το ATM μπορούμε να δεσμεύσουμε bandwidth π.χ. για τηλεδιάσκεψη ενώ συγχρόνως εκτελείται μια άλλη λειτουργία πάνω από την ίδια γραμμή, στην οποία θέτουμε μεγαλύτερη προτεραιότητα. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που το ATM υπερτερεί αισθητά, όσον αφορά την χρήση του, σε περιπτώσεις που κατά την μετάδοση ζητούμενο είναι πολλά να εξυπηρετηθούν πολλά διαφορετικά είδη υπηρεσιών όπως η τηλεσυνδιάσκεψη, η μεταφορά αρχείων κ.τ.λ. [2]

3.1.3 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων X.25 σε σχέση με το ATM

Το X.25 ήταν το πρώτο παγκόσμιο σύστημα που συνέδεε όλους τους τύπους των δικτυακών συσκευών σε ένα κοινό δίκτυο μεταγωγής δεδομένων. Αναπτύχθηκε το 1970 όταν η ταχύτητα των συσκευών επικοινωνίας ήταν πολύ χαμηλή. Για αυτήν την ταχύτητα τα πακέτα X.25 διαθέτουν μεγάλη ανοχή ακόμα και σε πολλαπλά λάθη των γραμμών μετάδοσης. Το πρόβλημα είναι το κόστος για αυτή την ανοχή στα λάθη και η ανικανότητα εκμετάλλευσης των γραμμών μεταφοράς.

Έτσι, οι μέγιστες ταχύτητες που μπορούν να μεταδώσουν και να λάβουν τα X.25 δίκτυα περιορίζονται στα 64 Kbits/sec. Για αυτές τις ταχύτητες όμως στις περισσότερες περιπτώσεις προτιμούνται άλλες μέθοδοι. Παρόλα αυτά το X.25 παραμένει ενεργό κυρίως λόγω της ικανότητάς του για διασύνδεση συσκευών όλων των κατασκευαστών αλλά και λόγω της θέσης που κατείχε τόσα χρόνια στην αγορά. Επίσης, αποτελεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιλέγεται σε περιπτώσεις που ζητούμενο είναι η μέγιστη ασφάλεια, ενώ η ταχύτητα και η εκμετάλλευση της γραμμής παίζει δευτερεύοντα ρόλο. Το ATM μπορεί να το αντικαταστήσει, με την επισήμανση ότι δεν δίνει τόση μεγάλη έμφαση στη διόρθωση των λαθών (αν και στο ενσύρματο ATM το BER είναι περίπου της τάξεως του 10^{-9}) όσο στην υποστήριξη διαφορετικών υπηρεσιών με προκαθορισμένη ποιότητα και σε υψηλές ταχύτητες μετάδοσης.[2]

3.1.4 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων Frame Relay σε σχέση με το ATM

Η τεχνολογία Frame Relay έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το X.25 και δημιουργήθηκε από την ανάγκη να αρθούν οι δυσκολίες του X.25. Χρησιμοποιείται ως μέσο επικοινωνίας, κυρίως από εταιρείες που συνεργάζονται. Επιλέγεται, επίσης, μεταξύ τοπικών δικτύων και έχει σχετικά λογικό κόστος υλοποίησης [11]. Ο έλεγχος για λάθη και η διόρθωσή τους αφαιρέθηκε από τις ενδιάμεσες δικτυακές συσκευές και γίνεται μόνο στα άκρα επικοινωνίας. Το Frame Relay χειρίζεται συνδέσεις ταχύτητας από 64 Kbits/sec έως 2Mbits/sec. Το πλαίσιο (frame) έχει μειωθεί σαν μέγεθος αφού έχουν ελαττωθεί τα bytes έλεγχου λαθών στην επικεφαλίδα και κατά συνέπεια έχει αυξηθεί η αποδοτικότητα και η επάρκεια της γραμμής. Το κύριο μειονέκτημα του είναι ότι δεν είναι ικανό να υποστηρίξει τις ταχύτητες που προσφέρει το ATM. Ειδικά αυτές που απαιτούν το delay jitter διατηρημένο σε χαμηλά επίπεδα. Επίσης, δεν είναι κατάλληλο για κίνηση που είναι ευαίσθητη όσον αφορά τα χρονικά περιθώρια (time sensitive traffic). Ακόμα μπορεί να στηρίξει μόνο point to point συνδέσεις. Τέλος, δεν προσφέρει την ποιότητα υπηρεσιών που προσφέρει το ATM. Έτσι, η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη για ταχύτητες της τάξεως των 2Mbits/sec. [2].

3.1.5 FDDI (Fiber Distributed Data Interface) σε σχέση με το ATM

Είναι μια τεχνολογία που βρίσκει εφαρμογές σε περιβάλλοντα γραφείου ή εταιρειών. Συνήθως, ενώνει τοπικά δίκτυα μεταξύ τους με οπτικές ίνες. Χρησιμοποιεί οπτικές ίνες και υποστηρίζει ταχύτητες της τάξεως των 10 Mbits/sec. Μπορεί να μεταφέρει εκτός από δεδομένα και εικόνα καθώς και ήχο (φωνή) και έτσι υπερτερεί σε σχέση με τις προαναφερόμενες τεχνολογίες. Η ταχύτητα όμως που προσφέρει υστερεί σε σχέση με αυτές που παρέχει το ATM, δηλαδή τα 34 ή τα 155 Mbits/sec. Επίσης, το ATM υποστηρίζει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών από ότι το FDDI [2].

3.1.6 PSTN (Public Switched Telephone Network) σε σχέση με το ATM

Το γνωστό σε όλους μας τηλεφωνικό δίκτυο αποτελεί μια τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος η οποία εξυπηρετεί πάρα πολύ καλά το σκοπό της δηλαδή την μετάδοση φωνής. Το κύριο μειονέκτημά της είναι ότι δεν εκμεταλλεύεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης, όπως το χρονικό διάστημα κατά το οποίο υπάρχει σιγή μεταξύ δυο συνομιλητών

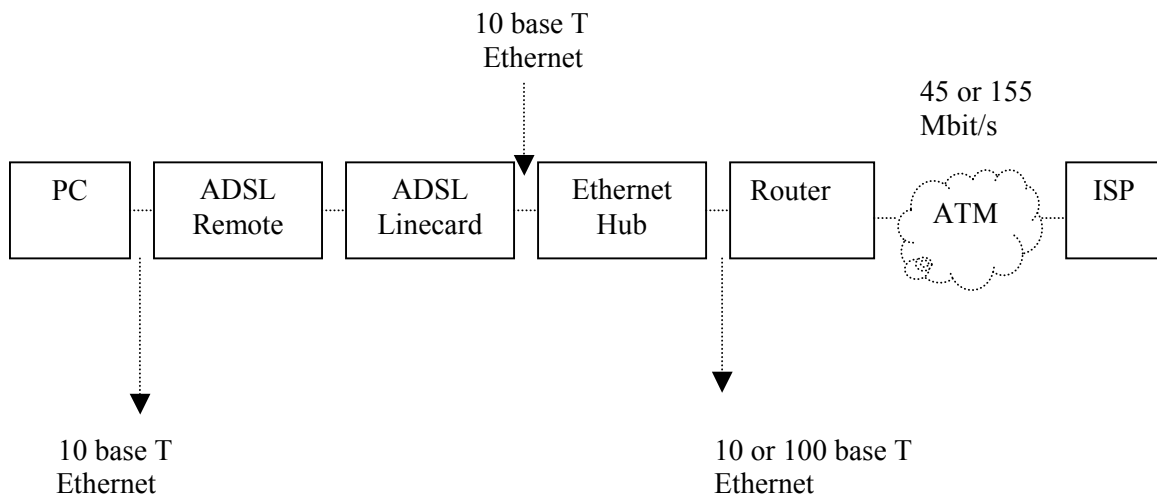
στον οποίο θα μπορούσαν να αποσταλούν άλλα σήματα. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι οι μεταβολές στην καθυστέρηση του σήματος jitter delay variation είναι ελάχιστες σε σχέση με το ATM το οποίο από την άλλη προσφέρει συμπίεση φωνής και εκμετάλλευση των περιόδων σιγής σε μια τηλεφωνική συνομιλία.[2]

3.1.7 ISDN (Integrated Services Digital Network) σε σχέση με το ATM

Το ISDN είναι μια τεχνολογία που είναι καθιερωμένη για αυτούς που αναζητούν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης πληροφοριών. Παρέχει τις δυνατότητες ενός PSTN καθώς και αναγνώριση κακόβουλης κλήσης, συνδιάσκεψη, πολλαπλή αριθμοδότηση, αναγνώριση καλούντος κ.α. Ακόμα, προσφέρει ταχύτητες σταθερές δηλαδή ή 64 Kbits/sec ή 128 Kbits/sec. Με το ISDN μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στο διαδίκτυο αλλά και να διεξάγουμε μια τηλεφωνική συνομιλία ταυτόχρονα. Συνεπώς, για κάποιες εφαρμογές αυτή η μέθοδος αποδίδει ενώ για κάποιες άλλες όπως η μετάδοση εικόνας, η προσφερόμενη χωρητικότητα είναι ανεπαρκής. Το ATM δεν έχει τέτοια προβλήματα προσφέρει αρκετή χωρητικότητα ακόμα και για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο ενώ ταυτόχρονα μπορεί να πραγματοποιήσει συνδέσεις με διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.[2]

3.1.8 DSL (Digital Subscriber Line) σε σχέση με το ATM

Η τεχνολογία αυτή έχει πλέον αρκετά διαφημιστεί και στον Ελλαδικό χώρο κυρίως για τις ταχύτητες που προσφέρει σε σχέση με το ISDN αλλά και λόγω του ότι είναι αρκετά προσιτή όσον αφορά την τιμή της. Στην τεχνολογία αυτή τα δεδομένα μεταφέρονται σαν ATM κελιά ή σαν IP πακέτα. Με την χρήση της μπορούμε να έχουμε υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων αλλά ταυτόχρονα να έχουμε και την παραδοσιακή αναλογική τηλεφωνία. Κατηγορίες του DSL είναι το VDSL (Variable) και το ADSL (Asymmetric), το τελευταίο ονομάζεται έτσι από το γεγονός ότι η επικοινωνία μεταξύ του δικτύου και του χρήστη είναι ασύμμετρη. Έτσι 1.5-8 Mbits/sec μπορούν να επιτευχθούν από την μεριά του δικτύου προς τον χρήστη. Ενώ, από την πλευρά του χρήστη προς το δίκτυο ταχύτητες της τάξεως του 128-512 Kbits/sec είναι εφικτές. Αυτό είναι επιθυμητό γιατί έτσι έχουμε καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης και αυτό γιατί έχει παρατηρηθεί ότι ο χρήστης δέχεται από το δίκτυο περισσότερη πληροφορία από αυτή που στέλνει. Με την βοήθεια του ADSL μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στο διαδίκτυο, εκμάθηση από απόσταση, μετάδοση τηλεόρασης, video on demand. Πάντως και το ADSL στηρίζεται στο ATM (παρακάτω ακολουθεί το σχήμα 3.1 που το καταδεικνύει). Το DSL είναι μια καλή λύση για αυτούς που δεν θέλουν ή δεν μπορούν να καταργήσουν τα χάλκινα καλώδια, γιατί τους παρέχει υψηλές ταχύτητες και την δυνατότητα υλοποίησης πολλών εφαρμογών όπως προαναφέραμε. Πάντως, παρόλα τα πλεονεκτήματά του, που δείχνουν ότι θα επικρατήσει την δεκαετία που διανύουμε, δεν παρέχει την ποιότητα υπηρεσιών και τις ταχύτητες που παρέχει το ATM. Υπερτερεί όμως κατά πολύ αν συγκριθεί από την άποψη κόστους.[19]



Σχήμα 3.1 Μετάδοση δεδομένων σε ένα DSL δίκτυο.[19]

	Ασφάλεια	Ταχύτητα	Προσφερόμενες Υπηρεσίες	Εκμετάλλευση BW	Κόστος
Direct Cabling	***	*	**	*	*
Leased Lines	****	**	**	**	***
X.25	*****	**	**	**	****
Frame Relay	***	***	***	***	***
FDDI	****	****	***	***	****
PSTN	*	*	*	*	*
ISDN	**	***	****	***	**
ADSL	***	****	*****	****	**
ATM	*****	*****	*****	*****	*****

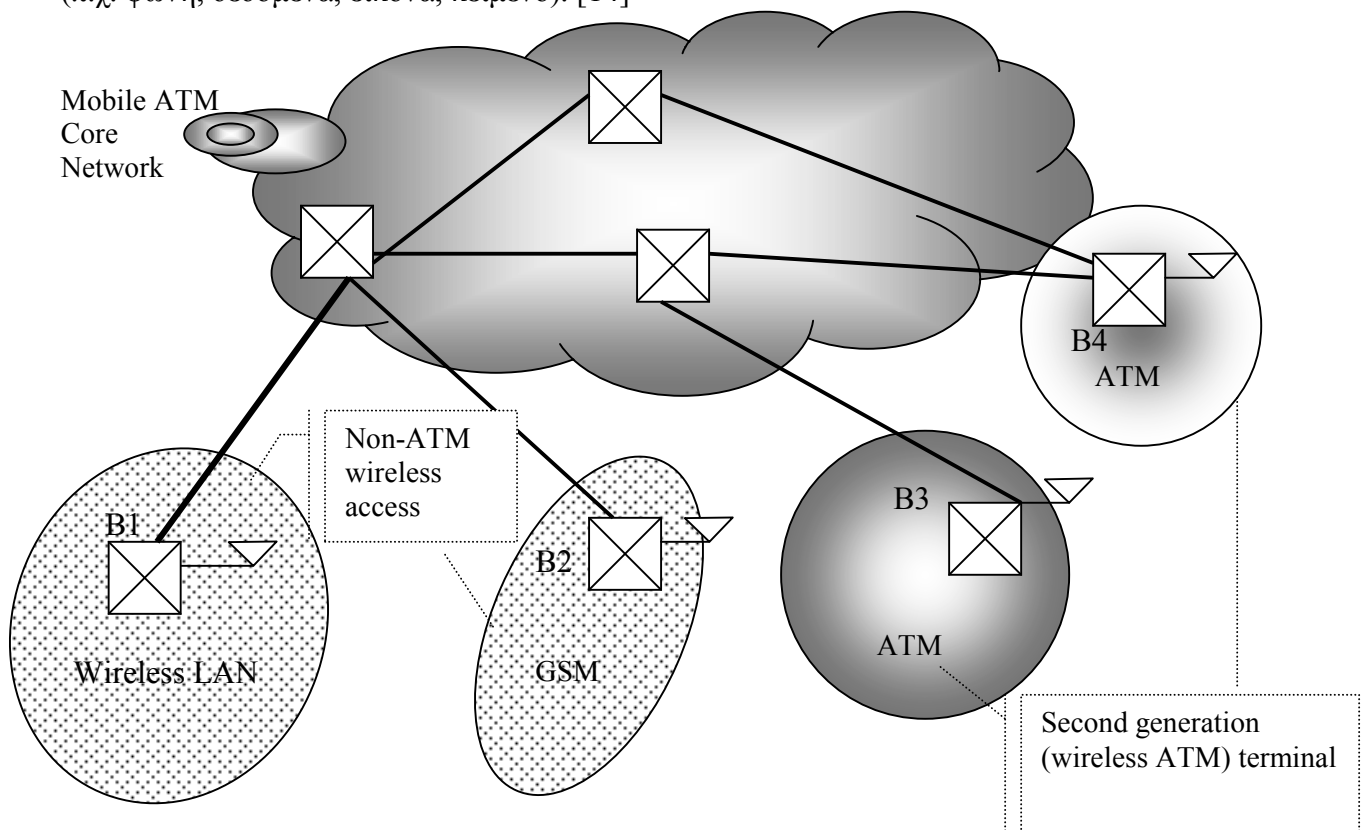
Πίνακας 3.1 Στο παραπάνω πίνακα γίνεται μια σύγκριση των τεχνολογιών όσον αφορά την ασφάλεια, την ταχύτητα, τις προσφερόμενες υπηρεσίες, την εκμετάλλευση του εύρους ζώνης και το κόστος. Όσα περισσότερα αστέρια έχει ένα πρωτόκολλο τόσο καλύτερο είναι, όσον αφορά τις τέσσερις πρώτες στήλες στις οποίες γίνεται η σύγκριση. Στην τελευταία, όσο μεγαλώνει το κόστος τόσο περισσότερα άστρα έχει το υπό εφαρμογή πρωτόκολλο.[2][19]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ασύρματο ATM – Wireless ATM

4.1 Εισαγωγή στο Ασύρματο ATM

Από τις αρχές της δεκαετίας του '80 έχουμε παρακολουθήσει ταινίες στις οποίες γίνεται χρήση κινητού εξοπλισμού για την επίτευξη επικοινωνίας και ανταλλαγής υπηρεσιών πολυμέσων με τη βοήθεια μικρών συσκευών. Στις μέρες μας λόγω της ύπαρξης των δικτύων υψηλών ταχυτήτων και της εξέλιξης που πραγματοποιήθηκε στις κινητές επικοινωνίες, τα οράματα του παρελθόντος γίνονται πραγματικότητα για όλους μας. Η διάκριση μεταξύ τηλεφωνίας και μεταφοράς δεδομένων έχει σταδιακά εκλείψει, καθώς οι επικοινωνίες γίνονται ενιαίες για έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών τύπων δεδομένων (π.χ. φωνή, δεδομένα, εικόνα, κείμενο). [14]



Σχήμα 4.1 Παράδειγμα ασύρματου ATM δικτύου.

Στο σχήμα 4.1 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός ασύρματου ATM δικτύου. Σαν B1, B2, B3, B4 συμβολίζονται οι σταθμοί βάσης (Base Station) ενώ τα στοιχεία που βρίσκονται μέσα στο σύννεφο είναι οι μεταγωγείς (Switch). Το δίκτυο εντός του σύννεφου συμβολίζει τον πυρήνα του ασύρματου ATM δικτύου. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι κινητές μονάδες επικοινωνούν μόνο με τους σταθμούς βάσης που εξυπηρετούν ένα κελί. Στο σχήμα επίσης φαίνεται ότι το ασύρματο ATM δίκτυο επικοινωνεί με άλλα ασύρματα δίκτυα όπως το GSM και άλλα είδη ασύρματων τοπικών δικτύων. Ακόμα, συνδέεται με ασύρματα ATM δίκτυα δεύτερης γενεάς.[13]

Δύο είναι οι μεγαλύτερες τάσεις στις τηλεπικοινωνίες στην εποχή μας, τα Broadband High Speed Networks (broadband multimedia) και τα Wireless Networks. Έτσι ο νέος στόχος είναι τα Broadband Wireless Networks, τα οποία θα υποστηρίξουν multimedia

εφαρμογές, που θα «τρέχουν» σε διαφορετικά τερματικά και διαφορετικά περιβάλλοντα. Παρ' όλο που τεχνολογίες σαν τα ενσύρματα ATM υποστηρίζουν διαφορετικές ποιότητες υπηρεσιών, σήμερα τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα (π.χ. GSM) και wireless LAN (π.χ. Hiperlan1-**H**igh **P**erformance **R**adio **L**ocal **A**rea **N**etwork, IEEE 802.11) εξυπηρετούν μία (κυρίως) μορφή υπηρεσίας και έτσι δεν ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις. Επίσης, ακόμα και επεκτάσεις αυτών, όπως το GPRS που προήλθε από το GSM και είναι ικανό να υποστηρίξει υψηλές ταχύτητες της τάξεως των εκατοντάδων kilo-bytes, δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις για Broadband υπηρεσίες (δηλαδή για περισσότερο από 2 Mbits/sec) [5]. Σε αντίθεση, τα ανερχόμενα ασύρματα τοπικά δίκτυα θεωρούνται υποψήφιες τεχνολογίες για την συνένωση των ασύρματων περιβαλλόντων.

4.2 Πρότυπα Ασύρματης Τοπικής Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης

Για την επίτευξη της ασύρματης επικοινωνίας χρειάζεται η προσθήκη κάποιων νέων πρωτοκόλλων στα ήδη υπάρχοντα, που υποστηρίζουν την ενσύρματη ATM τεχνολογία. Για παράδειγμα, νέα πρωτόκολλα απαιτούνται για το φυσικό στρώμα, αφού το μέσο μετάδοσης διαφέρει. Έτσι, πρέπει να οριστούν ασύρματα κανάλια μεταξύ των κινητών τερματικών και των σταθμών βάσης. Επίσης, είναι σημαντική η δημιουργία ενός νέου MAC πρωτοκόλλου, που να δίνει την δυνατότητα για ταυτόχρονη χρήση των ασύρματων καναλιών από τα κινητά τερματικά. Αλλαγές είναι αναγκαίες και στο DLC (**D**ata **L**ink **C**ontrol) /LLC (**L**ogical **L**ink **C**ontrol) στρώμα για να πραγματοποιηθεί, η εύρεση των λαθών που μπορούν να συμβούν κατά την διάρκεια μετάδοσης στο ασύρματο κανάλι και ταυτόχρονα, να καθίσταται δυνατή η διατήρηση της ποιότητας υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Τέλος, επιβάλλεται ο ασύρματος έλεγχος για την υποστήριξη της διαχείρισης πόρων καθώς και της διαχείρισης της κινητικότητας στο φυσικό, στο MAC και στο DLC/LLC στρώμα.

Δύο οργανισμοί ασχολούνται με την υποστήριξη αυτής της τεχνολογίας: το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων ETSI (European Telecommunication Standards Institute) και το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ETSI BRAN (**B**roadband **R**adio **A**ccess **N**etwork) έχει σαν σκοπό την ανάπτυξη προτύπων για την διασύνδεση IP και ATM ασύρματων δικτύων ευρείας ζώνης. Συστήματα όπως το HIPERACCESS και το HIPERLAN λαμβάνονται υπ' όψη. Απ' την άλλη το IEEE έχει κι αυτό αναπτύξει νέα συστήματα ευρείας ζώνης όπως το 802.11.

Το 802.11 θεωρεί ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των 2 Mbps. Ορίζει δύο τοπολογίες δικτύων: αυτήν που βασίζεται σε κάποιας μορφής υποδομή (infrastructure based) και την αυτόνομη (ad-hoc) τοπολογία. Η πρώτη, θεωρεί ότι υπάρχει ένα σημείο πρόσβασης, μέσω του οποίου οι κινητοί χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν με το βασικό δίκτυο, ενώ η δεύτερη θεωρεί, ότι οι κινητοί χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να χρησιμοποιούν το βασικό ενσύρματο δίκτυο. Το ATM, φυσικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα και για τις δύο (τοπολογίες δικτύων).

Το ETSI έχει καθορίσει μια οικογένεια από HIPERLAN πρότυπα, που όλα μαζί υποστηρίζουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Μια περίληψη αυτών δίνεται παρακάτω.

1. *HIPERLAN Τύπος 1*: Παρέχει τη δυνατότητα υψηλών ταχυτήτων (20 Mb/sec) για ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα οποία είναι συμβατά με ενσύρματα LAN, που βασίζονται στο Ethernet. Λειτουργεί στα 5.2 GHz.
2. *HIPERLAN Τύπος 2*: Παρέχει τη δυνατότητα ταχυτήτων της τάξεως των 25 Mb/sec, καθώς και ασύρματη πρόσβαση σε IP, ATM και UMTS (Universal Mobile Telecommunication Service) δίκτυα. Λειτουργεί στα 5.2 GHz αλλά και

σε άλλες συχνότητες γύρω από τα 5 GHz, έτσι ώστε να κάνει εφικτή τόσο την εσωτερική όσο και την εξωτερική (μικρής κλίμακας) χρήση.

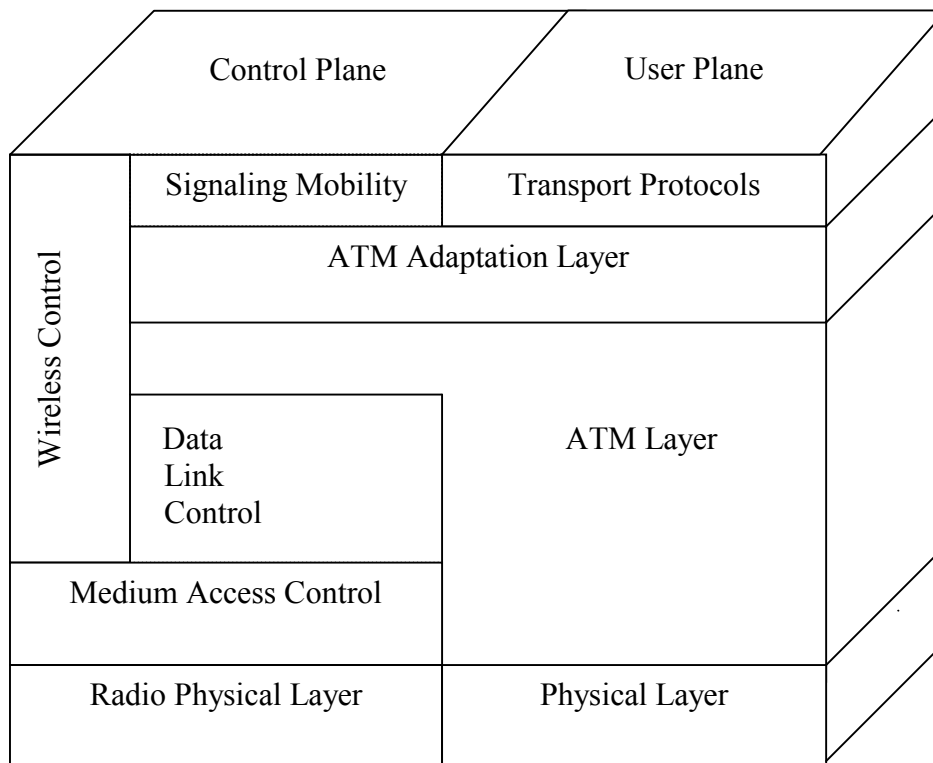
3. *HIPERACCESS*: Προσφέρει εξωτερική ασύρματη πρόσβαση και έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει εφαρμογές πολυμέσων. Παρέχει τη δυνατότητα ταχυτήτων, της τάξεως των 25 Mb/sec.
4. *HIPERLINK*: Προσφέρει πάρα πολύ υψηλές ταχύτητες, της τάξεως των 155 Mb/sec. Λειτουργεί στην κεντρική συχνότητα των 17 GHz. Αποτελεί την καλύτερη επιλογή για εφαρμογές πολυμέσων.

4.3 Ασύρματο ATM Κελί

Η αρχιτεκτονική που προτάθηκε από τους περισσότερους ερευνητές συντίθεται από κελιά που ονομάζονται picocells ή microcells και αυτό γιατί το μέγεθός τους σε σχέση με το κλασικό ATM είναι πολύ μικρό. Έτσι, προτάθηκε το ωφέλιμο φορτίο να υποστεί συμπίεση ώστε να γίνει 16 ή 24 bytes ενώ η επικεφαλίδα να αποτελείται από 2 bytes. Η ελάττωση αυτή του μεγέθους (των κελιών) έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένη εξασθένιση, διευκόλυνση της διαδικασίας του handover, αύξηση της ευελιξίας του δικτύου καθώς και ελαχιστοποίηση του προβλήματος ανεπαρκούς εύρους ζώνης. [14]

4.4 Ασύρματο ATM Πρωτόκολλο

Το πρωτόκολλο, το οποίο προτάθηκε από το ATM Forum απεικονίζεται στο σχήμα.4.2.



Σχήμα 4.2 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου ασύρματου ATM.

Το πρωτόκολλο συνίσταται από δύο βασικά τμήματα, την διαχείριση κινητικότητας στο ATM (mobile ATM management layer) και το Στρώμα Ασύρματης Πρόσβασης (**Radio Access Layer**) :

1) Το πρώτο επιτελεί διάφορες λειτουργίες για να υποστηρίξει την κινητικότητα του χρήστη και να διατηρήσει μια ενεργή σύνδεση κατά τη διάρκεια της κίνησης του τερματικού μέσα στο δίκτυο. Αυτές είναι η δρομολόγηση, ο έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών, η μεταγωγή (handover) και ο εντοπισμός θέσεως (location management).

- **Μεταγωγή (Handover):** είναι μία απαραίτητη λειτουργία που μας δίνει τη δυνατότητα της μετακίνησης του εξοπλισμού μας διατηρώντας παράλληλα την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών. Επιτυγχάνεται με σηματοδότηση και έλεγχο που γίνεται στο επίπεδο του δικτύου ενώ πραγματοποιεί επαναδρομολόγηση των μονοπατιών των δεδομένων από τη μία θύρα στην άλλη. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ σημαντική σε ένα ασύρματο δίκτυο, γιατί η αλλαγή της θέσεως π.χ. του τερματικού δεν θα πρέπει να προκαλεί αλλαγές στην παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών, στην κίνηση του δικτύου, να μην γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη (δηλαδή, να πραγματοποιείται με διαφανή ως προς τον χρήστη τρόπο), ενώ είναι αναγκαίο να συντελείται με τις λιγότερες (έως μηδενικές) απώλειες όσον αφορά τα κελιά. Βασικό ρόλο σ' αυτή τη διαδικασία παίζει η σωστή επιλογή των μεταγωγέων. Ανάμεσα στους μεταγωγείς και τους χρήστες γίνεται η «διαπραγμάτευση» των παραμέτρων της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών. Υπάρχουν διάφορες κλάσεις Handover οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Hard Handover	Το ασύρματο κινητό τερματικό έχει μια ασύρματη σύνδεση μόνο με ένα σημείο πρόσβασης κάθε χρονική στιγμή.
Soft Handover	Υποστηρίζει ταυτόχρονη επικοινωνία ενός κινητού ασύρματου τερματικού με περισσότερα από ένα σημεία πρόσβασης κατά τη διάρκεια του Handover.
Backward Handover	Είναι η διαδικασία κατά την οποία το ασύρματο (κινητό) τερματικό παρατηρεί, για παράδειγμα, ένα εξασθενημένο σήμα και ξανά-πραγματοποιεί Handover με ένα νέο σημείο πρόσβασης. Το τερματικό συνεχίζει να διατηρεί το radio link κατά τη διάρκεια που το Handover πραγματοποιείται, ενώ μετάγεται σε ένα νέο σημείο πρόσβασης, αφού όλοι οι πόροι και όλες οι οντότητες που συμμετάσχουν, είναι προετοιμασμένοι για το Handover. Έτσι η εκτέλεση του Handover μπορεί να ξεκινήσει μέσω του παλιού σημείου πρόσβασης.
Forward Handover	Είναι το Handover που συμβαίνει, όταν ξαφνικά ένα τερματικό προσεγγίζει ένα νέο σημείο πρόσβασης. Το Handover μπορεί να αρχίσει μόνο αφού το τερματικό έχει γνωστοποιήσει την άφιξή του στο σημείο πρόσβασης. Αυτό συμβαίνει όταν το τερματικό ξαφνικά χάνει τη σύνδεση με το παλιό σημείο πρόσβασης (μπορεί να συμβεί λόγω γρήγορης μετακίνησης ή παρεμβολής) και έτσι δεν είναι ικανό να διεκπεραιώσει Backward Handover.

Πίνακας 4.1 Κλάσεις Handover

Αυτοί οι τύποι Handover μπορούν να επιλεγούν με βάση τις επικρατούσες συνθήκες του μέσου, τις απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών, αποδοτικότητα και ανθεκτικότητα. Ίσως ο πιο σημαντικός τύπος Handover είναι ο Backward Handover γιατί δίνει τη δυνατότητα στο τερματικό να διαλέξει το καλύτερο σημείο πρόσβασης για να συνδεθεί. Υπάρχουν, βέβαια, νέες προτάσεις που θα μπορέσουν να υποστηρίξουν μια μίξη του Backward και του Forward Handover. Είναι ευεργετικό για το δίκτυο να αποδίδει υψηλότερη προτεραιότητα σε ήδη υπάρχουσες συνδέσεις δηλαδή σε αιτήσεις που γίνονται κατά τη διάρκεια ενός Handover, ώστε να διασφαλίζεται ο μη πρόωρος τερματισμός μίας σύνδεσης σε αντίθεση με νέες αιτήσεις σύνδεσης. Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές που δίνουν προτεραιότητες στις αιτήσεις, που διαφέρουν στον αριθμό των «φυλασσόμενων» καναλιών (guard channel) που επιλέγονται από τον κάθε σταθμό βάσης.

Αυτές είναι:

- i. *Fixed Strategy*. Η προκαθορισμένη στρατηγική όπου κάθε σταθμός βάσης αφήνει ένα ποσοστό επί τις εκατό της χωρητικότητάς του για να χειρίζεται Handover αιτήσεις.
 - ii. *Static Strategy*. Η στατική στρατηγική στην οποία ο σταθμός βάσης είναι ενήμερος του ποσοστού των λαμβανόμενων αιτήσεων για κάθε κλάση (με βάση πληροφορίες του παρελθόντος) και ανάλογα καθορίζει το εύρος ζώνης.
 - iii. *Adaptive Resource Allocation Strategy*, κατά την οποία κάθε σταθμός προσαρμόζει δυναμικά τον αριθμό των guard channels με βάση εκτιμήσεις όσον αφορά τον ρυθμό κατά τον οποίο τα κινητά τα οποία βρίσκονται σε γειτονικά κελιά είναι πιθανό να πραγματοποιήσουν Handover στο δικό τους κελί (δηλαδή στο κελί που ανήκει ο σταθμός).
- **Εντοπισμός Θέσεως (Location Management):** Είναι η ικανότητα να καθορίζουμε, όσον αφορά την τοπολογία, την νέα θέση του κινητού χρήστη. Ο εντοπισμός της τοποθεσίας σαν λειτουργία, βοηθάει, στο να βρεθεί το κελί στο οποίο βρίσκεται τη δεδομένη στιγμή ο κινητός χρήστης. Η διαδικασία αυτή είναι εφικτή να γίνει μόνο μετά από την έγγραφη του χρήστη.
Η θέση του τερματικού σε ένα ασύρματο σύστημα είναι πιθανό να αλλάζει συχνά. Το ίδιο θα πρέπει να κάνει ο ταυτοποιητής της θέσεως του τερματικού ώστε να έχουμε την απαραίτητη πρόσβαση σε αυτό. Η διεύθυνση αυτή ονομάζεται routing address και όπως είπαμε αλλάζει με την αλλαγή της θέσεως του χρήστη. Απ' την άλλη ο ταυτοποιητής της συσκευής παραμένει ο ίδιος έτσι ώστε άλλα τερματικά να μπορούν να το αναγνωρίσουν (π.χ. από το όνομά του) ανεξάρτητα από το σημείο του δικτύου στο οποίο αυτό βρίσκεται. Η διεύθυνση αυτή καλείται διεύθυνση τελικού χρήστη (end system address) και δεν αλλάζει ποτέ.
 - **Δρομολόγηση (Routing):** Το ATM από την φύση του αποτελεί μια τεχνική μεταφοράς δεδομένων προσανατολισμένη ως προς την σύνδεση, αυτό σημαίνει ότι απαιτεί τον καθορισμό της (σύνδεσης) πριν αρχίσει καν οποιαδήποτε μεταφορά πληροφορίας. Στο ασύρματο όμως ATM η σύνδεση πρέπει να τροποποιείται (ίσως συνεχώς) για να υποστηρίξει την «διαφάνεια» όσον αφορά την επικοινωνία.

Τα πιο σημαντικά θέματα όσον αφορά τη διαδικασία επαναδρομολόγησης είναι ότι το νέο μονοπάτι που θα επιλεγεί είναι αναγκαίο να αποτελεί το βέλτιστο και δεν θα πρέπει να οδηγεί σε διαρκή κυκλική κίνηση, της αίτησης σύνδεσης, μέσα στο δίκτυο. Ένας σωστός αλγόριθμος δρομολόγησης συντελεί στο να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα κίνησης στο δίκτυο και έχει άμεση σχέση με το QoS που έχει η σύνδεση.

Τα κύρια σχήματα επαναδρομολόγησης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

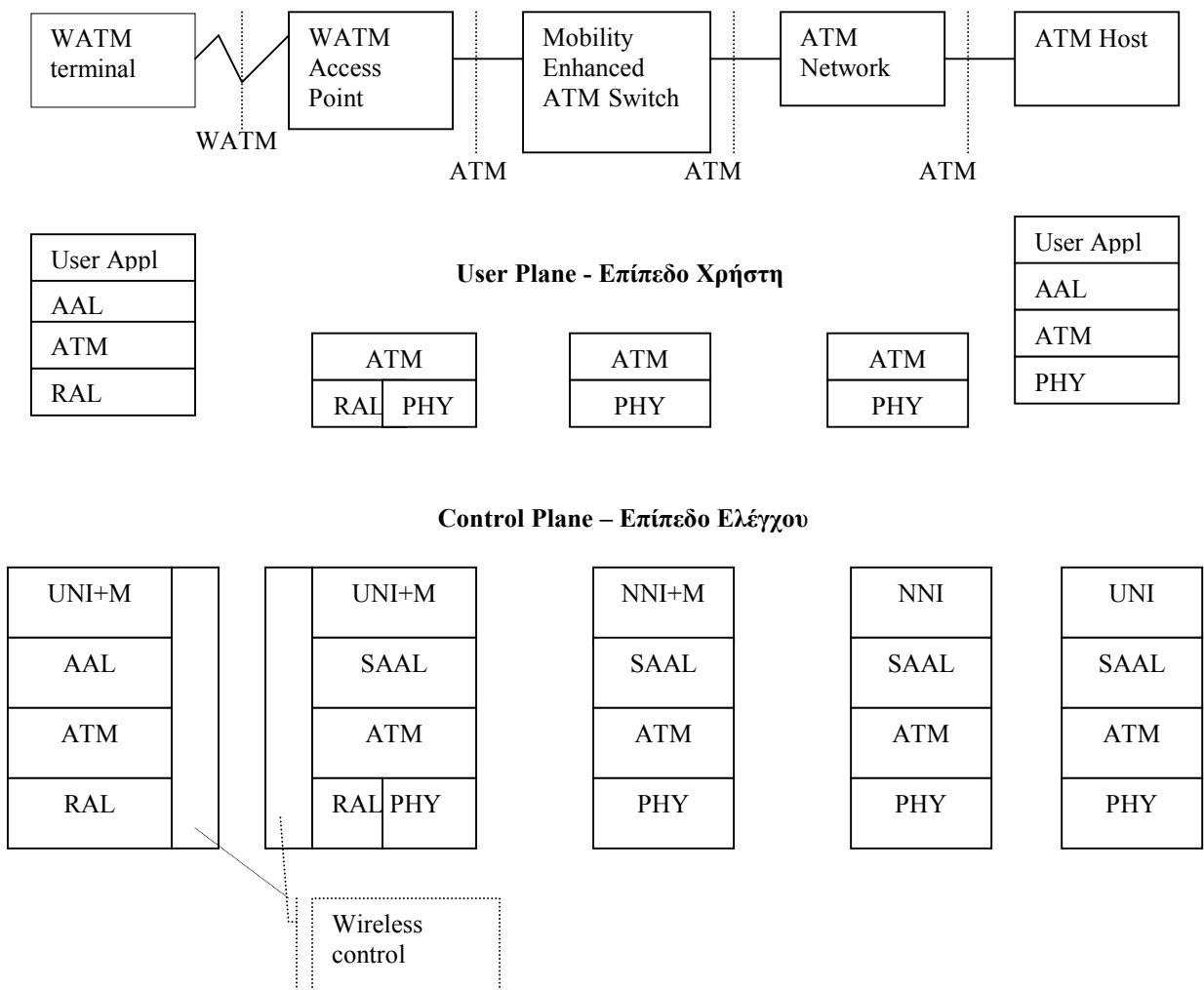
Connection Re-establishment.	Επανακαθορισμός της σύνδεσης. Η νέα σύνδεση που καθορίζεται μετά το γεγονός ότι ο κινούμενος χρήστης έχει αλλάξει θέση.
Connection Extension	Επέκταση της σύνδεσης. Επέκταση της σύνδεσης στη νέα τοποθεσία που ο κινητός χρήστης βρέθηκε.
Anchor Switch Routing	Σταθεροποιημένη δρομολόγηση. Η μέθοδος δρομολόγησης κατά την οποία η διαδρομή παραμένει η ίδια μέχρι τον μεταγωγέα και διαφοροποιείται από τον μεταγωγέα ως τη νέα θέση.
Dynamic Rerouting	Δυναμική επαναδρομολόγηση. Επαναδρομολόγηση της σύνδεσης καθώς ο κινητός χρήστης αλλάζει θέσεις.
Hybrid Schemes	Υβριδική δρομολόγηση. Είναι συνδυασμός κάποιων από τις προαναφερθείσες μεθόδους δρομολόγησης.
Setting Paths In Advance	Ο καθορισμός των μονοπατιών εκ των προτέρων για την επίτευξη επικοινωνίας σε ασύρματα δίκτυα.

Πίνακας 4.2 Κυριότερες κατηγορίες επαναδρομολόγησης που συμβαίνουν κατά την διάρκεια ενός Handover.

2) Το δεύτερο αποτελείται από τέσσερα υπό-στρώματα, που είναι το Ασύρματο Φυσικό Στρώμα (Radio Physical Layer), το MAC, το DLC και τον Ασύρματο Έλεγχο (Wireless Control), τα οποία θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω. Είναι φανερό ότι αυτά τα (υπό)στρώματα είναι αυτά που διαφοροποιούνται σε σχέση με την ενσύρματη ATM αρχιτεκτονική.

Το MAC και το DLC, γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι στόχο έχουν να εμπλουτίσουν την μεταφορική ικανότητα του φυσικού επιπέδου. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται η

αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου που μας δείχνει ποιά επίπεδα συμμετάσχουν στο να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ των δύο πλευρών. Οι παραπάνω συντομογραφίες έχουν την εξής ερμηνεία: UNI+M είναι το UNI, μαζί με επιπλέον πληροφορίες σηματοδοσίας που υποστηρίζουν την κινητικότητα του χρήστη. Το SAAL που αντιπροσωπεύει το **S**ignaling **A**TM **A**daptation **L**ayer, υποστηρίζει την μεταφορά του πρωτοκόλλου σηματοδοσίας και του πρωτοκόλλου που στηρίζει την κινητικότητα. Ενώ το RAL συμβολίζει τα **R**adio **A**ccess **L**ayers, δηλαδή, το Radio Physical Layer, το **M**edium **A**ccess **C**ontrol, το **D**ata **L**ink **C**ontrol και το **W**ireless **C**ontrol **P**rotocol. Το User Plane είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά της πληροφορίας του χρήστη, ενώ το Control Plane είναι υπεύθυνο για την εγκατάσταση και την απελευθέρωση (αποσύνδεση) της σύνδεσης.



Σχήμα 4.3 Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου που μας δείχνει ποιά επίπεδα συμμετάσχουν στο να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ των δύο πλευρών.

4.4.1 Περιγραφή Φυσικού Επιπέδου

Ο καθορισμός των επιθυμητών χαρακτηριστικών που θα πρέπει να έχει το φυσικό στρώμα αφορά: τις συχνότητες, την επαρκή επαναχρησιμοποίησή τους, τον καθορισμό των κεραιών και της ισχύος μετάδοσης, το εύρος εκπομπής, τη συχνότητα φέροντος, το

ρυθμό συμβόλων, τη διαμόρφωση και τη κωδικοποίηση. Σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το BER (**Bit Error Rate**) που δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 10^{-4} .

Οι προτεινόμενες προδιαγραφές για το φυσικό στρώμα παραθέτονται στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί.

	Low Speed Wireless	High Speed Wireless
Frequency Band	5.15-5.35 GHz, 5.725-5.875 GHz	59-64 GHz
Cell Radius	80 m	10-15 m
Transmission Power	100mW	10-20 mW
Frequency Reuse Factor	Up to 12	7
Channel Bandwidth	30 MHz	150/700 MHz
Data Rate	25 Mbit/sec	155/622 Mbit/sec
Modulation	16 tone DPSK (Phase Shift Keying)	32 tone DQPSK

Πίνακας 4.3 Απαιτήσεις για το φυσικό στρώμα.

Υποψήφιες μέθοδοι για τη μετάδοση δεδομένων στο φυσικό μέσο είναι το narrowband TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess), το OFDM (**O**rtogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing) και το spread spectrum CDMA (**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess). Το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης αλλά δεν μπορεί να υποστηρίξει όλες τις υπηρεσίες ευρείας ζώνης. Το CDMA παρέχει ένα εύρος ζώνης δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το TDMA στενής ζώνης, παρέχει πολλαπλή πρόσβαση, ενώ επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.[14] Παρ' όλα αυτά όμως, για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων το PCR έχει μικρή τιμή, γεγονός που, φυσικά, δεν είναι επιθυμητό.

Η τεχνική διαμόρφωσης (των δεδομένων) έχει μεγάλη επίδραση στην επάρκεια φάσματος για ένα ασύρματο ATM σύστημα. [5] Καθώς το φάσμα των συχνοτήτων είναι περιορισμένο σε ένα ασύρματο ATM δίκτυο, στόχος είναι να υπάρχει ικανοποιητική ποιότητα μετάδοσης με τη χρήση του ελάχιστου δυνατού φάσματος.

Η ασύρματη μετάδοση χαρακτηρίζεται από την πολυκαναλική διάδοση τα χαρακτηριστικά της οποίας εξαρτώνται κάθε φορά από το περιβάλλον. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας έχουμε το φαινόμενο της ISI (**I**nter**S**ymbol **I**nterference), δηλαδή της διασυμβολικής παρεμβολής, εάν το απαιτούμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων για μετάδοση, είναι μεγαλύτερο από αυτό που μας παρέχει το ίδιο το κανάλι.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να αντιμετωπίσουμε την διασυμβολική παρεμβολή. Ο πρώτος είναι να διορθώσουμε τις παραμορφώσεις του καναλιού, χρησιμοποιώντας ένα channel equalizer. Ο δεύτερος είναι να υποδιαιρέσουμε τα δεδομένα υπό μετάδοση σε ακολουθίες χαμηλότερου ρυθμού και να τα μεταδώσουμε παράλληλα, σε διαφορετικά φέροντα, που είναι και η αρχή λειτουργίας της μεθόδου OFDM.

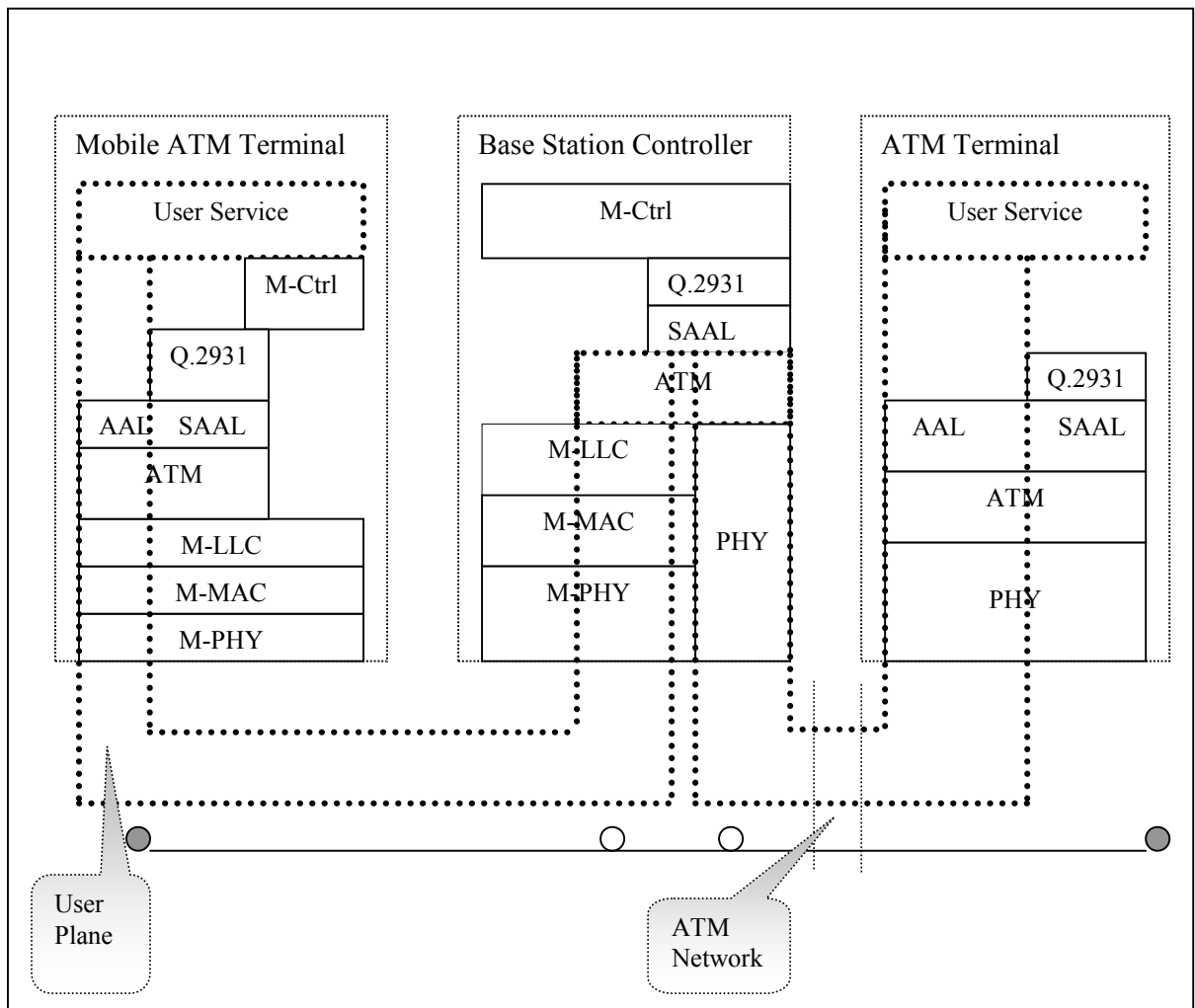
Οι οργανισμοί προτυποποίησης ETSI και IEEE έχουν διαλέξει, για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης, με τα καλύτερα δυνατά χαρακτηριστικά το COFDM (**C**oded **O**rtogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing) σαν μέθοδο μετάδοσης δεδομένων στο φυσικό στρώμα.[5]

Η OFDM τεχνική συνίσταται στο καθορισμό των υπο-καναλιών, ως ορθογωνίων κυματομορφών, κάθε ένα από τα οποία (υπο-κανάλια), μπορεί να διαμορφωθεί με PSK (**P**hase **S**hift **K**eying), με ASK (**A**mplitude **S**hift **K**eying), ή και με μία μορφή διαμόρφωσης που συνδυάζει τις δύο προαναφερόμενες, δηλαδή το QAM (**Q**uadrature **A**mplitude **M**odulation). Η διαμόρφωση μπορεί να είναι σύμφωνη ή ασύμφωνη. Το

Βασικό πλεονέκτημα της OFDM είναι ότι δεν απαιτείται channel equalizer εάν το εύρος ζώνης ενός υπό-καναλιού είναι μικρότερο από αυτό του καναλιού μετάδοσης. Βέβαια η διαίρεση σε περισσότερα υπό-κανάλια έχει επίπτωση στην ευελιξία που διαθέτει το φυσικό στρώμα και αυτό γιατί, όσο αυξάνεται ο αριθμός τους τόσο, το ελάχιστο μέγεθος των πακέτων μεγαλώνει [5]. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο πρέπει να γίνει ένας συμβιβασμός μεταξύ του να διατηρηθεί σε ένα καλό επίπεδο η απόδοση του φυσικού επιπέδου και στο να μειωθεί η διασυμβολική παρεμβολή.

Στο σχήμα 4.4 που ακολουθεί, γίνεται απεικόνιση των επιπέδων που λαμβάνουν μέρος για μια πλήρη επικοινωνία μεταξύ του κινητού ATM τερματικού και του κλασικού ATM δικτύου. Το πεδίο LLC αποτελεί την συντομογραφία του Logical Link Control. Βρίσκεται ανάμεσα στο MAC και στο ATM στρώμα και λύνει προβλήματα που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την ασύρματη μετάδοση.

Το προσθετικό M-Mobility (ή Mobile) μπροστά, δείχνει την υποστήριξη της κινητικότητας του χρήστη από το εκάστοτε στρώμα. Το Q.2931 είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται τυπικά για διαδικασίες σηματοδότησης στο UNI ATM και διεξάγει έλεγχο ροής σε πρωτόκολλα όπως το MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention And Reservation for ATM). Το M-Ctrl λειτουργεί συμπληρωματικά στο Q.2931 και αφορά επιπλέον έλεγχο ροής που είναι απαραίτητος για την υποστήριξη της κινητικότητας του χρήστη.



Σχήμα 4.4 Επικοινωνία μεταξύ κινητού ATM τερματικού και κλασικού ATM δικτύου.

4.4.2 MAC Πρωτόκολλα για Wireless ATM

Το στρώμα MAC (**M**edium **A**ccess **C**ontrol), ονομάστηκε MAC γιατί αναφέρεται στην μέθοδο καθορισμού της συσκευής ή του χρήστη που έχει πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο στόχος οποιουδήποτε MAC πρωτοκόλλου είναι να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί τον αριθμό των μηνυμάτων που μπορούν να μεταδοθούν ανά δευτερόλεπτο, ταυτόχρονα, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο αναμονής του κάθε σταθμού.

Βασικές λειτουργίες του MAC επιπέδου είναι η υποστήριξη της κοινής χρήσης του ραδιοφωνικού καναλιού σε πολλούς χρήστες [14], η διατήρηση της αποδοτικότητας του καναλιού, η υποστήριξη των ATM υπηρεσιών με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας υπηρεσιών και η «διαφάνεια» όσον αφορά τις διάφορες ATM εφαρμογές. Η αποδοτικότητα του MAC μετριέται με πολλούς τρόπους:

1. *Μέση Καθυστέρηση, Mean delay*: Αυτή είναι η μέση καθυστέρηση που ένα πακέτο σε ένα σταθμό θα περιμένει μέχρι να μεταφερθεί επιτυχώς (συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος μετάδοσης). Η καθυστέρηση εξαρτάται από την κίνηση που γεννάται από τους σταθμούς καθώς και από τα χαρακτηριστικά του μέσου.
2. *Κανονικοποιημένη έξοδος, Normalized throughput*: Αυτό το στοιχείο μας δείχνει την ικανότητα ή την χωρητικότητα του συνδέσμου στο να μεταφέρει μη-επαναμεταδιδόμενα πακέτα.
3. *Ευστάθεια, Stability*: Όταν ένας σύνδεσμος που είναι υπερφορτωμένος μπορεί να μεταδώσει όλη την κίνηση που του προσφέρεται. Δηλαδή το MAC έχει σταθερότητα, όταν η έξοδος δεν μειώνεται, όσο αυξάνεται ο φόρτος.
4. *Δικαιοσύνη, Fairness* : Είναι σαφώς αναγκαίο ένα MAC πρωτόκολλο να είναι δίκαιο. Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε σταθμός έχει το δικαίωμα και την δυνατότητα μετάδοσης μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό όριο από την στιγμή που θέλει να επιτελέσει την συγκεκριμένη λειτουργία. [16]

Βέβαια αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να εξισορροπηθούν με την ανάγκη για μειωμένο κόστος υλοποίησης καθώς και την ικανότητα να δουλεύουν σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλόντων.

Τα MAC πρωτόκολλα που υπάρχουν, μπορούν να συγκριθούν με βάση ορισμένα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω:

1. *Σχετική Πολυπλοκότητα του Αλγορίθμου*. Αυτό το χαρακτηριστικό περιγράφει την σχετική πολυπλοκότητα του MAC πρωτοκόλλου και το αν ο αλγόριθμος είναι καταναμημένος ή ιεραρχικός.
Ιεραρχικός σημαίνει ότι ένας κόμβος κρατάει δεδομένα σχετικά με την κατάσταση του δικτύου και κανονίζει την μετάδοση σύμφωνα με αυτά. Από την άλλη στον καταναμημένο όλοι οι ανεξάρτητοι σταθμοί λαμβάνουν υπόψη τους την κατάσταση του δικτύου και οργανώνουν την μετάδοση σύμφωνα με τα στοιχεία που κατέχουν. Ο ιεραρχικός τρόπος απαιτεί λιγότερη μνήμη από τον καταναμημένο, μειονεκτεί όμως σε ότι αφορά την αξιοπιστία του.
2. *Μέγεθος της Θυρίδας*. Όταν μιλάμε για ασύρματα κανάλια πρέπει να έχουμε στο νου μας τον θόρυβο, την παρεμβολή και την εξασθένηση. Είναι χρήσιμο λοιπόν, να έχουμε μικρές θυρίδες για τα κανάλια τυχαίας πρόσβασης έτσι ώστε οι πιθανές συγκρούσεις να μη μειώνουν σημαντικά την «έξοδο».
3. *Δομή Πλαισίου*. Ένα MAC πρωτόκολλο οργανώνει τις μεταδόσεις σε πλαίσια. Ένα πλαίσιο αποτελείται από αρκετές υποθυρίδες που θα μπορούσαν να

αποτελούνται από δεδομένα υπό μετάδοση, από μελλοντικές κρατήσεις, ή από καταχωρήσεις. Εάν το πλαίσιο αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από μεταδόσεις δεδομένων τότε ονομάζεται ομοιογενές, αν χωρίζεται σε δυο ή περισσότερες φάσεις ονομάζεται ετερογενές. Η χρήση του ενός ή του άλλου τύπου (ομοιογενής ή ετερογενής) εξαρτάται από το είδος του περιβάλλοντος για το οποίο το πλαίσιο σχεδιάστηκε.

Γενικά οι δυο επικρατέστερες προτεινόμενες μορφές του MAC πλαισίου είναι οι δειχθείσες στο σχήμα 4.5 και 4.6 [17].

Preamble 16 Bytes	Ctrl 2Bytes	Address 6 Bytes	Hder 4Bytes	Payload 48 Bytes	CRC	GD
----------------------	----------------	--------------------	----------------	---------------------	-----	----

Σχήμα 4.5 MAC πλαίσιο τύπος 1.

MAC Πλαίσιο Τύπος 1: Αυτό το είδος MAC πλαισίου είναι κατάλληλο για τύπους κίνησης όπως η φωνή. Ο συγκεκριμένος τύπος πλαισίου είναι ευαίσθητος στις καθυστερήσεις και έτσι δεν μπορεί να υποστηρίξει μεγάλες καθυστερήσεις που μπορεί να συμβούν κατά την διάρκεια του πακεταρίσματος. Χρησιμοποιείται συχνά για την μετάδοση μηνυμάτων σηματοδότησης.

Preamble 16 Bytes	Ctrl 2Bytes	Address 6 Bytes	Hder 4Bytes	Payload 48 Bytes	Payload 48 Bytes	Payload 48 Bytes	CRC	GD
----------------------	----------------	--------------------	----------------	---------------------	---------------------	---------------------	-----	----

Σχήμα 4.6 MAC πλαίσιο τύπος 2

MAC Πλαίσιο Τύπος 2: Με την χρήση αυτού του τύπου πλαισίου αυξάνεται η εκμετάλλευση του μέσου, στο οποίο λαμβάνει χώρα η μετάδοση και αυτό γιατί χρησιμοποιεί μια μόνο MAC επικεφαλίδα για την μετάδοση περισσότερης ωφέλιμης πληροφορίας.

Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του κάθε πεδίου στο MAC Πλαίσιο:

- Το πεδίο προθέματος (*Preamble*) αποτελείται από δεκαέξι οκτάδες, υπάρχει για λόγους συγχρονισμού, συγκεκριμένα επιτρέπει ένα χρονικό διάστημα στον δέκτη ώστε να συγχρονίσει το ρολόι του, με αυτό του πομπού.
- Το πεδίο ελέγχου (*Control -Ctrl*) μεγέθους δυο οκτάδων, που χρησιμοποιείται για να δηλώνει τον αριθμό των χρονοθυρίδων που θέλει να στείλει το κινητό τερματικό στο επόμενο πλαίσιο, καθώς και τους αριθμούς που υποδεικνύουν τον πομπό και τον δέκτη.
- Το πεδίο διεύθυνσης (*Address*) που αποτελείται από έξι οκτάδες, χρησιμοποιείται για να αναγνωρίσει την διεύθυνση του αντίστοιχου κινητού τερματικού στο MAC στρώμα.
- Το πεδίο επικεφαλίδας (*Header -Hder*) μεγέθους τεσσάρων οκτάδων, που περιλαμβάνει τις διευθύνσεις, αλλά δεν πραγματοποιεί HEC (**H**ead**E**r **E**rr**O**r **C**ontrol)αφού το πεδίο CRC καλύπτει αυτήν την ανάγκη.

- Το πεδίο ωφέλιμου φορτίου (*Payload*) μεγέθους σαράντα οκτώ οκτάδων όπως είναι και στο κλασσικό ATM.
 - Το *CRC* πεδίο που στόχο έχει την ανίχνευση λαθών σε ολόκληρο το πλαίσιο MAC.
 - Το *Guard (Gd)* πεδίο που χρησιμεύει για την προστασία του πλαισίου από τις διάφορες καθυστερήσεις μετάδοσης που μπορεί να συμβούν στο uplink.[17]
4. **Φυσικό Στρώμα (*Physical Layer*)**. Αναφέρεται στο εάν το πρωτόκολλο απομονώνει τα δεδομένα, που αποτελούν τμήμα του uplink ή της κάτω ζεύξης χρησιμοποιώντας, είτε πολυπλεξία συχνότητας FDD (**F**requency **D**ivision **D**uplex) είτε πολυπλεξία χρόνου TDD (**T**ime **D**ivision **D**uplex). [16]
Βασικό χαρακτηριστικό είναι το ότι το FDD απαιτεί δυο διαφορετικές συχνότητες φέροντος ενώ το TDD χρειάζεται μόνο μια και καλύτερο συγχρονισμό.
5. **Υποστήριξη ελέγχου λαθών**. Μια ασύρματη σύνδεση είναι πιθανό να επηρεαστεί από φαινόμενα όπως συγκαταληκτική παρεμβολή ή εξασθένηση, για αυτό το λόγο, πρέπει το πρωτόκολλο να υποστηρίζει έλεγχο λαθών.
6. **Επικεφαλίδες Ελέγχου**. Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο τι ποσοστό μεταφέρει χρήσιμη πληροφορία σε σχέση με τη συνολικό φορτίο.
7. **Μέθοδος Κράτησης**. Οι οποία και αποτελείται από τις εξής υποκατηγορίες:
- i. *First packet in a burst*. Υπάρχουν τρία είδη τεχνικών: ανταγωνισμός (contention), κράτηση (reservation), σταθερός (fixed). Η πρώτη τεχνική βασίζεται στον ανταγωνισμό μεταξύ των ομάδων που μεταδίδονται με βάση μια στρατηγική. Η δεύτερη βασίζεται στην κράτηση κατά την οποία υποθέτουμε ότι μια νέα μετάδοση δεδομένων γίνεται από το πρωτόκολλο και ο σταθμός βάσης καθίσταται ενήμερος για την αίτηση, τυπικά για ένα πρωτόκολλο που βασίζεται σε polling. (Polling: Είναι μια τεχνική ελέγχου της διαδοχής μετάδοσης δεδομένων, όπου κάθε γραμμή αναμένει το κάλεσμα προς εκπομπή από τον ελέγχοντα επεξεργαστή.)[9] Στο τρίτο σχήμα, υπάρχει μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα που είναι πάντα διαθέσιμη για τον σταθμό.
 - ii. *Remaining cells in a burst*. Ένα πρωτόκολλο μπορεί να μην επιλέξει να κάνει ειδική θεώρηση για να μεταδώσει δεδομένα σε αυτή τη περίπτωση κάθε πακέτο πρέπει να ανταγωνίζεται με τα άλλα με βάση τις αρχές της προηγούμενης παραγράφου.
 - iii. *Bandwidth allocation flexibility*. Όταν ένας σταθμός ζητά περισσότερο Bandwidth μπορεί απλά να προσπαθήσει να μεταδώσει πακέτα πιο συχνά, μπορεί να ζητήσει να μεταδώσει πακέτα πιο συχνά ή μπορεί να χρειαστεί να κάνει μια αίτηση για μια εξ' ολοκλήρου νέα σύνδεση.
 - iv. *Maximum number of MTs*. Αναφέρεται στο αν το MAC πρωτόκολλο από μόνο του θέτει ένα όριο όσον αφορά τον μέγιστο αριθμό των **M**obile **T**erminals που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα σταθμό βάσης.
 - v. *Power conservation features*. Είναι πολύ σημαντικό για ένα MAC πρωτόκολλο να προσφέρει χαρακτηριστικά με τα οποία επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της ενέργειας. [16]

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των τεχνικών πρόσβασης μέσου. Αυτές είναι :

- 1) Σύμφωνα με την μέθοδο που η πηγή συνδέεται, δηλαδή με τυχαία πρόσβαση, με προκαθορισμένη ανάθεση ή με ανάθεση κατά απαίτηση.
- 2) Σύμφωνα με την μέθοδο (duplexing) αμφίδρομης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται, παραδείγματα αποτελούν το TDD (**T**ime **D**ivision **D**uplex) που πραγματοποιεί πολυπλεξία στον χρόνο και το FDD (**F**requency **D**ivision **D**uplex)-που πραγματοποιεί πολυπλεξία με βάση τις συχνότητες.
- 3) Σύμφωνα με την μέθοδο πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται, όπως η FDMA (**F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess), η CDMA και η TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess).

Για το MAC υπάρχουν τρία σημαντικά πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης:

- I. Το MASCARA (**M**obile **A**ccess **S**cheme based on **C**ontention **A**nd **R**eservation for **A**TM). Το οποίο ήταν αποτέλεσμα του Magic WAND (**W**ireless **A**TM **N**etwork **D**emonstrator).
- II. Το HIPERLAN/2 που ήταν αποτέλεσμα του BRAN Project του οργανισμού προτυποποίησης ETSI.
- III. Το τρίτο αποτελεί την πρόταση της NEC δηλαδή το Dynamic TDMA/TDD. (Το NEC προήλθε από τις λέξεις **N**ippon **E**lectric **C**ompany αλλά από το 1983 η εταιρεία φέρει την ονομασία NEC με την οποία και είναι παγκόσμια γνωστή.)

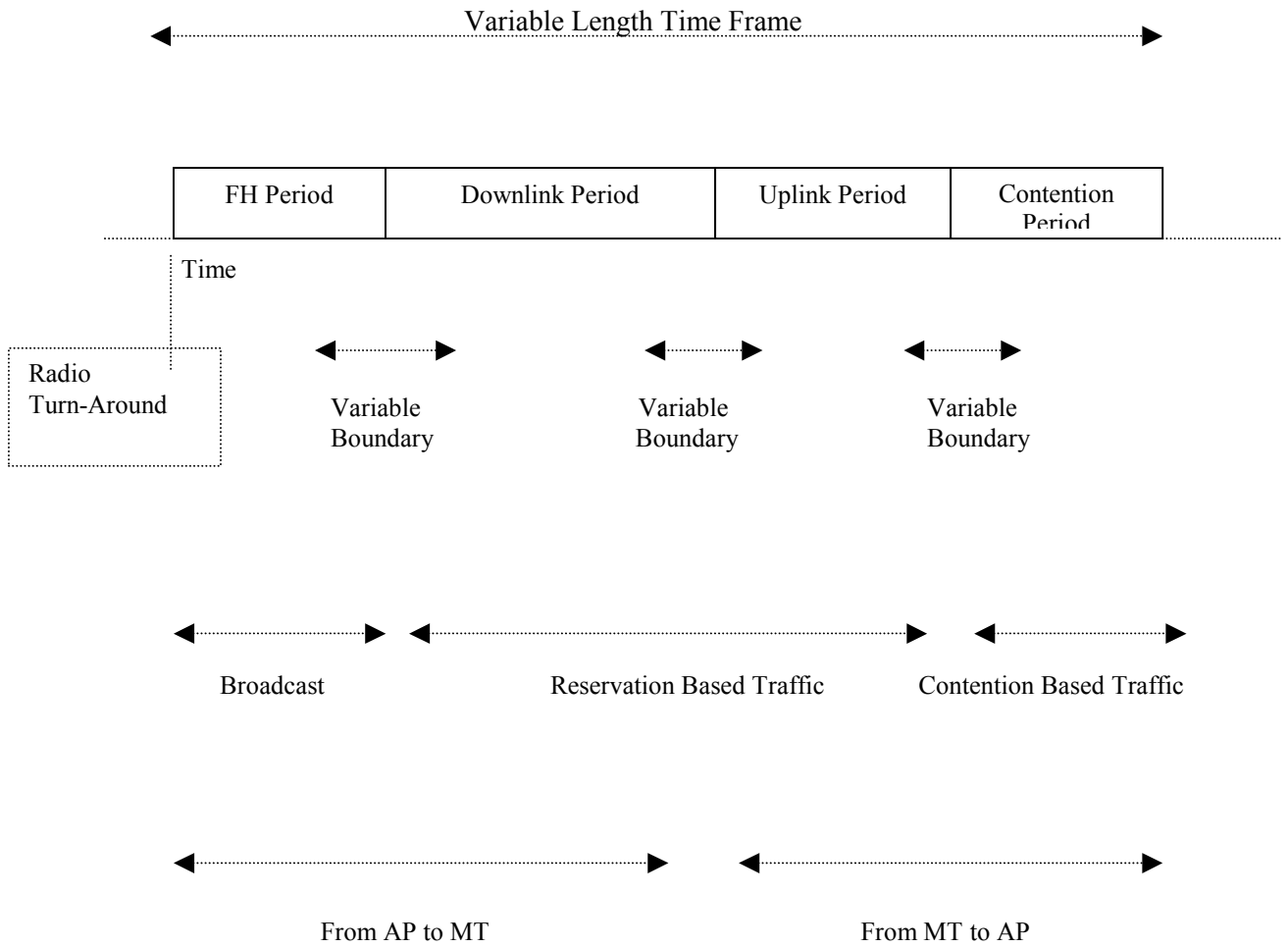
I) Στο πρώτο η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης βασίζεται στην TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess). Με αυτήν την μέθοδο το πλαίσιο είναι μεταβλητού μήκους και αποτελείται από 2 υπό-πλαίσια: την άνω ζεύξη και την κάτω ζεύξη. Χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα φέροντος για την αμφίδρομη επικοινωνία. Βέβαια προστίθεται επιπλέον καθυστέρηση εξαιτίας της αναστροφής από δέκτη σε πομπό και αντίστροφα. Η πολυπλεξία άνω και κάτω ζεύξης βασίζεται στο TDD (**T**ime **D**ivision **D**uplex) [5]. Ενώ ο αλγόριθμος που καθορίζει την κίνηση ονομάζεται PRADOS (**P**rioritized **R**egulated **A**llocation **D**elay **O**riented).

Ο PRADOS αλγόριθμος συνίσταται από δυο κύριες διαδικασίες που πραγματοποιούνται παράλληλα. Με την πρώτη (διαδικασία) καθορίζει τις συνδέσεις με βάση τις υπηρεσίες που παρέχουν και προσδίδει σε κάθε μια από αυτές μια διαφορετική προτεραιότητα. Ενώ με τη δεύτερη γίνεται ο καθορισμός της μετάδοσης των κελιών ανάλογα με τον χρόνο που έχουν σαν deadline.[5]

Ο παρακάτω πίνακας αναφέρεται στη πρώτη διαδικασία και δείχνει την προτεραιότητα που δίνεται σε κάθε υπηρεσία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός προτεραιότητας τόσο πιο μεγάλη είναι η προτεραιότητα που έχει αυτή η υπηρεσία.

Priority Number	Service Class
5	CBR (Constant Bit Rate)
4	rt-VBR (real time - Variable Bit Rate)
3	nrt -VBR (non real time -Variable Bit Rate)
2	ABR (Available Bit Rate)
1	UBR (Unspecified Bit Rate)

Πίνακας 4.4 ATM υπηρεσίες και PRADOS [5]



Σχήμα 4.7 MAC δομή πλαισίου στο MASCARA.

Το Access Point (AP), δηλαδή το σημείο πρόσβασης, ρυθμίζει την μετάδοση κίνησης στην άνω και κάτω ζεύξη και κατανέμει το εύρος ζώνης δυναμικά, βασιζόμενο σε χαρακτηριστικά κίνησης, στις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών καθώς και στις ανάγκες για εύρος ζώνης όλων των συνδέσεων. Οι απαιτήσεις μιας uplink σύνδεσης από ένα συγκεκριμένο τερματικό αποστέλλονται στο σημείο πρόσβασης μέσω αιτήσεων από το κινητό τερματικό που βρίσκονται είτε στο MASCARA Protocol Data Unit (MPDUs) που το κινητό τερματικό στέλνει κατά την διάρκεια του uplink είτε σε 'control MPDUs' δηλαδή MPDUs ελέγχου που στέλλονται για αυτό το σκοπό στην περίοδο ανταγωνισμού (contention period).

II) Το HIPERLAN/2, προέκυψε από την εξέλιξη του HIPERLAN1 (πρότυπο του 1996) που σχεδιάστηκε αρχικά σαν μια ασύρματη εκδοχή του Ethernet για τοπικά δίκτυα, καθορίζει ένα σύνολο λογικών καναλιών [5] για διαφορετικές υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων. Κάθε κανάλι προσδιορίζεται από τον τύπο πληροφορίας που μεταφέρει. Το λογικό κανάλι είναι ένας γενικός όρος που καθορίζει ένα διακριτό μονοπάτι μεταφοράς δεδομένων που προσφέρεται από το MAC στρώμα. Καθορίζεται κυρίως από τον τύπο της πληροφορίας που μεταφέρει, καθώς και από την ερμηνεία των τιμών των μηνυμάτων. Τα λογικά κανάλια στο HIPERLAN/2 παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5 όπου και επεξηγείται ο ρόλος τους.

Broadcast Control Channel (BCCH)	Broadcast, Χρησιμοποιείται στο Downlink, σκοπός του είναι να μεταφέρει πληροφορίες έλεγχου που μεταδίδονται στην αρχή του κάθε MAC πλαισίου και αφορούν ολόκληρο το κελί.
Frame Control Channel (FCCH)	Broadcast, Downlink, μεταφέρει πληροφορίες για τη δομή του τρέχοντος πλαισίου.
Random access Feedback Channel (RFCH)	Broadcast, Downlink, μεταφέρει πληροφορίες ανάδρασης που σχετίζονται με τις προηγούμενες εκπομπές.
Slow Broadcast Channel (SBCH)	Broadcast, Downlink, χρησιμοποιείται για να μεταδίδει ένα μη καθορισμένο ποσό πληροφορίας σχετικής με έλεγχο.
Dedicated Control Channel (DCCH)	Bi-directional, Unicast, μεταφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό πληροφοριών που αφορούν την σηματοδότηση έλεγχου στην ασύρματη διασύνδεση.
User Data Channel (UDCH)	Bi-directional, μεταφέρει δεδομένα μεταξύ των σημείων πρόσβασης και των κινούμενων τερματικών, στο uplink και στο downlink.
Link Control Channel (LCCH)	Bi-directional, Unicast, άγει αιτήσεις για πόρους και μηνύματα σηματοδότησης όπως Automatic Repeat ReQuest ARQ που έχουν σαν στόχο την μείωση των λαθών που λαμβάνουν χώρα σε μια σύνδεση.
ASsociation Control Channel (ASCH)	Uplink, Unicast, περιέχει μηνύματα σύνδεσης ή επανασύνδεσης μπορεί να προσπελασθεί μόνο από ένα μη συνδεδεμένο τερματικό ή από ένα τερματικό που έχει αποσυνδεθεί προσωρινά.

Πίνακας 4.5 Λογικά κανάλια στο HIPERLAN2

Τα λογικά κανάλια που σχηματίζονται από το στρώμα DLC διαχωρίζονται (ή χαρτογραφούνται) σε διαφορετικά κανάλια μεταφοράς στο PHY στρώμα. Το φυσικό στρώμα καθορίζει την υπηρεσία μεταφοράς της πληροφορίας με βάση το είδος και με τα χαρακτηριστικά μεταφοράς των δεδομένων στο ασύρματο μέσο. Όλα τα κανάλια μπορούν να μεταφέρουν ένα συγκεκριμένο αριθμό δεδομένων εκτός από το FCH που μπορεί να μεταφέρει ένα μεταβλητό ποσό δεδομένων.

Τα κανάλια μεταφοράς είναι τα παρακάτω:

- i. **Broadcast Channel (BCH):** Downlink. Μεταφέρει το BCCH.
- ii. **Frame Channel (FCH):** Downlink. Μεταφέρει το FCCH με μεταβλητό ποσό δεδομένων.
- iii. **Short Transport Channel (SCH):** Bi-directional. Χρησιμοποιείται για να μεταφερθεί σύντομη πληροφορία ελέγχου.
- iv. **Long Transport Channel (LCH):** Bi-directional. Χρησιμοποιείται για να μεταφερθούν πληροφορίες χρήστη και πληροφορίες ελέγχου.
- v. **Random access Channel – Un Partitioned (RCH-UP):** Uplink, χρησιμοποιείται για να κάνει αιτήσεις για πόρους μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλα τα κινητά τερματικά.

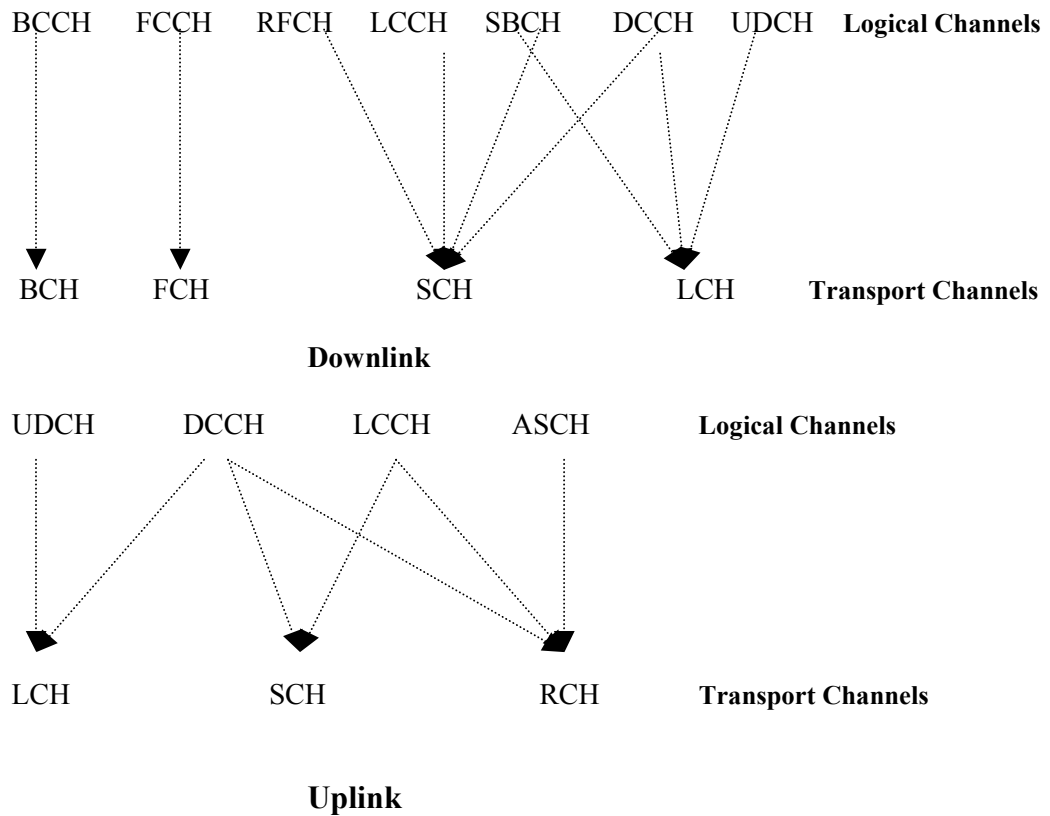
Τα κανάλια μεταφοράς έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον χειρισμό λαθών καθώς και τον αριθμό των OFDM συμβόλων που απαιτεί το κάθε κανάλι αφαιρώντας τα προθέματα του φυσικού επιπέδου. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα κανάλια μεταφοράς, την κατεύθυνση, τον τρόπο χειρισμού των λαθών, καθώς και το μήκος των OFDM συμβόλων.

Transport Channel	Direction	PHY mode	Length (Bytes)
BCH	Downlink	Highest Protection	12
FCH	Downlink	Set in BCCH	*27
SCH	(Down-Up) link	Set in FCCH	9
LCH	(Down-Up) link	Set in FCCH	54
RCH-UP	Uplink	Highest Protection	9

Πίνακας 4.6 PHY mode για το HIPERLAN/2[5]

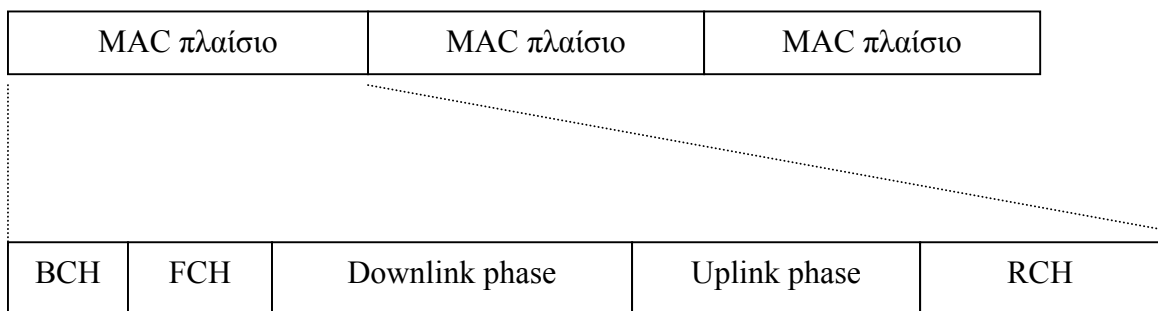
Ο συσχετισμός μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς φαίνεται ξεκάθαρα στο σχήμα 4.8 που ακολουθεί τόσο για την κάτω ζεύξη (downlink) όσο και για το άνω ζεύξη (uplink). Το BCCH και το FCCH αντιστοιχούν στα BCH και FCH αντίστοιχα. Το RFCH αντιστοιχεί στο SCH. Το LCCH μεταδίδει πληροφορίες που κάνουν γρήγορο έλεγχο, όπως σηματοδότηση ARQ. Αντιστοιχούν δε στο SCH ή στο RCH-UP. Το ASCH αντιστοιχεί στο RCH-UP. Το DCCH μεταδίδει πληροφορία ανάμεσα σε δυο RCP οντότητες και μπορεί να αντιστοιχηθεί στο LCH ή στο SCH στη κάτω ζεύξη και στο LCH ή SCH ή RCH-UP στο uplink.

Το SBCH αντιστοιχεί στο SCH και στο LCH. Το UDCH μεταδίδει τα δεδομένα χρήστη και αντιστοιχεί στο LCH.



Σχήμα 4.8 Αντιστοιχίση μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς.

Η βασική αρχιτεκτονική του MAC πλαισίου του HIPERLAN/2 φαίνεται στο σχήμα 4.9. Το κάθε πλαίσιο έχει καθορισμένη διάρκεια της τάξεως των 2 msec, και περιέχει τα φυσικά κανάλια BCH, FCH, RCH, την κάτω ζεύξη και την uplink φάση. Η διάρκεια του BCH είναι καθορισμένη. Αντίθετα η διάρκεια των FCH, RCH, της κάτω ζεύξης και της uplink φάσεως αναπροσαρμόζεται από την εκάστοτε κατάσταση κίνησης. Το βασικό τμήμα του MAC πλαισίου καλείται θυρίδα (Slot) και έχει διάρκεια 400 ns.



Σχήμα 4.9 Αρχιτεκτονική του MAC πλαισίου στο HIPERLAN/2

Η υψηλής ταχύτητας μετάδοση του HIPERLAN/2 επιτυγχάνεται με την μέθοδο διαμόρφωσης που καλείται OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing) για την μετάδοση αναλογικών σημάτων.

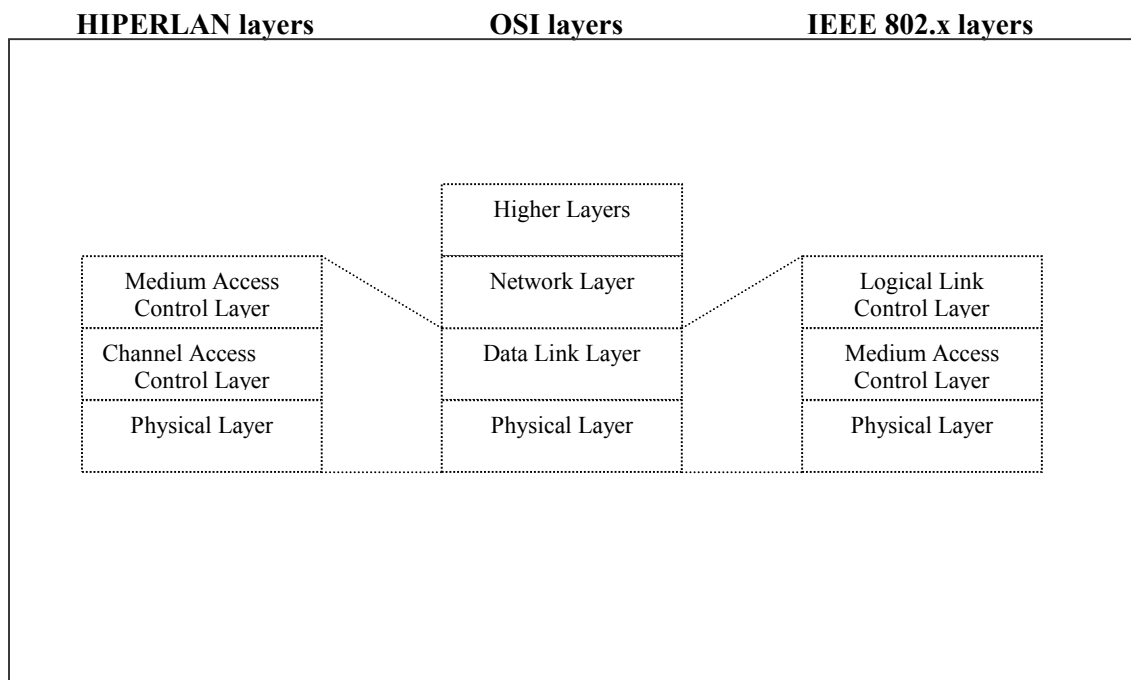
Η υλοποίηση της OFDM πολυπλεξίας επιτυγχάνεται με επεξεργασία του σήματος και γρήγορο μετασχηματισμό Fourier τόσο στον εκπομπό όσο και στον δέκτη. Ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος είναι ότι με την OFDM υπάρχει μεγαλύτερη αντοχή απέναντι στη διασυμβολική παρεμβολή. Επίσης, η φασματική κατανομή είναι καλύτερη ενώ διατηρείται η υψηλή του ικανότητα στην αποδοτική κατανομή καναλιών.

4.4.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά HIPERLAN/2

Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας μπορούν να συγκεντρωθούν στην παρακάτω λίστα :

- Υψηλής ταχύτητας μετάδοση
- Μετάδοση προσανατολισμένη προς σύνδεση
- Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών
- Αυτόματη κατανομή συχνοτήτων
- Υποστήριξη ασφάλειας
- Υποστήριξη κινητικότητας
- Εξοικονόμηση ενέργειας

Παρακάτω ακολουθεί το σχήμα 4.10 που δείχνει την αντιστοιχία των στρωμάτων μεταξύ OSI, HIPERLAN και IEEE 802.x.



Σχήμα 4.10 Αντιστοιχισή των στρωμάτων OSI –HIPERLAN – IEEE 802.x

III) Η τεχνική **Dynamic TDMA/TDD (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex)**, πρόταση της NEC, χρησιμοποιεί πλαίσια καθορισμένου μεγέθους, κάνει χρήση μίας μόνο συχνότητας φέροντος για την αμφίδρομη επικοινωνία, που επιλέγεται δυναμικά ενώ δεν υποστηρίζει αυτόνομη (Ad-hoc) τοπολογία.[18]

Με την χρήση της τεχνικής DTDMA/TDD έχουμε εξοικονόμηση όσον αφορά το υλικό (hardware) των κινητών μονάδων αφού τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Το μειονέκτημα είναι ότι προστίθεται επιπλέον καθυστέρηση λόγω της εναλλαγής μεταξύ της λειτουργίας ως πομπού και ως δέκτη. Το πλεονέκτημα είναι ότι με την χρήση του TDD έχουμε εξοικονόμηση στο εύρος ζώνης. (Αντίθετα το FDD έχει δυο κανάλια για κάθε σταθμό βάσης που καλύπτει μια συγκεκριμένη περιοχή, ένα για την άνω ζεύξη και ένα για την κάτω ζεύξη. Κατά τη διάρκεια της άνω ζεύξης το κινητό τερματικό στέλνει αιτήσεις και πακέτα πληροφοριών με βάση κάποιους αλγόριθμους. Από την άλλη, στην κάτω ζεύξη στέλνουν acknowledgments και πακέτα πληροφοριών. Παραδείγματα πρωτοκόλλων που στηρίζονται στο FDD είναι το DTMA/PR (**D**ynamic **T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess **P**rotocol with **P**iggybacked **R**eservation.)

Η κάτω ζεύξη αποτελείται από δυο μέρη: πρώτον τις επιβεβαιώσεις (acknowledgments) μαζί με τον έλεγχο (control) και δεύτερον την κίνηση δεδομένων (data traffic). Η άνω ζεύξη αποτελείται, επίσης από δύο μέρη: πρώτον από μια ομάδα αποτελούμενη από θυρίδες για αιτήσεις και δεύτερον από την κίνηση δεδομένων, που με την σειρά της αποτελείται από τρία τμήματα. Ένα τμήμα για την ABR-UBR κίνηση, ένα τμήμα για την VBR κίνηση και το τρίτο για την CBR κίνηση.

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι στα 25,6 Mb/s στην ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz ενώ οι συχνότητες χωρίζονται σε επτά κανάλια, που είναι τα εξής:

Channel 1: 5171, 98 MHz
 Channel 2: 5197, 90 MHz
 Channel 3: 5223, 82 MHz
 Channel 4: 5249, 74 MHz
 Channel 5: 5275, 66 MHz
 Channel 6: 5301, 58 MHz
 Channel 7: 5327, 50 MHz

Η ισχύς μετάδοσης είναι 10 mW και η δημιουργία καναλιών γίνεται ανά 25,92 MHz χρησιμοποιώντας GMSK .

Η επικοινωνία επιτυγχάνεται με την χρήση TDMA/TDD ως εξής: ο σταθμός βάσης ξεκινά ένα νέο πλαίσιο στέλνοντας μια επικεφαλίδα για το πλαίσιο, που περιλαμβάνει πληροφορίες για την θέση των θυρίδων της άνω και της κάτω ζεύξης. Ο αριθμός θυρίδων της άνω και της κάτω ζεύξης μπορεί να είναι μεταβλητός ή σταθερός. Οι θυρίδες που ακολουθούν μετά την επικεφαλίδα του πλαισίου, στην κάτω ζεύξη περιλαμβάνουν ATM κελιά, πληροφορίες ελέγχου καθώς και έλεγχο λαθών.

Από την άλλη, στην άνω ζεύξη έχουμε τα ίδια στοιχεία και επιπρόσθετα το Guard Time που εξισορροπεί τα φαινόμενα καθυστέρησης στη μετάδοση του σήματος, καθώς και του προθέματος που απαιτείται, αφού οι θυρίδες άνω ζεύξης στέλνονται από διαφορετικούς σταθμούς και κάθε πακέτο χρειάζεται ένα πρόθεμα (Preamble) ώστε να επιτευχθεί ο συγχρονισμός. Για να ελαττωθούν οι επικεφαλίδες που εισάγονται λόγω των Guard time και των προθεμάτων, υπάρχει η δυνατότητα της αποστολής «ακολουθιών» από κελιά, π.χ. εάν περισσότερες από μια θυρίδες δεδομένων αφορούν ένα συγκεκριμένο κινητό σταθμό σε ένα πλαίσιο, τότε αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ένα πακέτο άνω

ζεύξης. Επίσης, οι κινητοί σταθμοί έχουν την δυνατότητα της αποστολής πληροφορίας ελέγχου (π.χ. πληροφορία για την κατάσταση των ουρών ή ARQ πληροφορία) σε ειδικές για αυτή την λειτουργία θυρίδες που βρίσκονται είτε πριν είτε μετά από τις θυρίδες δεδομένων άνω ζεύξης. Το σχήμα 4.12 δείχνει μια σχηματική απεικόνιση των όσων προαναφέρθηκαν.

4.4.3 DLC (Data Link Control) για το Ασύρματο ATM

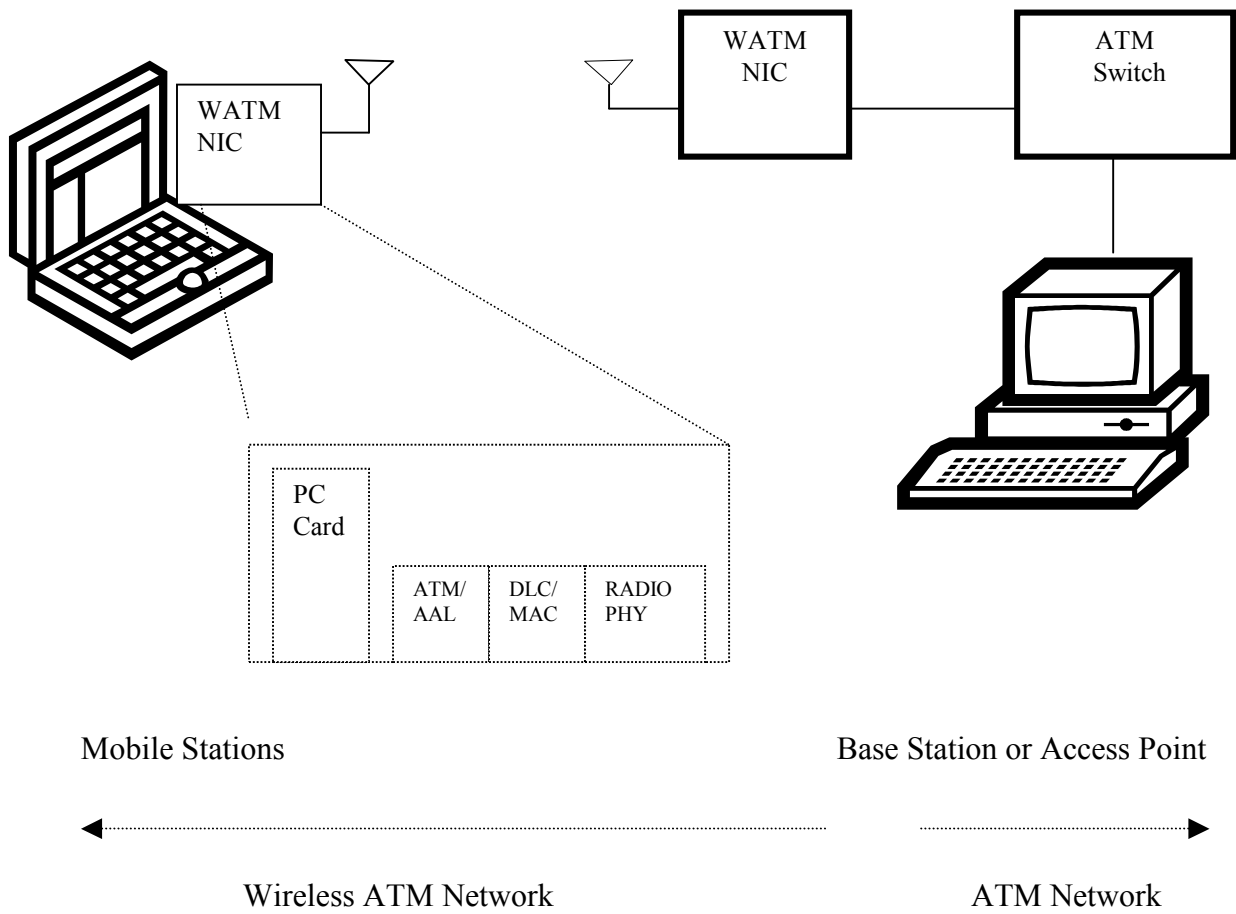
Το βασικό πρόβλημα στο ασύρματο ATM είναι η μεταφορά του κελιού στο ασύρματο μέσο μεταξύ του τελικού σημείου και του AP. Το DLC αποτελεί το λογικό σύνδεσμο μεταξύ του κινητού χρήστη και του AP. Σήμερα προτείνεται απο όλους τους μεγάλους οργανισμούς που σκοπεύουν να υλοποιήσουν το ασύρματο ATM να γίνει συμπίεση του κελιού του ATM από 53 σε 24 bytes. Επίσης, είναι επιθυμητό να παρέχεται άριστη υποστήριξη των μεταγωγών. Παράλληλα έχει προταθεί να υπάρχει ένα ειδικό πεδίο που να καθορίζει το είδος υπηρεσίας στο οποίο ανήκει το κελί αυτό[3]. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την μεταφορά του ATM προς το ασύρματο μέσο. Αυτοί είναι η μεταφορά ολόκληρου του ATM κελιού μαζί με την επικεφαλίδα και τις VCI, VPI τιμές του [5]. Σε αυτήν την περίπτωση η WATM ζεύξη λειτουργεί όπως στο ενσύρματο ATM με κάποιες απαραίτητες αλλαγές στο UNI ώστε να υποστηρίζεται η κινητικότητα του χρήστη. Αυτός ο τρόπος αντιμετωπίζει δυσκολίες κυρίως επειδή υπάρχει η επικεφαλίδα και οι ταυτοποιητές που καταναλώνουν πολύτιμο τμήμα απο το ήδη περιορισμένο εύρος ζώνης. Επίσης ένα μειονέκτημα είναι οτι η διάσταση του κελιού μπορεί να μην είναι προσαρμόσιμη με όλες τις εφαρμογές δηλαδή να είναι πολύ μεγάλη για εφαρμογές όπως η φωνή ή πολύ μικρή για εφαρμογές όπως η υψηλής ταχύτητας μεταφορά δεδομένων. Ένας τρόπος για να μειωθεί αυτό το φορτίο είναι η αποστολή για παράδειγμα ταυτοποιητών μόνο κατά την αρχή της σύνδεσης.

Το DLC είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο λαθών, την ανίχνευσή τους, για την επιλεκτική επαναμετάδοση και την διόρθωση εάν είναι αυτό δυνατόν. Η διεργασία του επιπέδου αυτού είναι το ARQ που έχει σαν στόχο την επαναποστολή κελιών σε περιπτώσεις διαπιστωμένων σφαλμάτων. Αυτό βέβαια μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις οι οποίες μπορεί και να ενταθούν αν η ποιότητα του καναλιού είναι μικρή. Υπάρχουν τριών ειδών πρωτόκολλα για το ARQ:

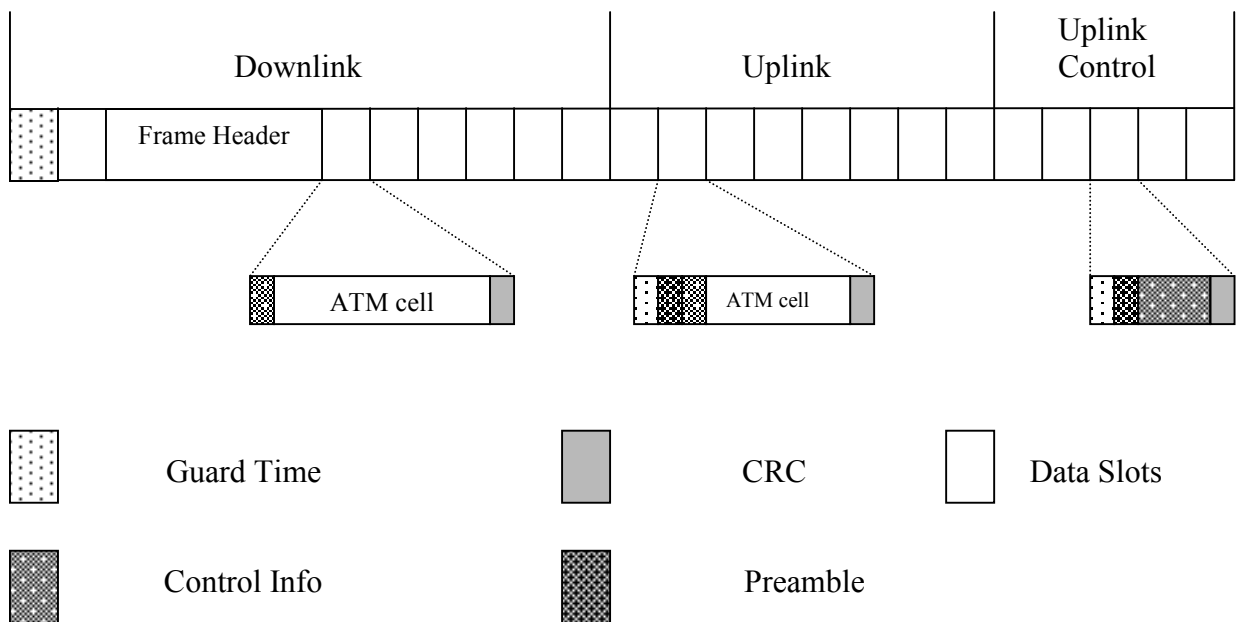
- a. Stop and Wait: Όσο λαμβάνει ο αποστολέας ACK (Acknowledgment) στέλνει τα επόμενα προς μετάδοση πακέτα αλλιώς αν λάβει NACK (Not Acknowledgment) τότε εξαναγκάζεται να επαναλάβει την αποστολή του μηνύματος.
- b. Go Back N: Πακέτα δεδομένων στέλνονται διαρκώς. Εάν υπάρξει ένα NACK τότε γίνεται επανάληψη της αποστολής των πακέτων απο το πακέτο στο οποίο διαπιστώθηκε το πρόβλημα.
- c. Selective Repeat: Γίνεται επιλεκτική επαναμετάδοση των πακέτων που περιέχουν λάθη. Αυτή η επαναμετάδοση καθορίζεται απο ένα χαρακτηριστικό αριθμό. [5]

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά τα πρωτόκολλα ARQ καθώς και μια πρόταση που περιλαμβάνει ένα υβριδικό σχήμα με συνδυασμό ARQ και FEC και καλείται Hybrid ARQ. Το FEC χρησιμοποιείται για την διόρθωση λαθών όταν έχουμε σχετικά καλή ποιότητα καναλιού. Αντίθετα όταν το κανάλι είναι πτωχό σε ποιότητα το ARQ που δρα στο στρώμα DLC χρησιμοποιείται. Αυτός ο συνδυασμός είναι πολυ ικανοποιητικός και αποτελεσματικός στη περίπτωση τυχαίων και καταγιτιστικής φύσεως λαθών.

Το στρώμα αυτό με την βοήθεια ενός ελεγκτή θα μπορούσαμε να πούμε ότι αντισταθμίζει τις συνέπειες των λαθών που συμβαίνουν κατά την διάρκεια της μετάδοσης.



Σχήμα 4.11 Σχηματική αναπαράσταση της υλοποίησης ενός WATM δικτύου όπως πραγματοποιήθηκε από τα ερευνητικά εργαστήρια της NEC. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι στα 25,6 Mb/s στην ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz. NIC (Network Interface Card) [18]



Σχήμα 4.12 Παράδειγμα της TDMA/TDD δομής πλαισίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Προσομοίωση με το OPNET

5.1 Εισαγωγή στην Προσομοίωση με το OPNET

Το OPNET (**OP**timized **N**etwork **E**ngineering **T**ool) παρέχει στους χρήστες ένα περιβάλλον καθορισμού, ανάπτυξης, σχεδίασης και ανάλυσης της απόδοσης των δικτύων. Το πρόγραμμα αυτό επιλέχθηκε μετά από σύγκριση του με άλλα ευρέως διαδεδομένα προγράμματα προσομοίωσης, όπως το COMNET και το NETSIM, ενώ προτιμήθηκε και σε σχέση με μια υλοποίηση σε MATLAB.

Ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε σε αυτή την πτυχιακή είναι ότι αποτελεί το πιο ευέλικτο και πιο πλήρες εργαλείο προσομοίωσης στην αγορά. Το πρόγραμμα αυτό, παρά το εξαιρετικά υψηλό οικονομικό κόστος, χρησιμοποιείται κατεξοχήν από εταιρείες που ασχολούνται με σχεδιασμό και μελέτη δικτύων.

Αποτελεί ένα δύσκολο εργαλείο προσομοίωσης για ένα νέο χρήστη. Ωστόσο αρκετά χαρακτηριστικά του είναι φιλικά σε όποιον έχει ασχοληθεί με άλλα προγράμματα προσομοίωσης δικτύων.

Ένα από τα πιο βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το OPNET στους χρήστες είναι ότι αποτελεί ένα άριστο τρόπο για πρακτική εκμάθηση και μελέτη δικτύων αφού για την υλοποίηση των προσομοιώσεων απαιτούνται γνώσεις και διάθεση για έρευνα, ώστε να λυθούν κάποια παρουσιαζόμενα στην πορεία προβλήματα, ενώ απαραίτητη είναι και η εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων ώστε να ερμηνευθούν σωστά. Αυτός είναι και ο λόγος που προτιμάται από μεγάλες εταιρείες, αφού αναπαριστά, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, πραγματικές καταστάσεις και προβλήματα που προκύπτουν σε μια υλοποίηση δικτύου.

5.1.1 OPNET 9.1

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι μια περιορισμένων δυνατοτήτων έκδοση του OPNET, ειδικά προσαρμοσμένη για ακαδημαϊκή χρήση. Έχει την δυνατότητα υλοποίησης σχεδόν οποιουδήποτε είδους δικτύου και την προσομοίωση του καθώς και την συλλογή αποτελεσμάτων που έχει καθορίσει από πριν ο χρήστης. Βέβαια αυτή η έκδοση δεν παρέχει κάποια ειδικά διαγνωστικά εργαλεία που βοηθούν τον γρήγορο εντοπισμό σφαλμάτων και την σωστότερη αξιοποίηση των αποτελεσμάτων, καθώς και κάποιους Editors που καθορίζουν π.χ. τα χαρακτηριστικά ενός κόμβου (Node Editor) κ.τ.λ. Όμως είναι αρκετά ικανοποιητικό, σαν πρόγραμμα, ακόμα και για έναν απαιτητικό χρήστη λόγω των πολλών δυνατοτήτων του, οι οποίες θα αναφερθούν λεπτομερέστερα παρακάτω.

5.1.2 Εκμάθηση του OPNET

Όπως είναι φανερό η χρήση του προγράμματος απαιτεί ένα βαθμό εξοικείωσης ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της υλοποίησης ενός δικτύου. Έτσι, εκτελέστηκαν κατά γράμμα όλες οι προτεινόμενες από το OPNET υλοποιήσεις, για ένα αρχάριο χρήστη. Παράλληλα, διεξάχθηκε έρευνα στο Διαδίκτυο όπου εντοπίστηκαν πολύτιμες συμβουλές από αναρίθμητες τοποθεσίες (sites) και Πανεπιστήμια που έχουν ενσωματώσει στον τομέα της έρευνας το πρόγραμμα. Μετά από αρκετές υλοποιήσεις και προσομοιώσεις, καθώς

και αυτόβουλες δοκιμές, έγινε κατανοητό πως ακριβώς δουλεύει αυτό το πρόγραμμα και γιατί αποτελεί την πρώτη επιλογή όλων των μηχανικών με ειδίκευση στα δίκτυα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά του από χρηστική πλευρά, είναι ότι το πρόγραμμα προτείνει πιθανές λύσεις σε υπάρχοντα προβλήματα, ενώ ταυτόχρονα επισημαίνει πιθανά λάθη.

5.1.3 Αντικείμενο Προσομοίωσης

Το αντικείμενο της προσομοίωσης έχει να κάνει με το κεντρικό θέμα της πτυχιακής, δηλαδή το ATM δίκτυο. Στο πρώτο μέρος των προσομοιώσεων στόχος ήταν η μελέτη, ενός ενσύρματου ATM δικτύου. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, αφορούσαν διάφορα σενάρια. Τα πιο κύρια από αυτά ήταν για το ενσύρματο ATM δίκτυο η μελέτη των CBR, nrt-VBR και UBR υπηρεσιών, για να διαπιστωθεί η διαφορετικότητα τους. Ενώ, το ενσύρματο ATM υποδίκτυο προσομοιώθηκε μόνο με UBR υπηρεσία, ώστε να επιτευχθεί επικοινωνία με το ασύρματο δίκτυο μέσω του πρωτοκόλλου TCP/IP.

5.1.4 Σχεδίαση με το OPNET

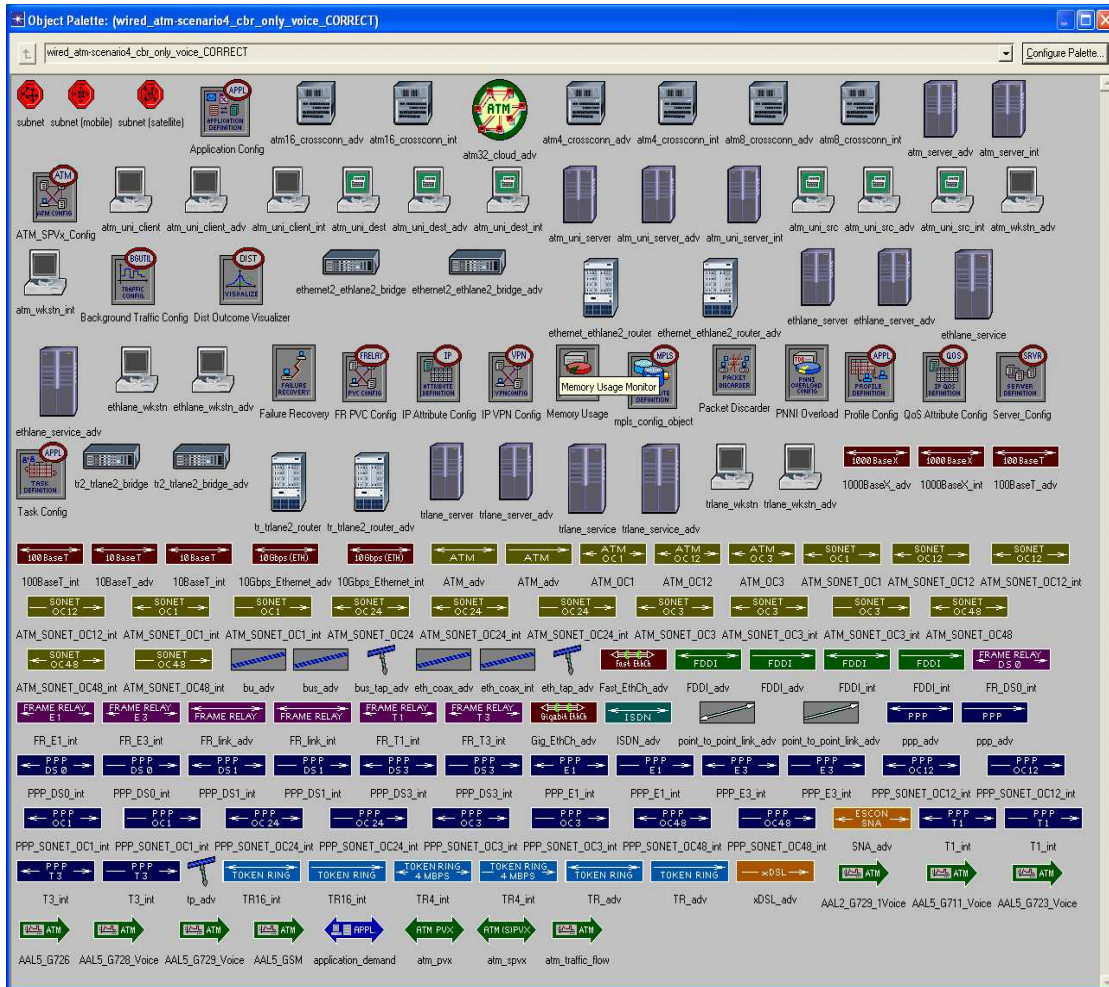
Το πρώτο δίκτυο που έπρεπε να υλοποιηθεί ήταν ένα ενσύρματο ATM δίκτυο ικανό να υποστηρίζει την υπηρεσία CBR. Για την υλοποίησή του χρησιμοποίησα τον Network Editor, με την βοήθεια του οποίου το σχεδίασα.

Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα, μέσω διαδοχικών ερωτήσεων (wizards) στον χρήστη, να δημιουργήσει το επιθυμητό δίκτυο.

Αναλυτικότερα, επελέχθηκε η δημιουργία νέου project και νέου σεναρίου, εδώ δημιουργήθηκε ένα νέο σενάριο, δηλαδή δεν χρησιμοποιήθηκε κάτι έτοιμο από κάποιο αρχείο στην επιφάνεια εργασίας, ενώ η επιφάνεια στην οποία εκτείνεται το δίκτυο ορίστηκε να είναι δέκα επί δέκα χιλιόμετρα, δηλαδή επελέχθηκε το «Campus» για την υλοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο καταλαμβάνει μια σχετικά μεγάλη περιοχή και ενδεχομένως να υπάρξουν απώλειες κατά τη μετάδοση. Τέλος ορίστηκαν οι χρησιμοποιούμενες βιβλιοθήκες εργαλείων από ένα σύνολο προσφερόμενων από το OPNET. Από τις βιβλιοθήκες που έχουν επιλεγεί προς χρήση το πρόγραμμα συνθέτει την επονομαζόμενη παλέτα αντικειμένων (object palette) από την οποία μπορεί ο χρήστης να προμηθευτεί οποιοδήποτε πιθανά χρησιμοποιούμενο κόμβο (node), ζεύξη (link), «απαίτηση» ροής πληροφορίας (demand) ή εφαρμογή (application).

Οι δυο πρώτες κατηγορίες είναι υπαρκτές σε πολλά προγράμματα προσομοίωσης. Η πρώτη αφορά κόμβους οι οποίοι μπορούν να υποστηρίξουν διάφορα πρωτόκολλα και έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν με συγκεκριμένες ζεύξεις (links). Η δεύτερη παρέχει μια ποικιλία από ζεύξεις όπως ATM, OC-1, T-3 κ.τ.λ. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα εικονίδια με τα οποία υλοποιούνται διάφορες ροές κινήσεων στο δίκτυο όπως φωνή κ.τ.λ. Ενώ, στην τελευταία υπάρχουν τα εικονίδια που καθορίζουν τις εφαρμογές (applications) και κάποιες άλλες παραμέτρους που πρέπει να ορίζονται σε ένα δίκτυο που προσομοιώνεται με το OPNET.

Ευτυχώς για τον χρήστη του προγράμματος, η παλέτα μπορεί να υποστεί αλλαγές (να γίνει διαφορετικό configuration, δηλαδή να ενταχθούν στην παλέτα νέοι κόμβοι που υποστηρίζουν διαφορετικά πρωτόκολλα) έτσι ώστε να μπορεί τελικά ο χρήστης να υλοποιήσει το δίκτυο που επιθυμεί. Αυτή είναι μια διαδικασία που πραγματοποιήθηκε πολλές φορές κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων, αφού σε κάθε πείραμα προέκυπταν νέα στοιχεία αλλά και ταυτόχρονα νέες δυσκολίες που έπρεπε να αντιμετωπισθούν.



Σχίμα 5.1 Παλέτα Αντικειμένων (Object Palette) στο OPNET για το πείραμα cbr_only_voice

5.1.5 Επιλογή εργαλείων

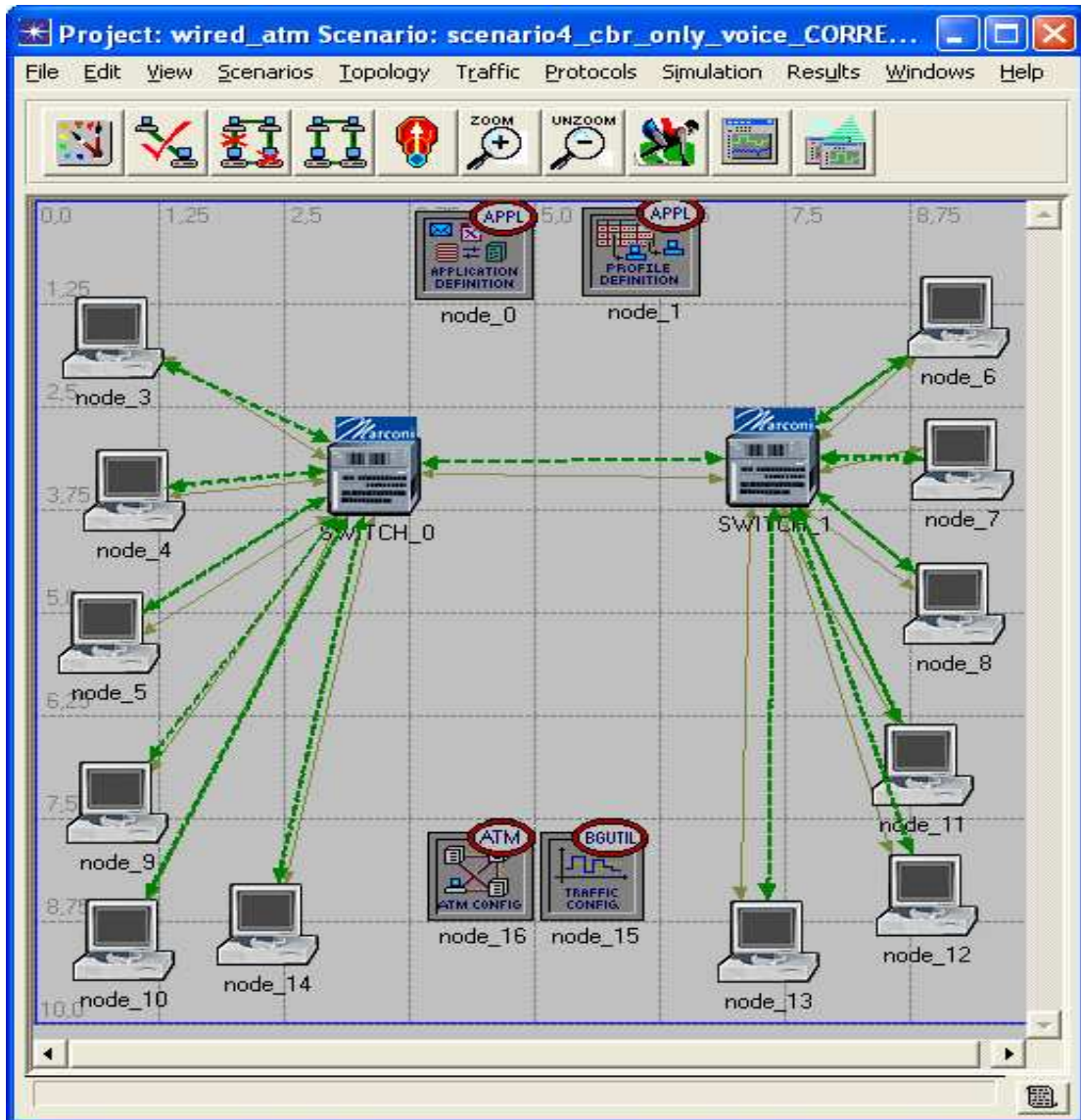
Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα με την υπηρεσία CBR ήταν :

- Το **AAL2_G729_1Voice** που αναπαριστά κίνηση φωνής πάνω από ATM πρωτόκολλο.
- Το **atm_spx** που αναπαριστά μια μη μόνιμη νοητή σύνδεση πάνω από το ATM δίκτυο και μπορεί να είναι μονοπάτι (path) ή και κανάλι (channel).
- Την **atm_adv** ζεύξη για να ενωθούν οι υπολογιστές και οι μεταγωγείς μεταξύ τους που έδινε επιλογές όσον αφορά τις υλοποιήσιμες ταχύτητες.
- Τον κόμβο **atm_uni_client_adv** που αποτελεί ένα ATM κόμβο που υποστηρίζει εφαρμογές (applications) σαν πελάτης (client) ή εξυπηρετητής (server) καθώς και τα ATM, AAL2, AAL5 πρωτόκολλα. Ταυτόχρονα δεν έχει κάποιους περιορισμούς, σαν κόμβος και μπορεί να υλοποιήσει ζεύξεις διαφορετικών ταχυτήτων.
- Τον **FS_FRRunnerLE155_1s_a16** μεταγωγέα που ανήκει στην εταιρεία FORE Systems και αποτελεί έναν ATM μεταγωγέα με 16 πόρτες (ports), που μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες έως και 2.6 Gbps, LES (LAN Emulation Server) και BUS (Broadcast Unknown Server).

5.2 Μελέτη Ενσύρματου ATM Δικτύου

5.2.1 (1^ο) Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου για την CBR Υπηρεσία

Η CBR υπηρεσία χρησιμοποιείται για εφαρμογές που τρέχουν σε πραγματικό χρόνο όπως η φωνή. Αφού έχει προηγηθεί ο καθορισμός της έκτασης στην οποία θα δημιουργηθεί το δίκτυο, καθώς και η επιλογή των κατάλληλων βιβλιοθηκών, τοποθετούνται στα κατάλληλα σημεία οι κόμβοι και οι μεταγωγείς. Η διάταξη του δικτύου φαίνεται στο σχήμα 5.2.



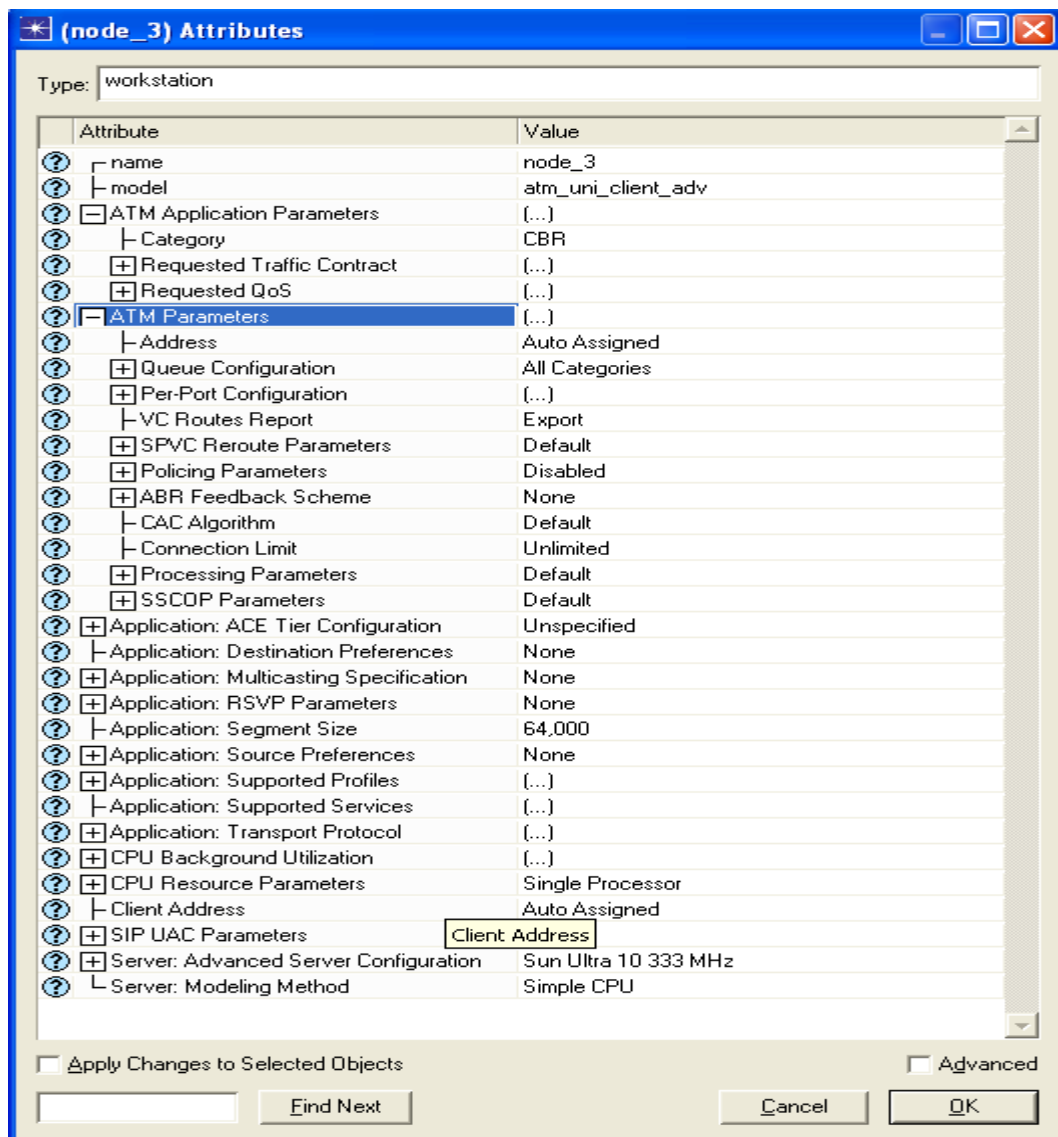
Σχήμα 5.2 Διάταξη του δικτύου για την CBR υπηρεσία.

Για να υλοποιηθεί το δίκτυο πλήρως, χρειάζεται να τοποθετηθούν οι κατάλληλες ζεύξεις και να οριστούν οι ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων (data rates), καθώς και το πρωτόκολλο μεταφοράς. Έτσι, όπως προανέφερα, με την **atm_adv** ζεύξη ενώνονται οι υπολογιστές και οι μεταγωγείς. Κάθε στοιχείο στο OPNET έχει κάποιες παράμετρους

(attributes) τις οποίες μπορούμε να μεταβάλλουμε. Παρακάτω ακολουθεί αναφορά στους κόμβους και τις παραμέτρους τους.

- Στον κόμβο 3 του δικτύου που αναπαριστά το μοντέλο **atm_uni_client_adv** υπάρχουν πολλές παράμετροι (σχήμα 5.3), οι οποίες και καθορίζουν πλήρως την συμπεριφορά του κόμβου. Παρακάτω ακολουθεί αναφορά στις πιο σημαντικές παραμέτρους του κόμβου αυτού:

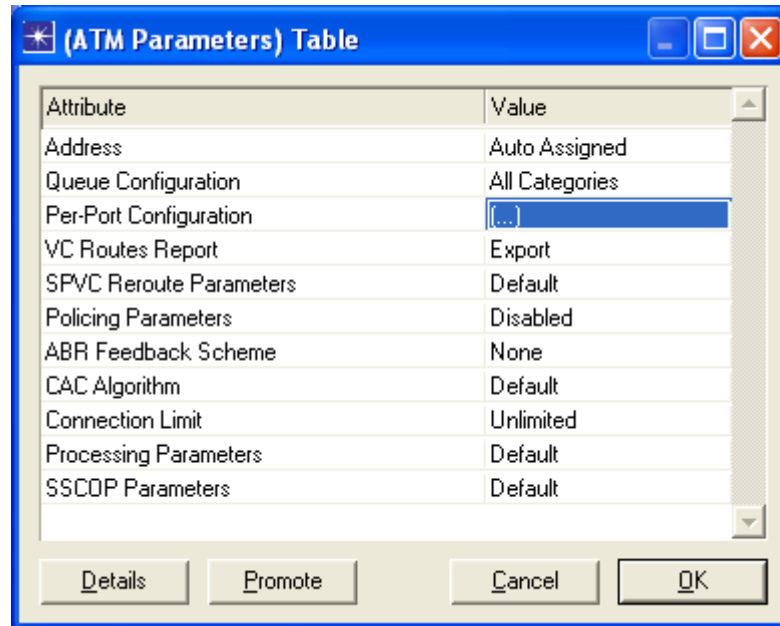
α) Οι ATM Application Parameters του κόμβου πρέπει να είναι σε απόλυτη συμφωνία με το συμβόλαιο κίνησης (Traffic Contract) που θα καθορίσουμε στο **atm_spvx** γιατί αλλιώς δημιουργούνται διαφωνίες που εμποδίζουν την σωστή λειτουργία του δικτύου. Ένα παράδειγμα διαφωνίας θα ήταν στο κόμβο 3 (node 3) να έχουμε ορίσει το ζητούμενο CDV να είναι 0.0005 ενώ στο **atm_spvx** να είχαμε ορίσει το CDV 0.05.



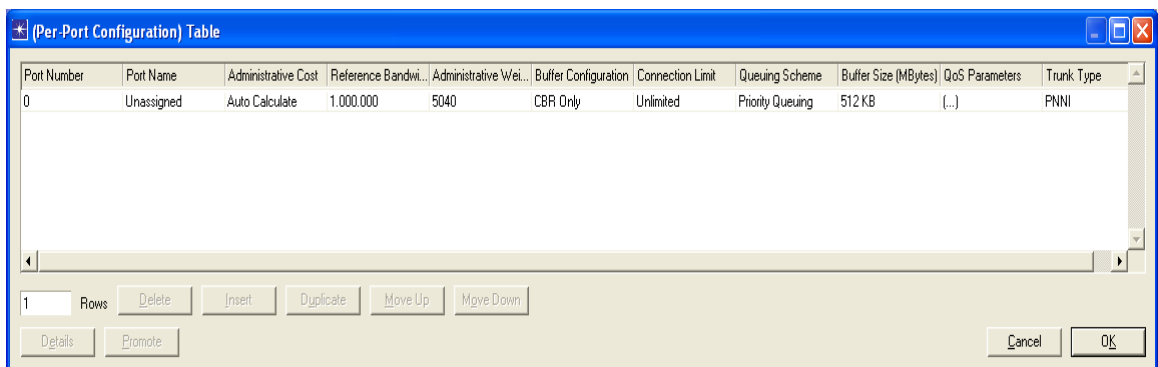
Σχήμα 5.3 Παράμετροι των ATM σταθμών.

β) Οι ATM παράμετροι (ATM Parameters) και πιο συγκεκριμένα, η παράμετρος Per Port Configuration, η οποία περιέχει, όπως φαίνεται και από το όνομά της, τις ρυθμίσεις όλων των θυρών του κόμβου, όπως παραδείγματος χάρη το είδος

χρήσης ουράς (Queuing Scheme). Εδώ ορίστηκε χρήση ουράς με βάση την προτεραιότητα (Priority Queuing) σε όλες τις θύρες. Αν και το συγκεκριμένο σχήμα δεν έχει νόημα για το εξεταζόμενο σενάριο, λόγω του ότι το σενάριο υποστηρίζει μία μόνο υπηρεσία και συνεπώς οποιοδήποτε σχήμα ουράς να επέλεγα, το δίκτυο θα αντιδρούσε με τον ίδιο τρόπο. Το όνομα της θύρας (Port Name) το άφησα default. Όσον αφορά την ρύθμιση του Buffer (Buffer Configuration) επελέχθηκε CBR only. Ενώ στο (Buffer Size) άφησα την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή δηλαδή τα 512 KB. Με προκαθορισμένες επιλογές (PNNI) αφέθηκε επίσης ο τύπος της τηλεπικοινωνιακής γραμμής (Trunk Type).

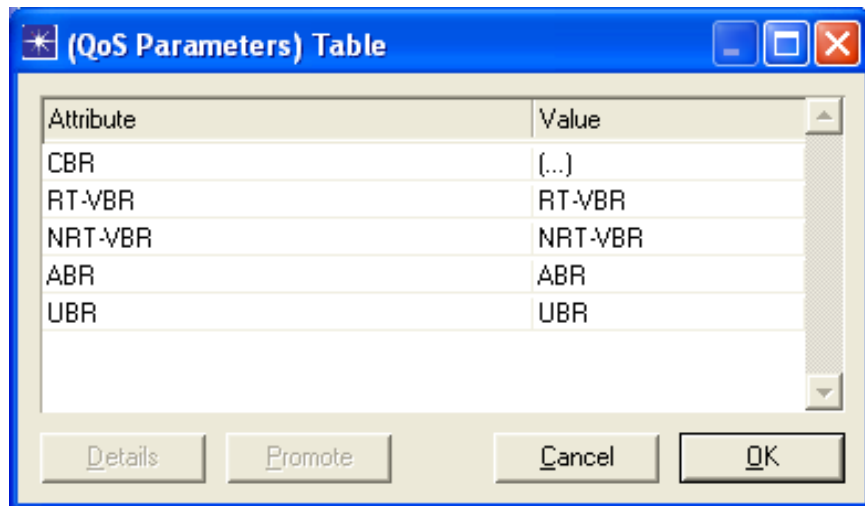


Σχήμα 5.4 ATM παράμετροι (Παράμετρος Κόμβων)



Σχήμα 5.5 Per Port Configuration Table (Παράμετρος των ATM παραμέτρων)

Ένα από τα πιο σημαντικά σημεία στο OPNET είναι ο καθορισμός της Ποιότητας Υπηρεσιών στις θύρες των κόμβων (QoS Parameters). Αυτό συμβαίνει γιατί η ζητούμενη ποιότητα υπηρεσιών πρέπει να βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με αυτήν που δύναται να παρέχει ο κόμβος και κατά συνέπεια το δίκτυο. Ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων φαίνεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Παράμετροι της Ποιότητας Υπηρεσιών.

Έτσι, οι παράμετροι της CBR υπηρεσίας, δηλαδή η καθυστέρηση μεταφοράς κελιών CTD (Cell Transfer Delay) ορίστηκε στα 3 msec και η διακύμανση καθυστέρησης κελιών CDV (Cell Delay Variation) στα 0,005 msec. Τέλος, ορίστηκε $1 \cdot 10^{-5}$ το ποσοστό απώλειας κελιών CLR (Cell Loss Ratio)*.

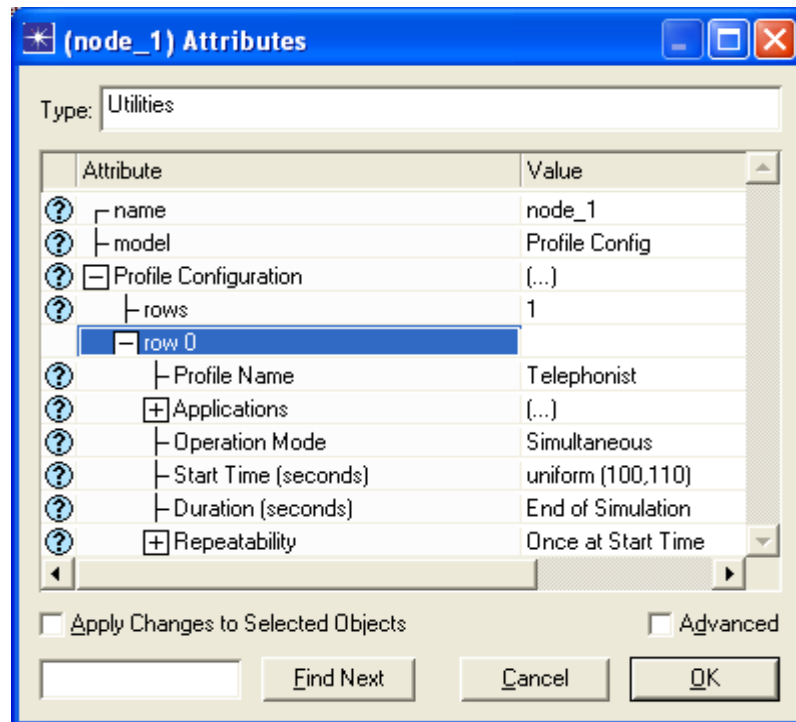
γ) Χρειάστηκε επίσης να καθορισθούν στους κόμβους οι υποστηριζόμενες υπηρεσίες (supported services), όπου επέλεξα την φωνή πάνω από IP (voice over IP-GSM Quality).

δ) Σαν πρωτόκολλο μεταφοράς (Transport Protocol) τέθηκε το AAL2 για την μεταφορά φωνής και αφέθηκαν προκαθορισμένες οι επόμενες επιλογές. Ο λόγος που τέθηκε το AAL2 ως πρωτόκολλο μεταφοράς ήταν ότι, σύμφωνα με αναφορές, είναι κοινά αποδεκτό ότι αποτελεί την καλύτερη επιλογή για την μεταφορά φωνής, ενώ εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το εύρος ζώνης, για εφαρμογές χαμηλού ρυθμού μετάδοσης.

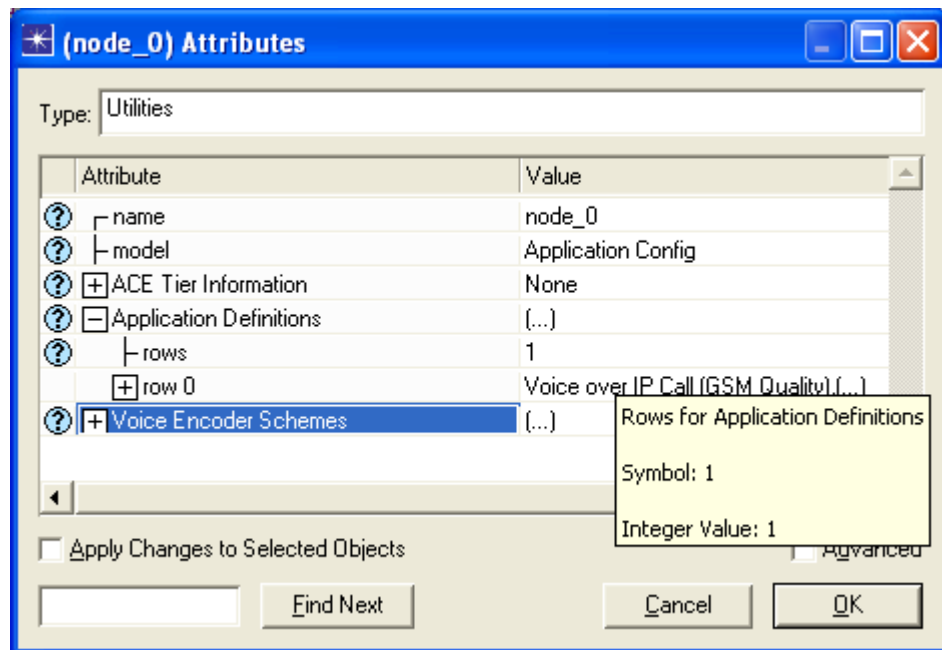
ε) Ο καθορισμός των προφίλ γίνεται εφικτός με την βοήθεια κατάλληλου εικονιδίου που υπάρχει στην παλέτα αντικειμένων. Αυτό το εικονίδιο ονομάζεται “Profile Config” και είναι απαραίτητο στοιχείο της προσομοίωσης. Ουσιαστικά ένα είδος προφίλ εφαρμόζεται σε ένα σταθμό, σε ένα τοπικό δίκτυο ή μια ομάδα χρηστών κ.τ.λ. Το προφίλ καθορίζει τις εφαρμογές που χρησιμοποιεί ένας χρήστης ή μια ομάδα χρηστών. Στο σχήμα 5.7 που ακολουθεί μπορεί κάποιος να δει το προφίλ που έχει οριστεί για αυτήν την προσομοίωση, τις εφαρμογές (applications) που μπορεί να τρέξουν κάτω από αυτό το προφίλ, τον χρόνο έναρξης (start time) και την κατανομή που έχει επιλεγεί, τη διάρκεια (duration) και την ικανότητα επανάληψης (repeatability) που εδώ έχει οριστεί να συμβαίνει μια φορά στην αρχή της προσομοίωσης.

ε) Επίσης άλλο σημαντικό, και απαραίτητο για την προσομοίωση, εικονίδιο είναι το “Application Config” το οποίο οριοθετεί τις εφαρμογές οι οποίες θα λάβουν χώρα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτές οι εφαρμογές αντιστοιχούν σε ένα προφίλ χρήστη. Όπως φαίνεται, εδώ έχει ορισθεί να τρέχει η εφαρμογή Voice over IP Call GSM Quality. Ως αποδεκτά σχήματα κωδικοποίησης φωνής (Voice Encoder) επέλεξα όλα τα σχήματα (All Schemes).

* Οι τιμές των παραμέτρων επιλέχθηκαν με βάση διάφορες αναφορές ως αποδεκτές για την συγκεκριμένη υπηρεσία.

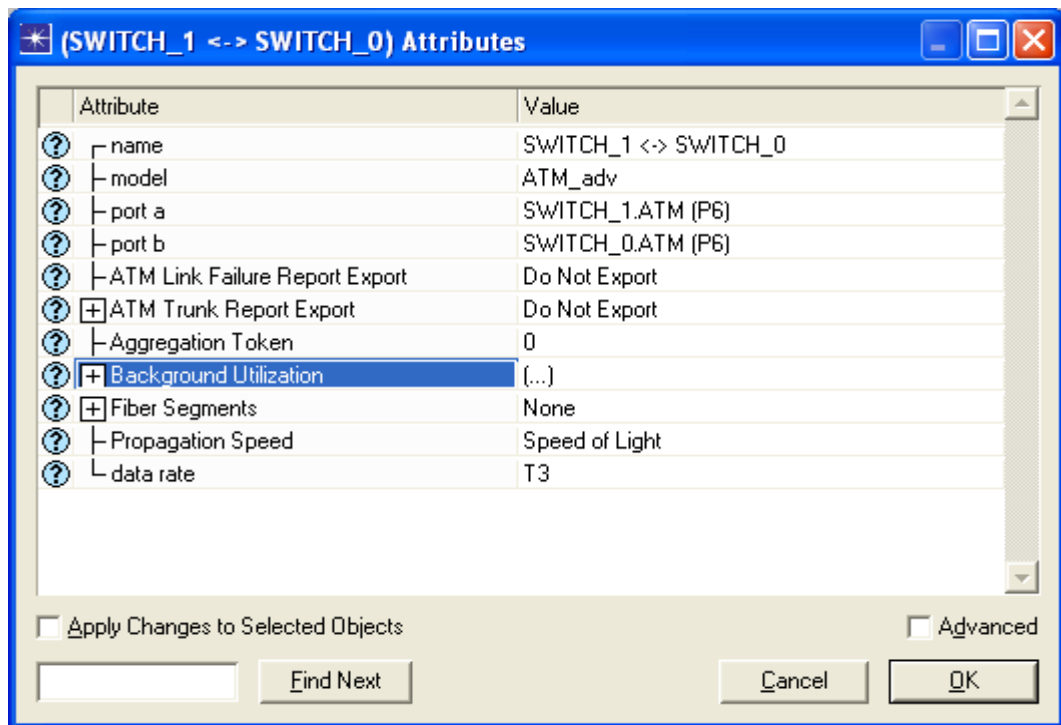


Σχήμα 5.7 Παράμετροι του Profile Config



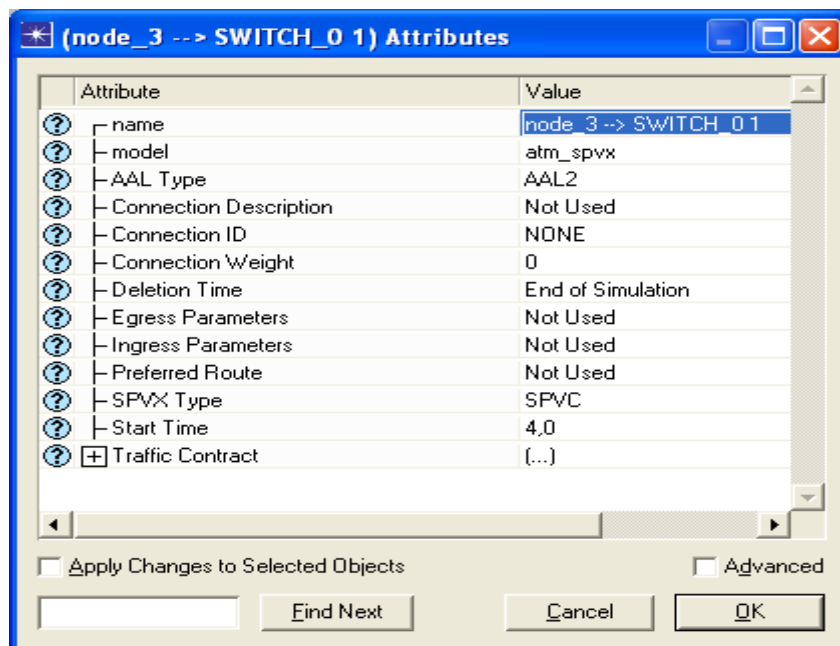
Σχήμα 5.8 Παράμετροι του Application Config

- Η **atm_adv** ζεύξη σαν παραμέτρους έχει: το όνομα, το μοντέλο, τις θύρες, (port) με τις οποίες είναι συνδεδεμένη, την εξαγωγή ή όχι κάποιων δεδομένων, την χρήση που γίνεται στο δίκτυο (Background Utilization) –η οποία τέθηκε 70%- την ύπαρξη ή όχι διαχωρισμού σε τμήματα (segments) του μέσου μετάδοσης, την ταχύτητα μετάδοσης και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που επέλεξα να είναι T3 (σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9 Παράμετροι της atm_adv ζεύξης

- Το ATM όμως για να υλοποιηθεί απαιτεί επιπλέον την ύπαρξη κάποιων νοητών μονοπατιών (VP) ή καναλιών (VC) μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Έτσι στην παλέτα αντικειμένων υπάρχει το κατάλληλο εικονίδιο το οποίο δημιουργεί αυτές τις νοητές συνδέσεις μεταξύ των υπάρχοντων κόμβων στο δίκτυο. Το εικονίδιο αυτό είναι το **atm_spvx**, όπως όλα τα εικονίδια στο OPNET, έχει διάφορες παραμέτρους όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.10.



Σχήμα 5.10 Παράμετροι του atm_spvx

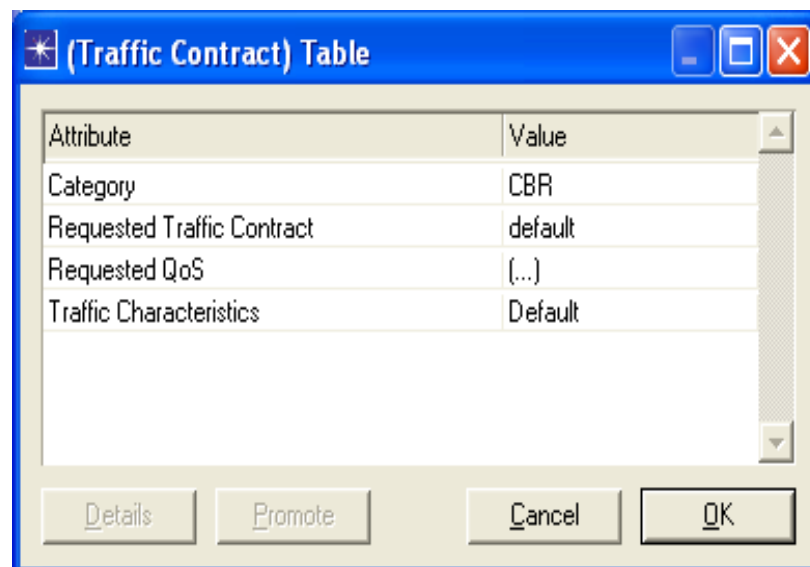
Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι, το όνομα της σύνδεσης και ο τύπος AAL, όπου προτιμήθηκε το AAL2 και αυτό γιατί με το AAL2 έχουμε μια ικανοποιητική μετάδοση φωνής και ταυτόχρονη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης, η ταυτότητα της σύνδεσης, το βάρος της, η προτιμώμενη διαδρομή, ο χρόνος έναρξης, και το είδος του συμβολαίου που υποστηρίζει η σύνδεση, δηλαδή το είδος του συμβολαίου κίνησης (Traffic Contract) που θέλουμε να εφαρμόσουμε.

Εδώ κάποιες φορές είναι αρκετό να ορίσουμε μόνο ότι το συμβόλαιο κίνησης (Traffic Contract) αφορά αποκλειστικά την CBR υπηρεσία (CBR only) αφήνοντας με προκαθορισμένες τιμές τις υπόλοιπες παραμέτρους. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, ορίσθηκαν μέσω της επιλογής Edit... νέες τιμές για τις μεταβλητές που καθορίζουν το συμβόλαιο κίνησης, τις οποίες μετά από μελέτη, βρέθηκαν σύμφωνες με διάφορες επιστημονικές αναφορές για την CBR υπηρεσία.

Έτσι, όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.11, η κατηγορία (category) ορίσθηκε ως CBR, το Απαιτούμενο Συμβόλαιο Κίνησης (Requested Traffic Contract) προκαθορισμένο (default) για CBR, όπως και τα χαρακτηριστικά κίνησης (Traffic Characteristics). Η μόνη παράμετρος που υπέστη μεταβολή είναι η Απαιτούμενη Ποιότητα Υπηρεσιών (Requested QoS).

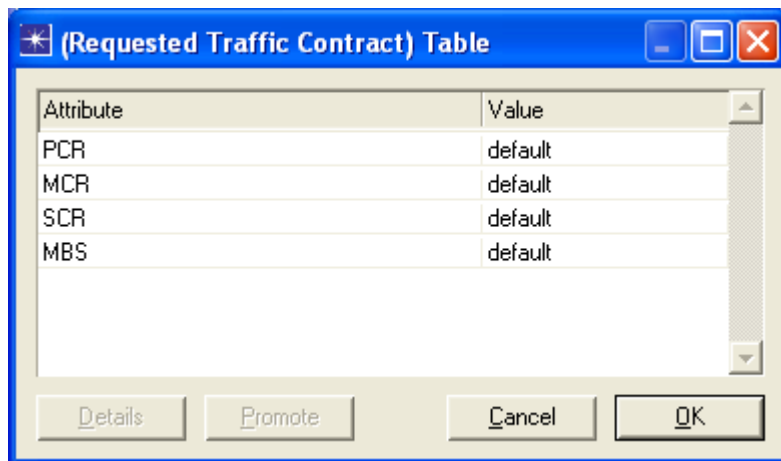
Από τον σχήμα 5.11 φαίνεται ότι έχουν επιλεγθεί διαφορετικές τιμές από τις προκαθορισμένες (Default) για τις συγκεκριμένες παραμέτρους. Ο πίνακας αυτών των παραμέτρων φαίνεται στο σχήμα 5.15. Συγκεκριμένα για την καθυστέρηση μεταφοράς κελιών CTD (Cell Transfer Delay), την διακύμανση καθυστέρησης κελιών CDV (Cell Delay Variation) και το ποσοστό χαμένων κελιών CLR (Cell Loss Ratio) τέθηκαν οι ίδιες τιμές με αυτές που είχα θέσει στις ATM παράμετρος των κόμβων.

Στα σχήματα 5.12, 5.13, φαίνονται ποιές παράμετροι περιέχει το Requested Traffic Contract ενώ στο 5.14 αυτές που αφορούν τα χαρακτηριστικά κίνησης.



Attribute	Value
Category	CBR
Requested Traffic Contract	default
Requested QoS	(...)
Traffic Characteristics	Default

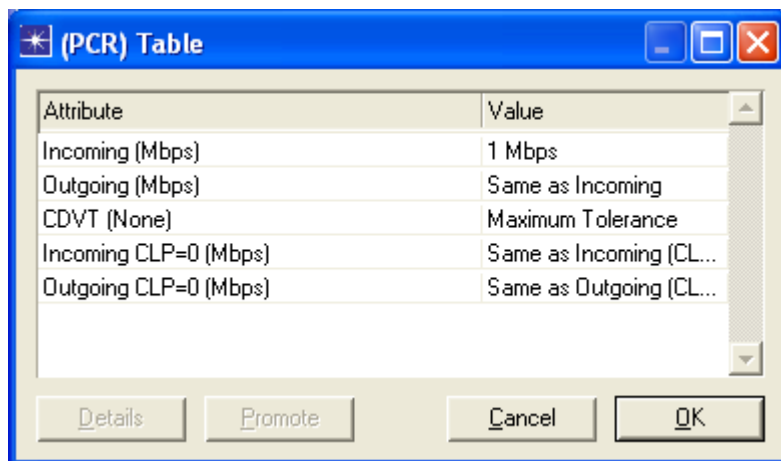
Σχήμα 5.11 Πίνακας Συμβολαίου Κίνησης (Παράμετροι του atm_spx)



Attribute	Value
PCR	default
MCR	default
SCR	default
MBS	default

Buttons: Details, Promote, Cancel, OK

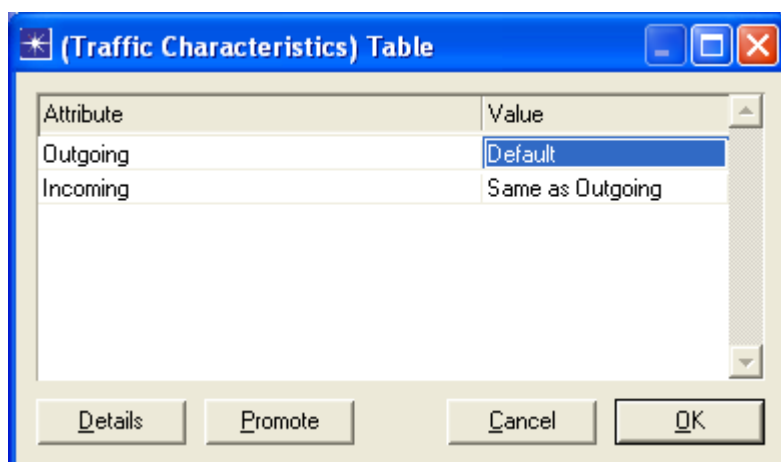
Σχήμα 5.12 Πίνακας αιτούμενου συμβολαίου κίνησης.



Attribute	Value
Incoming (Mbps)	1 Mbps
Outgoing (Mbps)	Same as Incoming
CDVT (None)	Maximum Tolerance
Incoming CLP=0 (Mbps)	Same as Incoming (CL...
Outgoing CLP=0 (Mbps)	Same as Outgoing (CL...

Buttons: Details, Promote, Cancel, OK

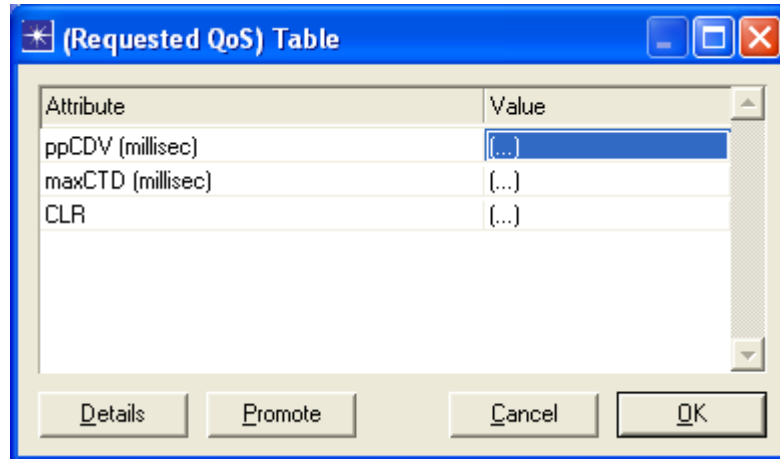
Σχήμα 5.13 Πίνακας που δείχνει την default τιμή για το PCR.



Attribute	Value
Outgoing	Default
Incoming	Same as Outgoing

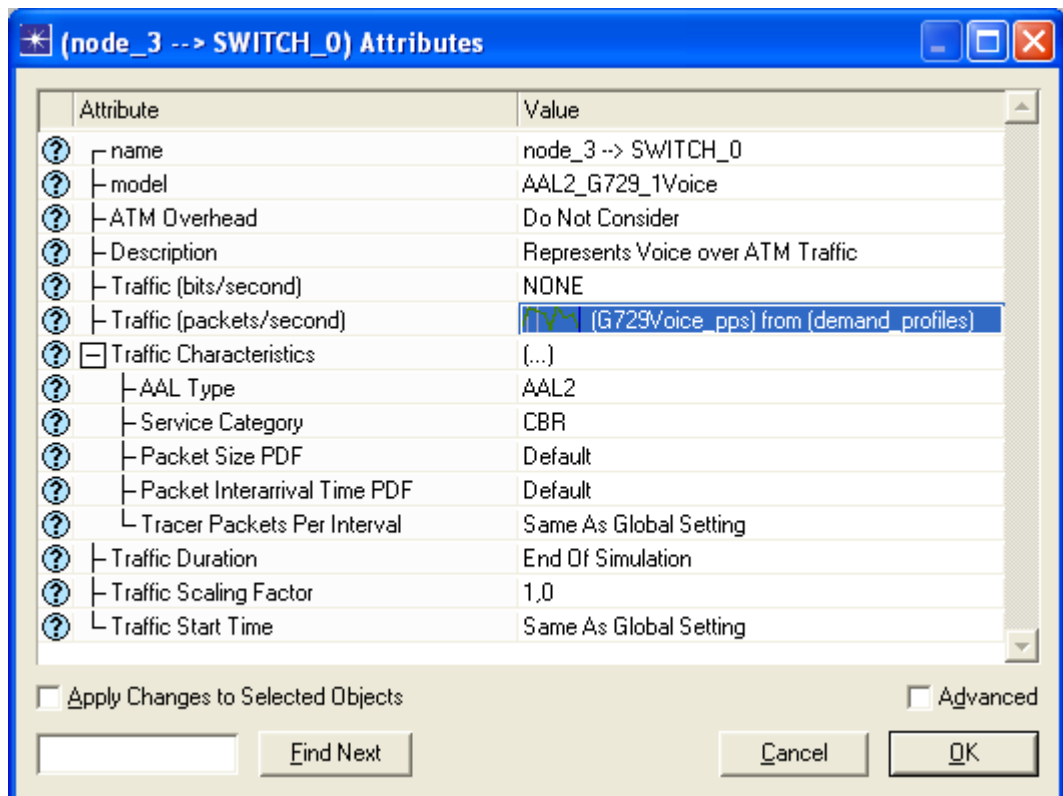
Buttons: Details, Promote, Cancel, OK

Σχήμα 5.14 Πίνακας χαρακτηριστικών κίνησης



Σχήμα 5.15 Πίνακας της αιτούμενης Ποιότητας Υπηρεσιών από την ζητούμενη σύνδεση.

- Για να προσομοιωθεί η κίνηση φωνής έπρεπε να δημιουργηθεί κάποια ροή κίνησης (demand) η οποία θα αντιστοιχούσε με την ύπαρξη φωνής στο δίκτυο. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση της **AAL2_G729_1Voice** η οποία υπάρχει στην παλέτα αντικειμένων. Το εικονίδιο αυτό αναπαριστά κίνηση φωνής πάνω από το ATM δίκτυο προς μια κατεύθυνση. Εδώ, όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.16 που ακολουθεί, καθορίστηκε το AAL2 που ανήκει στα χαρακτηριστικά της κίνησης (Traffic Characteristics), η CBR ως υπηρεσία, καθώς και ο ρυθμός της παραγόμενης κίνησης, ενώ όλες οι άλλες παραμέτρους, αφέθηκαν με την προκαθορισμένη τους τιμή.



Σχήμα 5.16 Παράμετροι της AAL2_G729_1Voice demand

- Τέλος χρησιμοποιήθηκαν ATM μεταγωγείς της Fore Systems με 16 θύρες. Οι ATM παράμετροι είναι το πιο σημαντικό κομμάτι στον καθορισμό της λειτουργίας του μεταγωγέα γιατί πρέπει να συμφωνούν με τις άλλες παραμέτρους των κόμβων και των ροών κίνησης. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 5.18. Φυσικά και εδώ πρέπει να γίνει προσεκτικός καθορισμός των παραμέτρων της κάθε θύρας. Η ποιότητα υπηρεσιών ανά θύρα του μεταγωγέα πρέπει να είναι σύμφωνη με τις παραμέτρους που ορίσαμε στα άλλα στοιχεία του δικτύου σχήμα 5.17.

Port Number	Port Name	Administrative Cost	Reference Bandwidth	Administrative Weight	Buffer Configuration	Connection Limit	Queuing Scheme	Buffer Size (MBytes)	QoS Parameters	Trunk Type
0	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
1	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
2	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
3	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
4	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
5	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI
6	Unassigned	Auto Calculate	1.000.000	5040	CBR Only	Unlimited	Priority Queuing	512 KB	(...)	PNNI

Σχήμα 5.17 Per Port Configuration Table του μεταγωγέα. (Ανήκει στις ATM παραμέτρους)

Attribute	Value
name	SWITCH_0
model	FS_FRrunnerLE155_1s_a16
ATM Parameters	(...)
Address	Auto Assigned
Queue Configuration	CBR Only
Per-Port Configuration	(...)
VC Routes Report	Export
SPVC Reroute Parameters	Default
Policing Parameters	(...)
ABR Feedback Scheme	ERICA NO VSVD
CAC Algorithm	Default
Connection Limit	Unlimited
Processing Parameters	Default
SSCOP Parameters	Default
ATM Routing Parameters	(...)
Distance Vector Parameters	Default
PNNI Parameters	(...)
LANE ELAN Name	MULTIMEDIA NETWORK

Σχήμα 5.18 Παράμετροι του ATM μεταγωγέα.

5.2.1.1 Συλλογή Στατιστικών Στοιχείων

Μετά τον καθορισμό των παραμέτρων και την τοποθέτηση των κατάλληλων αντικειμένων στην επιφάνεια εργασίας του OPNET, απαραίτητο στοιχείο, ώστε η προσομοίωση να έχει νόημα, είναι ο καθορισμός των στατιστικών στοιχείων που θα πρέπει το πρόγραμμα να συλλέξει. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες: τα οικουμενικά στατιστικά στοιχεία (global statistics), τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τους κόμβους του δικτύου (node statistics) και τα στατιστικά στοιχεία των συνδέσεων (link statistics). Για την συγκεκριμένη προσομοίωση θα πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή στο κατά πόσο η CBR υπηρεσία, σε αυτό το ενσύρματο ATM δίκτυο, μπορεί να υποστηρίξει τις απαιτήσεις των εφαρμογών που τρέχουν.

Έτσι σημαντική πληροφορία μας παρέχει το CDV, το CLR, η μέση καθυστέρηση για το πρωτόκολλο μεταφοράς (Transfer Protocol) π.χ το AAL5, το BER, η κίνηση που εστάληκε σε σύγκριση με αυτή που ελήφθη, η απόδοση της σύνδεσης κ.α. Για αυτές τις παράμετρους αλλά και πολλές άλλες το πρόγραμμα προσφέρει την δυνατότητα συλλογής πληροφοριών, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η απόδοση του δικτύου. Αφού λοιπόν καθορίστηκαν οι πιο σημαντικές παράμετροι, προσδιορίστηκαν.

οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα γίνει η προσομοίωση. Οι βασικότερες από αυτές είναι: η διάρκεια, η ύπαρξη κάποιου φακέλου που θα περιέχει συμβουλές και παρατηρήσεις παραγόμενες από το ίδιο το πρόγραμμα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης ή όχι, η εξαγωγή αναφορών κ.τ.λ. Μετά τον καθορισμό των παραπάνω στοιχείων το εικονικό δίκτυο είναι έτοιμο προς προσομοίωση.

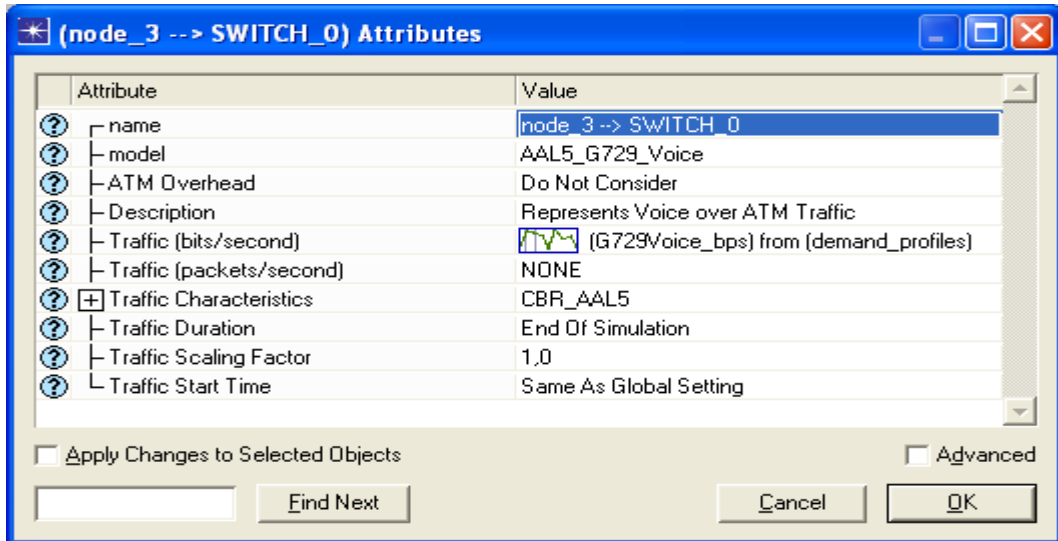
5.2.2 (2^ο) Πείραμα Υλοποίηση δικτύου - CBR υπηρεσία με Server.

Η υλοποίηση ενσύρματου δικτύου το οποίο τρέχει εκτός από φωνή GSM ποιότητας (Voice), ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (E-Mail) και μεταφορά αρχείων (File Transfer), δεν δημιούργησε αρχικά ιδιαίτερα προβλήματα στην υλοποίηση. Το στοιχείο το οποίο προστέθηκε στο δίκτυο ήταν ένας Server, ο οποίος θα εξυπηρετούσε την μεταφορά αρχείων και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Ταυτόχρονα, όλοι οι κόμβοι του δικτύου λειτουργούν σαν πελάτες ή εξυπηρετητές όσον αφορά την εφαρμογή της φωνής. Ο server που προστέθηκε στην δομή του δικτύου έχει το όνομα **atm_uni_server_adv** και υπάρχει στην παλέττα. Μπορεί να συνδεθεί με ζεύξεις διαφόρων ταχυτήτων και υποστηρίζει ATM κίνηση.

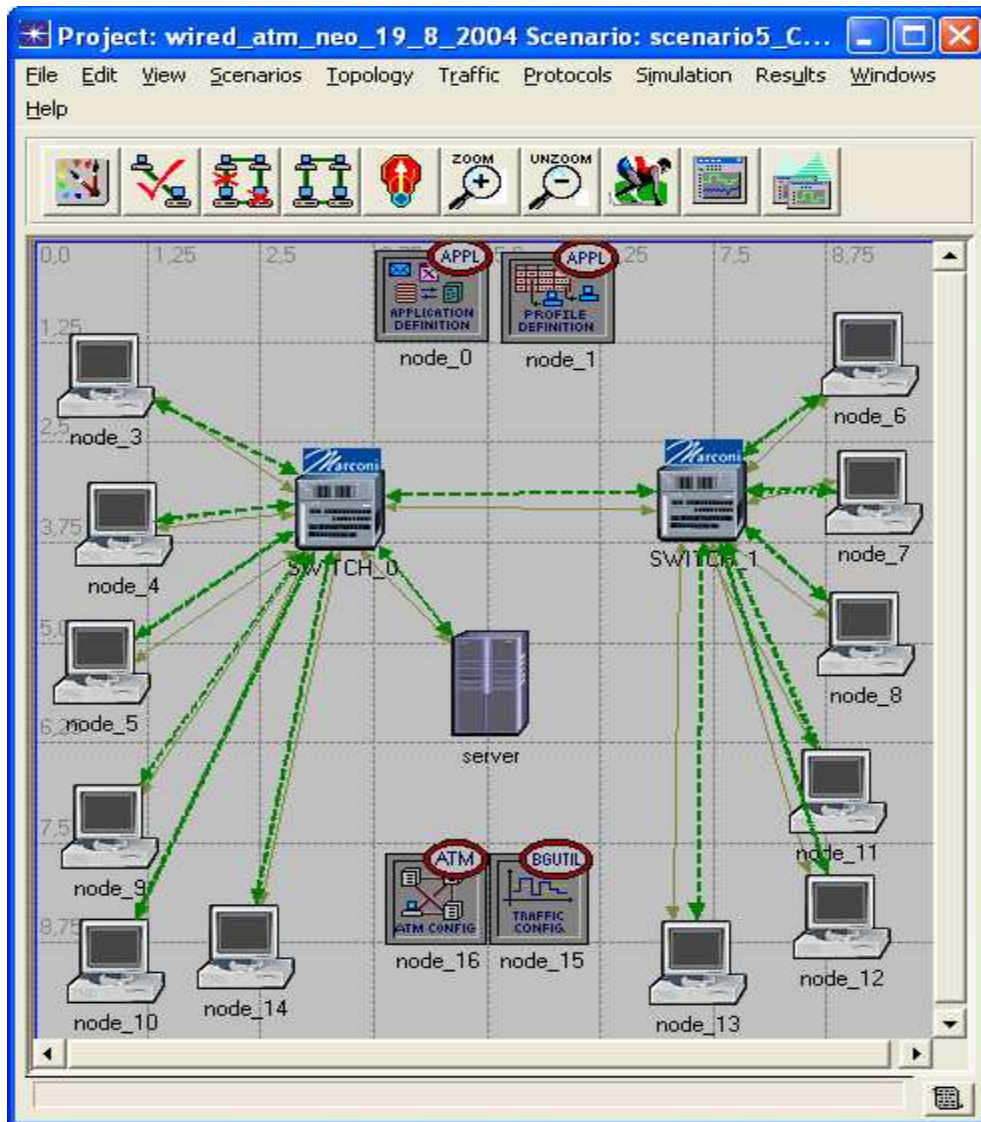
Βέβαια κάποιος που κάνει προσομοίωση ATM δικτύου πρέπει να μην ξεχνάει ότι εφαρμογές όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και η μεταφορά αρχείων δεν πραγματοποιούνται με το AAL2 πρωτόκολλο μεταφοράς αλλά απαιτείται η χρήση του AAL5. Αυτό ήταν και το μοναδικό σημείο που ήθελε ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε όλες οι νοητές συνδέσεις να υλοποιούνται με αυτό το πρωτόκολλο.

Επίσης έπρεπε να αλλαχθεί και η ροή κίνησης όσον αφορά την φωνή όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.19, δηλαδή να καθορισθεί ότι το μοντέλο κίνησης θα τρέχει με το AAL5. Παράλληλα καθορίστηκε ο AAL τύπος και η κατηγορία υπηρεσίας, που αποτελούν παραμέτρους των χαρακτηριστικών κίνησης της φωνής.

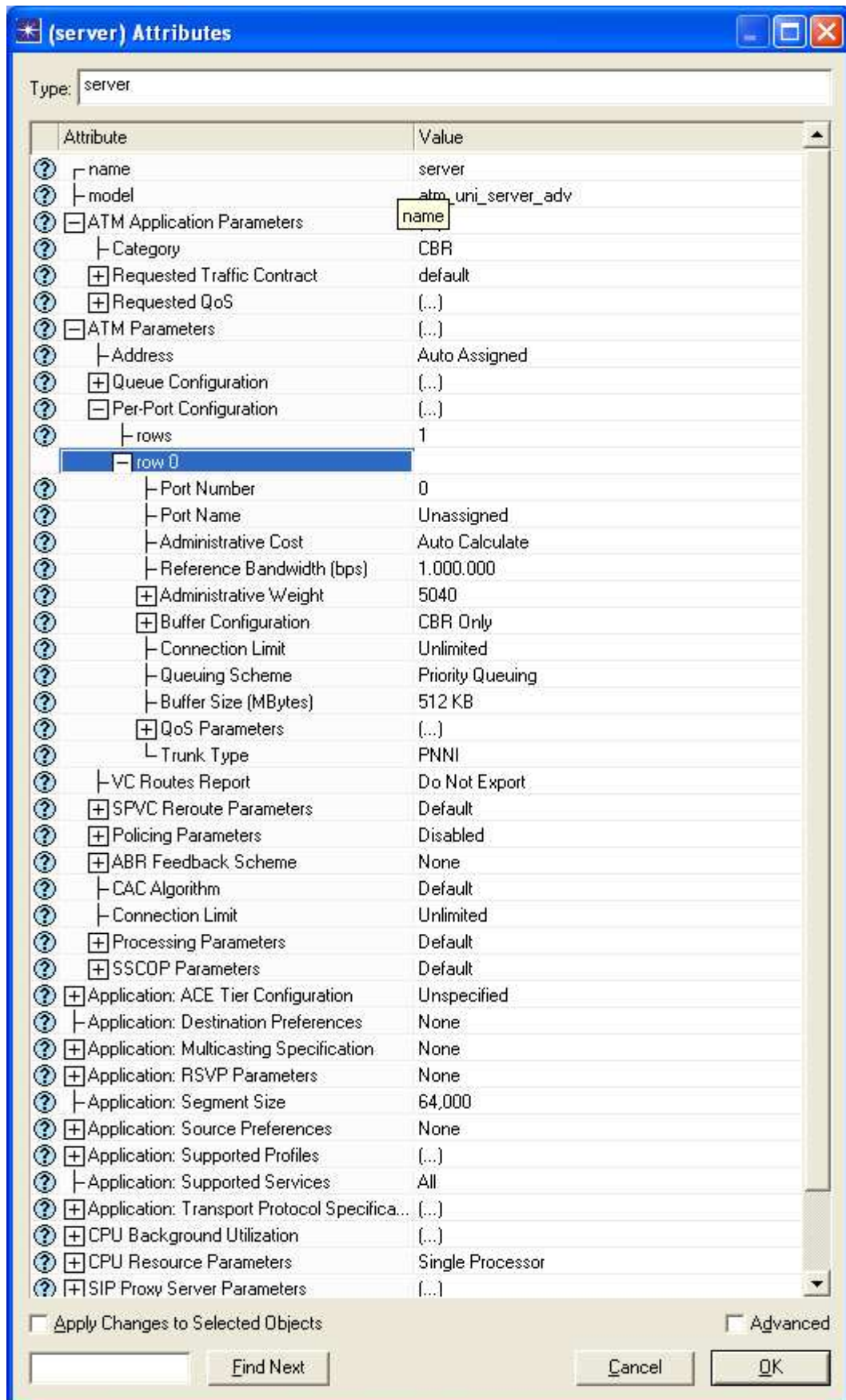
Τέλος, καθορίστηκαν δυο προφίλ χρηστών. Η μία ομάδα ονομάζεται Μαθητές (Student) και χρησιμοποιούν τις εφαρμογές μεταφοράς αρχείων και ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Ενώ η δεύτερη ομάδα οι Πωλητές (Sales Person) χρησιμοποιούν την φωνή. Αυτές οι εφαρμογές καθορίστηκαν και στο Application Config καθώς και στους κόμβους που επρόκειτο να υποστηρίζουν την εκάστοτε εφαρμογή. Όλες οι άλλες παράμετροι παρέμειναν αμετάβλητες σε σχέση με το πρώτο πείραμα.



Σχήμα 5.19 Παράμετροι της AAL5_G729_Voice demand



Σχήμα 5.20 Διάταξη του δικτύου για την CBR υπηρεσία με server.



Σχήμα 5.21 Παράμετροι του server.

5.2.3 (3^ο) Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου - VBR υπηρεσία

Η VBR υπηρεσία χωρίζεται, όπως προανέφερα και στο δεύτερο κεφάλαιο της πτυχιακής, σε δυο κατηγορίες: την rt-VBR και την nrt-VBR. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε πηγές που παράγουν κίνηση με ρυθμό ο οποίος ποικίλει σε συνάρτηση με το χρόνο αλλά είναι ευαίσθητες σε χρονικές καθυστερήσεις. Ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης για τις περισσότερες εφαρμογές αυτής της υπηρεσίας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών SCR και PCR. Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου και προσδιορίζεται από τις παραμέτρους PCR, CTDV, SCR, BT [14]. Λόγω των πολλών ομοιοτήτων της rt-VBR με την CBR προτίμησα να υλοποιήσω στο τρίτο πείραμα, ένα δίκτυο που τρέχει την nrt-VBR υπηρεσία ώστε να εξεταστεί η επάρκεια του δικτύου και σε αυτήν την περίπτωση.

Οι αλλαγές που έκανα όσον αφορά τις παραμέτρους των κόμβων φαίνονται στις πέντε πρώτες στήλες του πίνακα 5.1. Φυσικά οι παράμετροι αυτές είναι σε συμφωνία με αυτές που όρισα στους μεταγωγείς.

Η τελευταία στήλη του πίνακα, υποδηλώνει τις υποστηριζόμενες εφαρμογές, που όρισα στο Application Configuration, να τρέχουν σε αυτό το δίκτυο. Ενώ, η τρίτη δείχνει ποιά τρία προφίλ επελέχθηκαν για αυτήν την υλοποίηση. Κάθε κόμβος υποστηρίζει ένα προφίλ. Έτσι σε ένα σύνολο δώδεκα κόμβων, έξι υποστηρίζουν το προφίλ του ερευνητή (Researcher), τρεις το προφίλ του πελάτη (Commerce Customer) και τρεις αυτό του πωλητή (Sales Person). Κάθε ένα από αυτά τα προφίλ χρηστών ορίστηκε να χρησιμοποιεί συγκεκριμένες εφαρμογές, ο Ερευνητής χρησιμοποιεί το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και την πρόσβαση σε βάση δεδομένων, ο Πελάτης το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και ο πωλητής και τις τρεις εφαρμογές.

ATM Parameters	ATM Application Parameters	Application: Supported Profiles	Application: Transport Protocol	CPU Background Utilization	Application Config: Supported Applications
<i>Queue Configuration:</i> nrt- VBR <i>Per-Port Configuration:</i> Buffer <i>Configuration:</i> nrt-VBR only <i>Queuing Scheme:</i> Priority Queuing <i>QoS Parameters:</i> nrt-VBR: CDV:20μsec CTD:400msec CLR:1E-05	<i>Category:</i> nrt VBR <i>Requested Traffic Contract:</i> PCR 8 Mbps MCR:2Mbps <i>Requested QoS</i> CDV:0.02msec CTD:400msec CLR:1E-05	Researcher Commerce Customer Sales Person	AAL5	70%	Database Access (light) Email (light) Fileprint (light)

Πίνακας 5.1 Παράμετροι κόμβων και καθορισμός εφαρμογών στο δίκτυο που υποστηρίζει την nrt-VBR υπηρεσία.

Τέλος, όσον αφορά το νοητό κύκλωμα ορίστηκε το AAL5 ως το πρωτόκολλο μεταφοράς και ως συμβόλαιο κίνησης (Traffic Contract) έθεσα nrt- VBR only. Όλες οι άλλες παράμετροι παρέμειναν, όπως ήταν και στα άλλα δυο προηγούμενα πειράματα.

5.2.4 (4^ο) Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου - UBR υπηρεσία.

Το τέταρτο πείραμα αφορά την UBR υπηρεσία. Όπως είναι γνωστό αυτή η υπηρεσία υποστηρίζει εφαρμογές που είναι ανεκτικές όσον αφορά την καθυστέρηση. Επίσης, δεν παρέχει εγγυήσεις στο ATM στρώμα. Χρησιμοποιείται κατά κόρον για μεταφορά δεδομένων ενώ δεν περιορίζεται από δεσμεύσεις σχετικές με την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών. Αυτή η υπηρεσία χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που μπορεί να γίνει επανάληψη της αποστολής χαμένων δεδομένων.

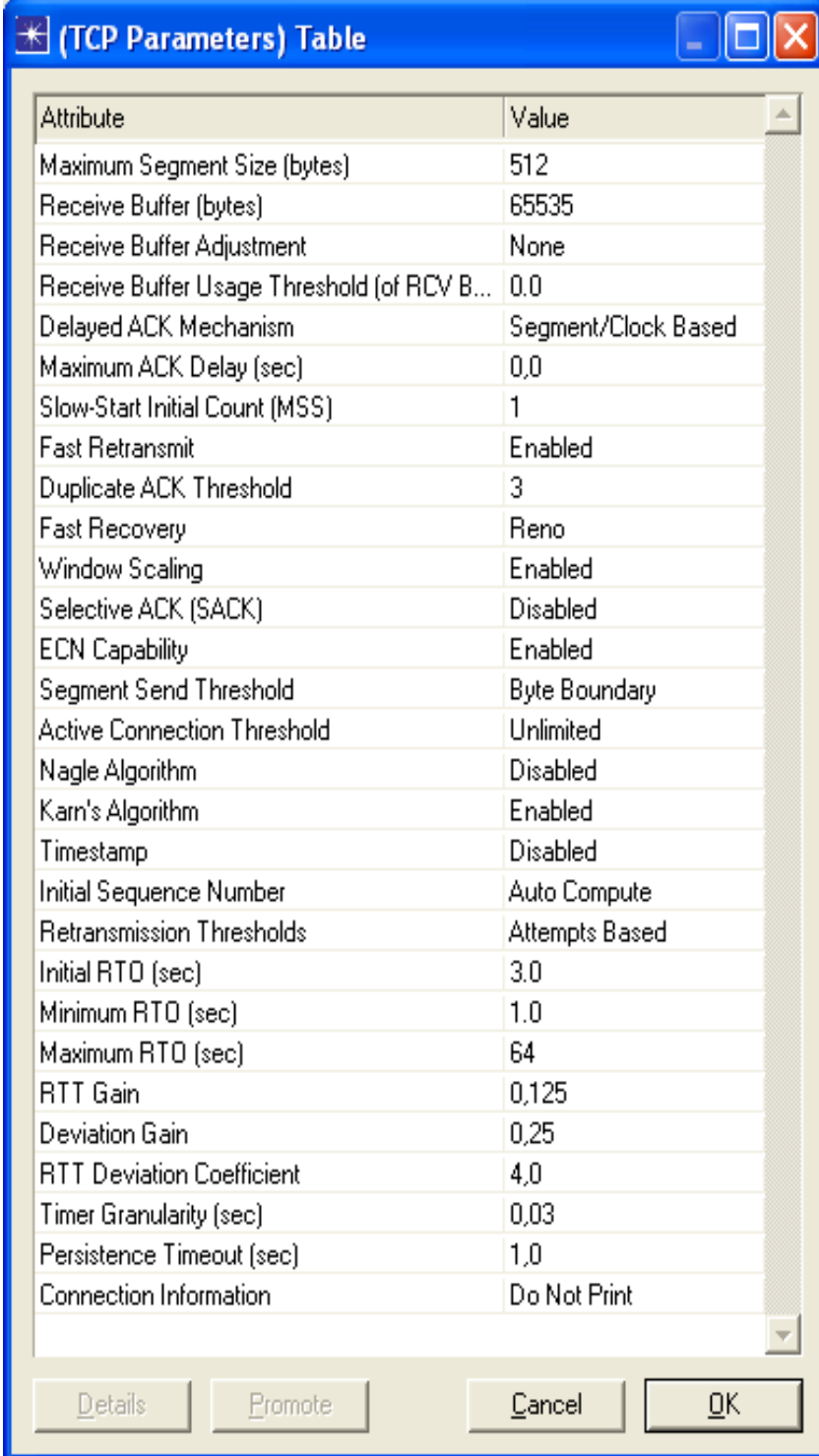
Το TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ταιριάζει με την παραπάνω περιγραφή. Ακόμα είναι γνωστό ότι το 85% των δικτύων υποστηρίζουν το TCP/IP. Είναι σημαντικό λοιπόν να μελετηθεί η απόδοση του TCP πρωτοκόλλου πάνω από την υπηρεσία UBR (TCP over UBR). Σε αυτό λοιπόν το πείραμα μελετάται ακριβώς αυτή η υλοποίηση.

Η προσομοίωση μου δημιούργησε πολλά προβλήματα, γιατί οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν δεν υποστήριζαν το TCP. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για εύρεση άλλων κόμβων που να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις του νέου δικτύου. Δηλαδή κόμβοι, στους οποίους θα μπορούσα να ορίσω τις παραμέτρους του TCP πρωτοκόλλου. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ο atm_wkstn_adv κόμβος. Οι διαφορές όσον αφορά τις παραμέτρους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Η βασική, βέβαια διαφορά, είναι οι TCP παράμετροι. Οι γενικές παράμετροι που τέθηκαν φαίνονται στο σχήμα 5.22 που ακολουθεί.

Η γενική κατανομή του δικτύου είναι όμοια με τα προηγούμενα διεξαχθέντα πειράματα. Διαφορές υπάρχουν στις εφαρμογές που τρέχουν στο δίκτυο που εδώ είναι: το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η μεταφορά αρχείων, η εκτύπωση εγγράφων, η πρόσβαση σε βάση δεδομένων και η περιήγηση στο Διαδίκτυο. Έχουν ορισθεί τρία προφίλ χρηστών που ονομάστηκαν: Μηχανικός (Engineer), Ερευνητής (Researcher), Απαιτητικός Χρήστης (Demand User). Το πρώτο προφίλ χρησιμοποιεί το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και τη μεταφορά αρχείων. Το δεύτερο την μεταφορά αρχείων, την πρόσβαση σε βάση δεδομένων και την περιήγηση στο διαδίκτυο. Τέλος, το προφίλ, απαιτητικός χρήστης, χρησιμοποιεί όλες τις εφαρμογές που είναι διαθέσιμες στο δίκτυο. Όλες οι εφαρμογές έχουν ορισθεί να είναι αυξημένου φόρτου για το δίκτυο (Heavy Load). Στους έξι κόμβους του δικτύου τέθηκε το προφίλ του Απαιτητικού χρήστη και στους υπόλοιπους το προφίλ του Μηχανικού και του Ερευνητή.

ATM Parameters	ATM Application Parameters	Application: Supported Profiles	Application: Transport Protocol	CPU Background Utilization	Application Config: Supported Applications
<i>Queue Configuration:</i> UBR <i>Per-Port Configuration:</i> Buffer Configuration: UBR Queuing Scheme: Priority Queuing QoS Parameters: Default	<i>Category:</i> UBR <i>Requested Traffic Contract:</i> PCR 8 Mbps MCR:2Mbps <i>Requested QoS</i> CDV:0.02msec CTD:400msec CLR:1E-05	Researcher Commerce Customer Sales Person	AAL5	70%	Database Access (Heavy) Email (Heavy) File transfer (Heavy) Http (Heavy Browsing) Printing (Color Print)

Πίνακας 5.2 Παραμέτροι που όρισα στον atm_wkstn_adv κόμβο



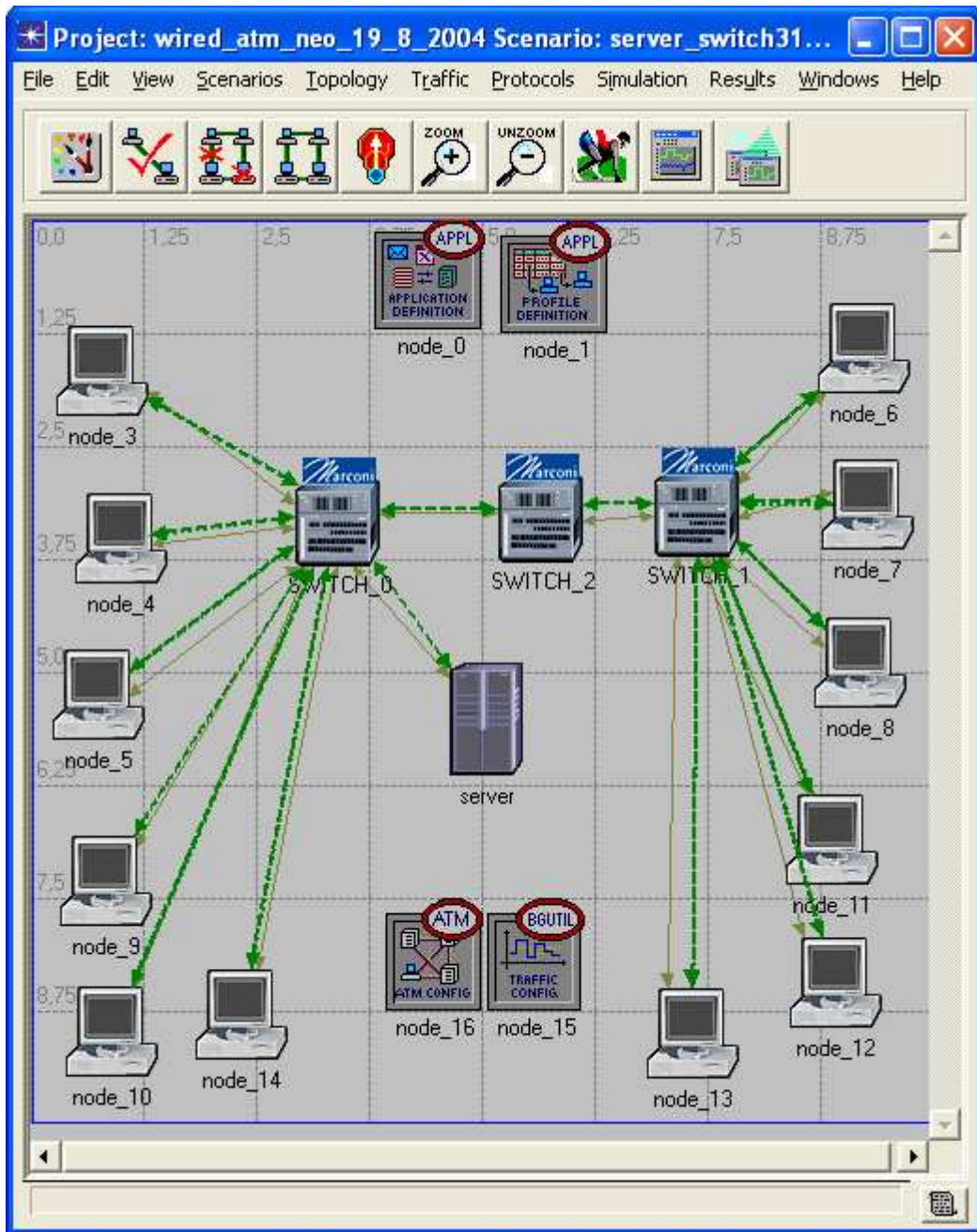
Attribute	Value
Maximum Segment Size (bytes)	512
Receive Buffer (bytes)	65535
Receive Buffer Adjustment	None
Receive Buffer Usage Threshold (of RCV B...	0.0
Delayed ACK Mechanism	Segment/Clock Based
Maximum ACK Delay (sec)	0.0
Slow-Start Initial Count (MSS)	1
Fast Retransmit	Enabled
Duplicate ACK Threshold	3
Fast Recovery	Reno
Window Scaling	Enabled
Selective ACK (SACK)	Disabled
ECN Capability	Enabled
Segment Send Threshold	Byte Boundary
Active Connection Threshold	Unlimited
Nagle Algorithm	Disabled
Karn's Algorithm	Enabled
Timestamp	Disabled
Initial Sequence Number	Auto Compute
Retransmission Thresholds	Attempts Based
Initial RTO (sec)	3.0
Minimum RTO (sec)	1.0
Maximum RTO (sec)	64
RTT Gain	0,125
Deviation Gain	0,25
RTT Deviation Coefficient	4,0
Timer Granularity (sec)	0,03
Persistence Timeout (sec)	1,0
Connection Information	Do Not Print

Details Promote Cancel OK

Σχήμα 5.22 TCP παραμέτροι στους ATM κόμβους.

5.2.5 (5^ο) Πείραμα - Υλοποίηση Δικτύου CBR με 90% Background Traffic

Σε αυτό το πείραμα στόχος ήταν να φανερωθεί η ύπαρξη ή όχι προβλημάτων, όσον αφορά τις τιμές των παραμέτρων της ποιότητας υπηρεσιών, στην περίπτωση που η κίνηση «Background Traffic» αυξανόταν από 70% στο 90%. Επίσης, προστέθηκε ένας μεταγωγέας μεταξύ των δύο προυπάρχοντων. (Σκοπός της εισαγωγής ενός επιπλέον μεταγωγέα ήταν η προσθήκη μιας επιπλέον καθυστέρησης στο δίκτυο.) Το πείραμα αυτό είναι ίδιο με το δεύτερο όσο αφορά τα προφίλ των χρηστών και τις εφαρμογές που τρέχουν.



Σχήμα 5.23 Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει τη δομή του δικτύου μετά τη προσθήκη ενός μεταγωγέα και την αύξηση της πίσω κίνησης στο 90%.

5.2.6 (6^ο) Πείραμα - Υλοποίηση Δικτύου VBR με Αυξημένη Background Traffic

Η εκδοχή αυτή είναι παράγωγο (duplicated scenario) του τρίτου πειράματος, προσομοιώνει, δηλαδή ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί την nrt-VBR υπηρεσία. Η βασική αλλαγή που πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την εκδοχή είναι η επιπλέον αύξηση της background κίνησης κατά 43%.

Αυτή η σημαντική αύξηση στην κίνηση επιλέχθηκε, έτσι ώστε το δίκτυο να φτάσει σε οριακό σημείο, όσον αφορά την λειτουργία του. Εάν η αύξηση που εισαγάγαμε στο δίκτυο ήταν της τάξεως του 10% το δίκτυο θα αντιδρούσε ομαλά και δεν θα παρουσίαζε προβλήματα όπως απώλεια πληροφορίας κ.τ.λ. Η σχεδίαση του δικτύου είναι όμοια με την βασική (σχήμα 5.2) και για αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο να απεικονιστεί σε κάποιο ξεχωριστό σχήμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

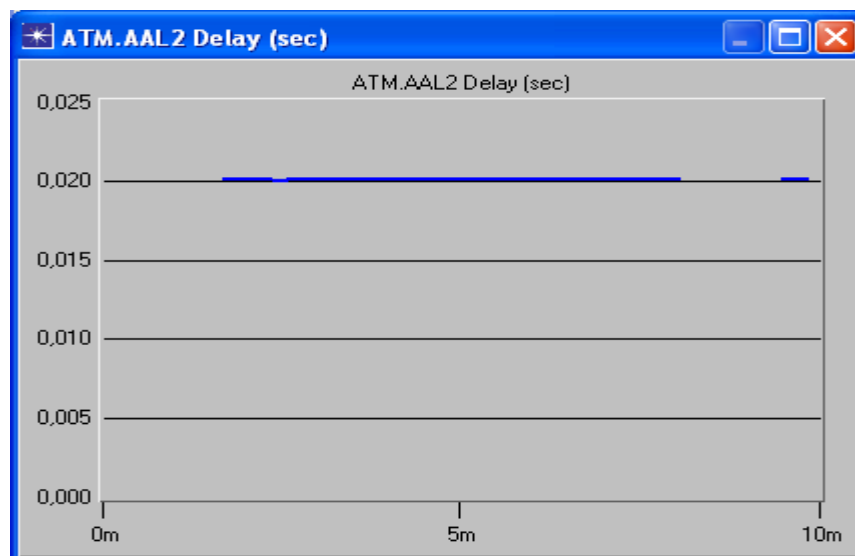
6.1 Πειραματικά Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Ακολούθως, έχω παραθέσει τα αποτελέσματα από τα πειράματα που διεξήγαγα με την βοήθεια του OPNET. Οι γραφικές παραστάσεις ταξινομούνται ανά σενάριο και ακολουθούνται από σύντομο σχολιασμό και παρατηρήσεις για την λειτουργία του δικτύου καθώς και για την απόδοσή του. Τις γραφικές παραστάσεις αυτές τις έκδοσε το πρόγραμμα μετά από τον σχετικό καθορισμό των στατιστικών, όπως προανέφερα σε σχετική ενότητα.

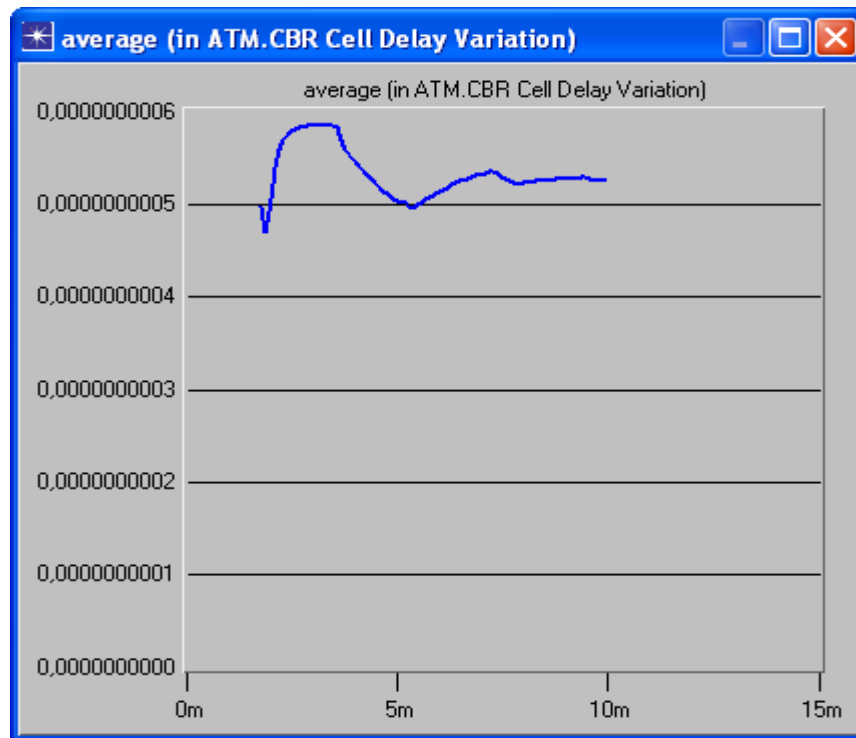
Ίσως το σημαντικότερο ρόλο, για τον καθορισμό του αν μια υπηρεσία είναι αξιόπιστη, σε ένα ATM δίκτυο, παίζουν οι παράμετροι που ελέγχουν την αιτούμενη και την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσιών και μάλιστα αυτές οι οποίες καθορίζονται κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης. Οι παράμετροι αυτές, όπως προανέφερα στο τέταρτο κεφάλαιο που ενσύρματο ATM δίκτυο, είναι το CDV, το CTD και το CLR. Αυτός είναι ο λόγος που επέλεξα να εξαχθούν οι γραφικές παραστάσεις οι οποίες δείχνουν τις τιμές που παίρνουν οι μεταβλητές αυτές κατά την διάρκεια προσομοίωσης για όλα τα σενάρια. Φυσικά, πολύ σημαντικός παράγοντας για την λειτουργία ενός δικτύου, είναι η καθυστέρηση που παρουσιάζεται στο δίκτυο.

6.1.1 CBR - only Voice

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στην υπηρεσία αυτή είναι σταθερός. Ίσως η πιο σημαντική παράμετρος για την ομαλή λειτουργία αυτής της υπηρεσίας είναι το CDV που θα πρέπει να διατηρείται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Επίσης, μια σημαντική παρατήρηση, που προκύπτει έπειτα από προσεκτική μελέτη της CBR υπηρεσίας, είναι ότι οι εφαρμογές τρέχουν καλύτερα όταν το εύρος ζώνης είναι περίπου ίσο με το PCR.



Σχήμα 6.1 AAL 2 Delay CBR Service.



Σχήμα 6.2 Το CDV κυμαίνεται σε αυτό το πείραμα κατά μέση τιμή από $6 \cdot 10^{-10}$ έως $4,8 \cdot 10^{-10}$.

Από τα σχήματα 6.1 και 6.2 βλέπουμε ότι η φωνή έχει ικανοποιητική μετάδοση όσον αφορά η διακύμανση καθυστέρησης κελιών (CDV) στο δίκτυο που προσομοιώσαμε, αφού σύμφωνα με ποικίλες αναφορές οι τιμές αυτές είναι αποδεκτές για την συγκεκριμένη υπηρεσία.

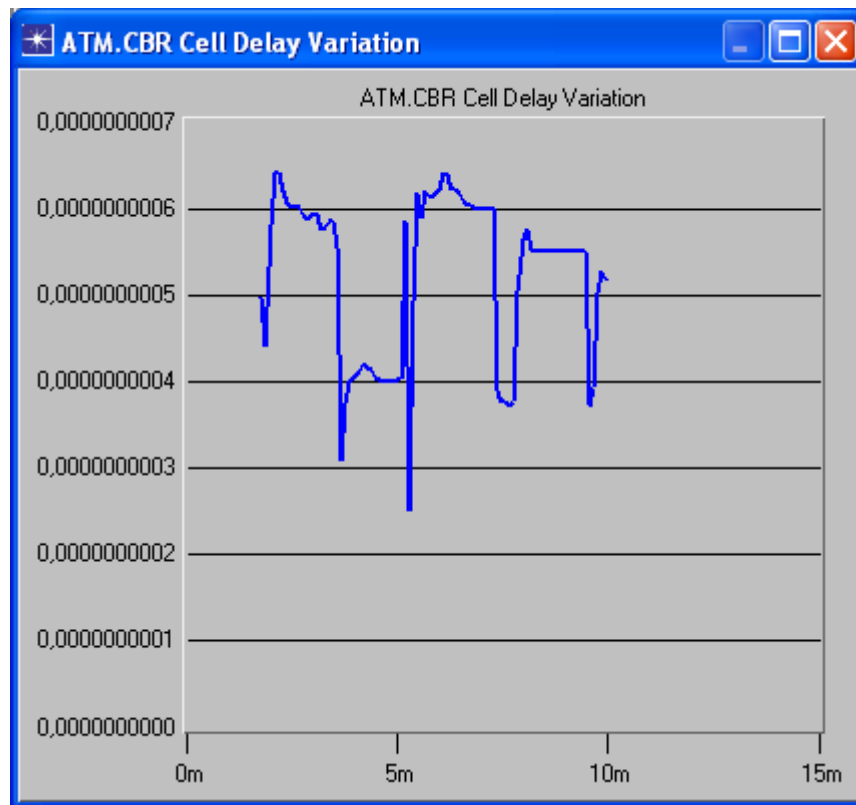
Αναλυτικότερα, η ικανοποιητική μετάδοση για την εφαρμογή της φωνής εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στην διατήρηση σε χαμηλά επίπεδα των τιμών του CDV. Γενικά αποδεκτή τιμή, στην διακύμανση καθυστέρησης κελιών ώστε να έχουμε ικανοποιητικό σήμα, είναι το 1 msec, για την εφαρμογή της φωνής, και αυτό γιατί η φωνή απαιτεί διαδραστικότητα (interactivity).

Η παράμετρος CDV εξάγεται εύκολα από το CTD. Πιο αναλυτικά: $CDV = \max(CTD) - \min(CTD)$. Ουσιαστικά αυτή η παράμετρος (CDV) μας πληροφορεί για την διακύμανση του CTD κατά την διάρκεια του πειράματος για αυτό και εξάγεται από την εν λόγω παράμετρο. Το σχήμα 6.2 παρουσιάζει το μέσο όρο των τιμών της παραμέτρου κατά την διάρκεια του πειράματος.

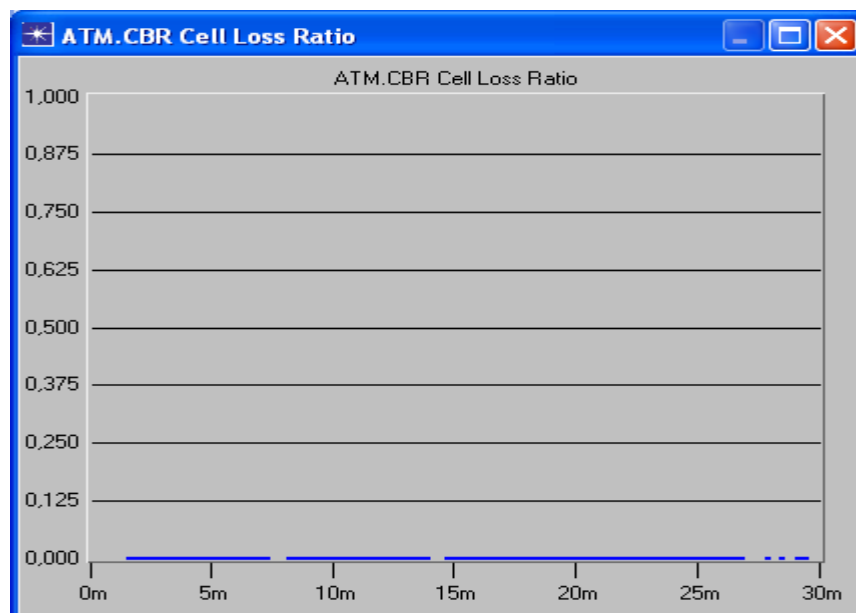
Επίσης, η καθυστέρηση (delay) που παρουσιάζεται στο AAL2 είναι σε φυσιολογικά πλαίσια για το σενάριο που προσομοιώσαμε. Όπως φαίνεται από την γραφική παράσταση που απεικονίζεται στο σχήμα 6.1, η καθυστέρηση που παρουσιάζεται στο AAL2 είναι, καθόλη την διάρκεια του πειράματος, στα 0,02 δευτερόλεπτα.

Αυτό συμβαίνει γιατί καθυστερήσεις μικρότερες των 150 msec δεν δημιουργούν προβλήματα στο δίκτυο ακόμα και για επικοινωνία φωνής.

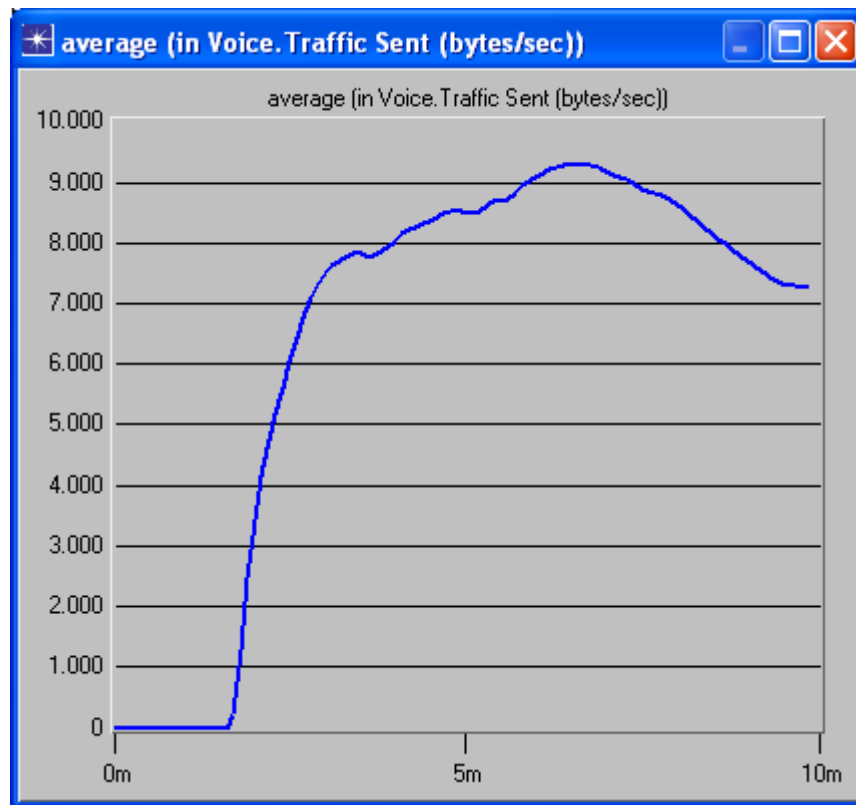
Τέλος, παρατηρώντας τα σχήματα 6.6 και 6.7 παρατηρούμε ότι η κίνηση που στάλθηκε και αφορά την εφαρμογή της φωνής είναι ίση με την κίνηση που λήφθηκε, πάντα σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η κίνηση και στις δύο γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται σε πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Ενώ όπως παρατηρούμε από το σχήμα 6.8 το BER είναι μηδαμινό για την συγκεκριμένη σύνδεση μεταξύ των δύο μεταγωγέων. Κενά εμφανίζονται στο σχεδιάγραμμα όπου το πρόγραμμα δεν μπορούσε την συγκεκριμένη χρονική στιγμή να εξάγει κάποιο αποτέλεσμα.



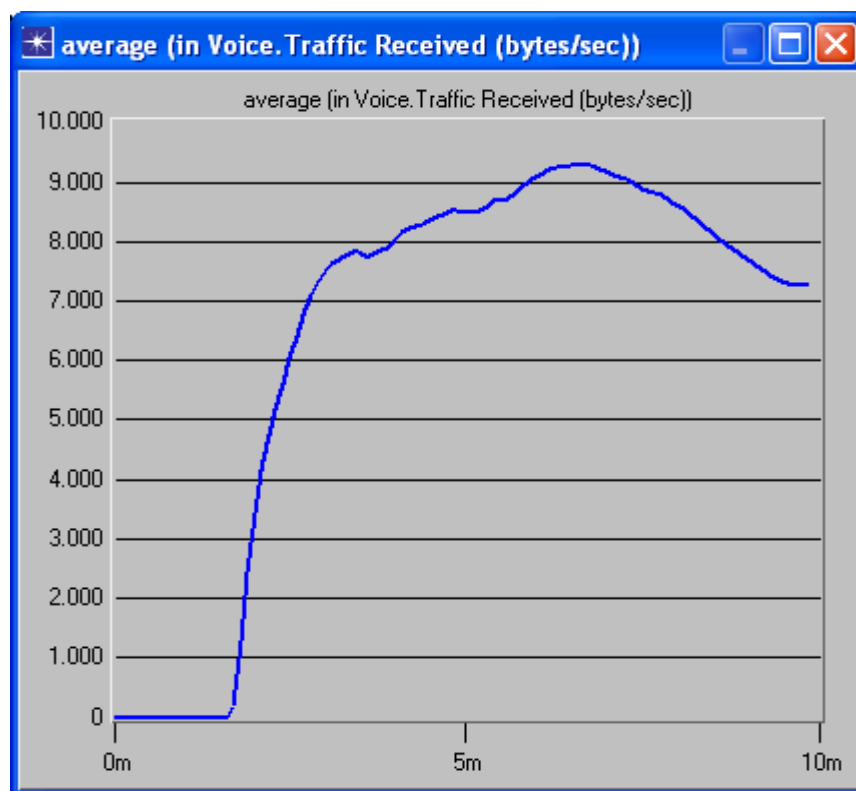
Σχήμα 6.3 Το διάγραμμα αυτό δείχνει αυτούσιο το CDV, σε συνάρτηση με τον χρόνο, κατά την διάρκεια της προσομοίωσης για την υπηρεσία CBR .



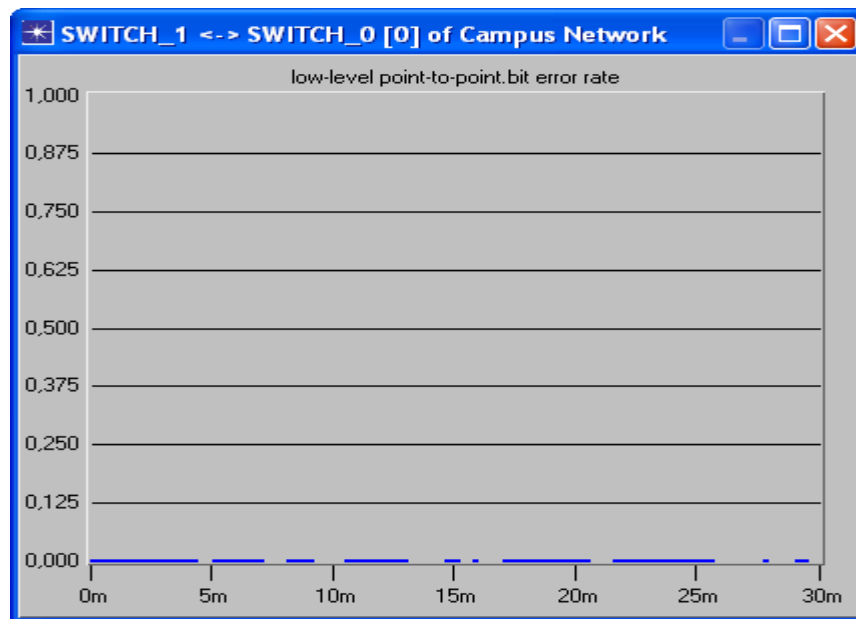
Σχήμα 6.4 Αυτή η γραφική παράσταση δείχνει το CLR κατά τη διάρκεια του πειράματος. Όπως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει οι τιμές δείχνουν ότι υπάρχει μηδενική απώλεια κελιών στο δίκτυο, είναι δηλαδή μικρότερη του 10^{-7} .



Σχήμα 6.6 Μέση τιμή της κίνησης της φωνής που στέλνεται στο δίκτυο σε bytes/sec.



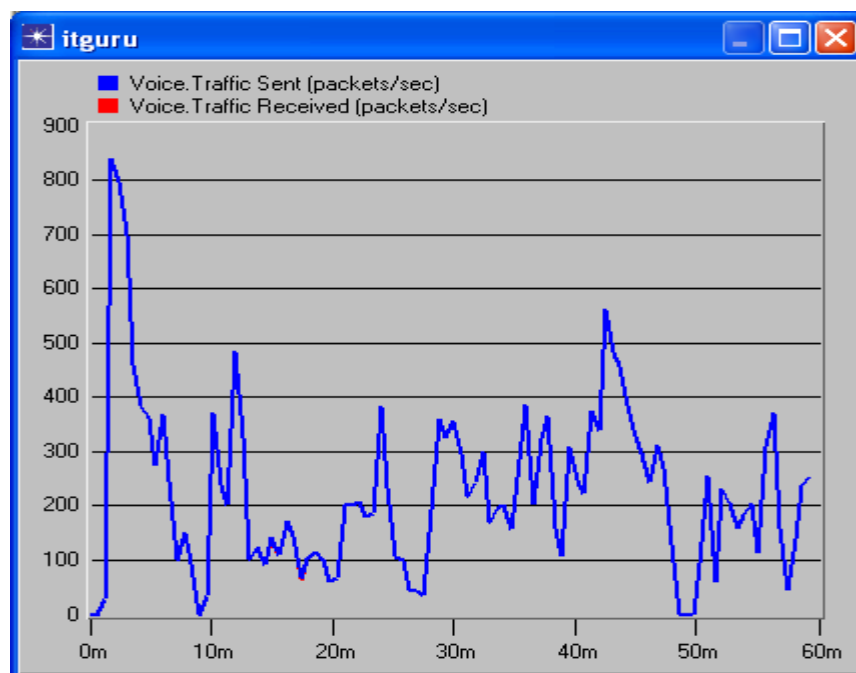
Σχήμα 6.7 Μέση τιμή της κίνησης της φωνής στο δίκτυο που λαμβάνεται σε bytes/sec.



Σχήμα 6.8 BER μεταξύ της σύνδεσης των δυο μεταγωγέων.

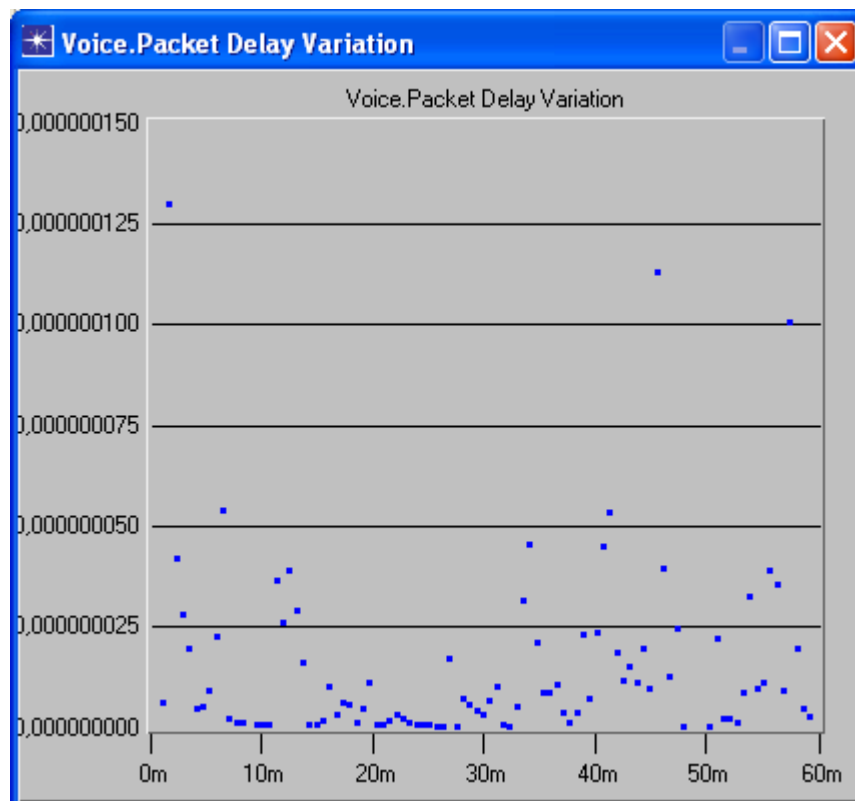
6.1.2 CBR – with server

Η διαφορά με την προηγούμενη προσομοίωση, όπως ανέφερα και στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι ότι έχω προσθέσει ένα server ο οποίος εξυπηρετεί στο δίκτυο, όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές εκτός της φωνής. Επίσης, έχει ορισθεί ως πρωτόκολλο μεταφοράς το AAL5 για όλες τις εφαρμογές.

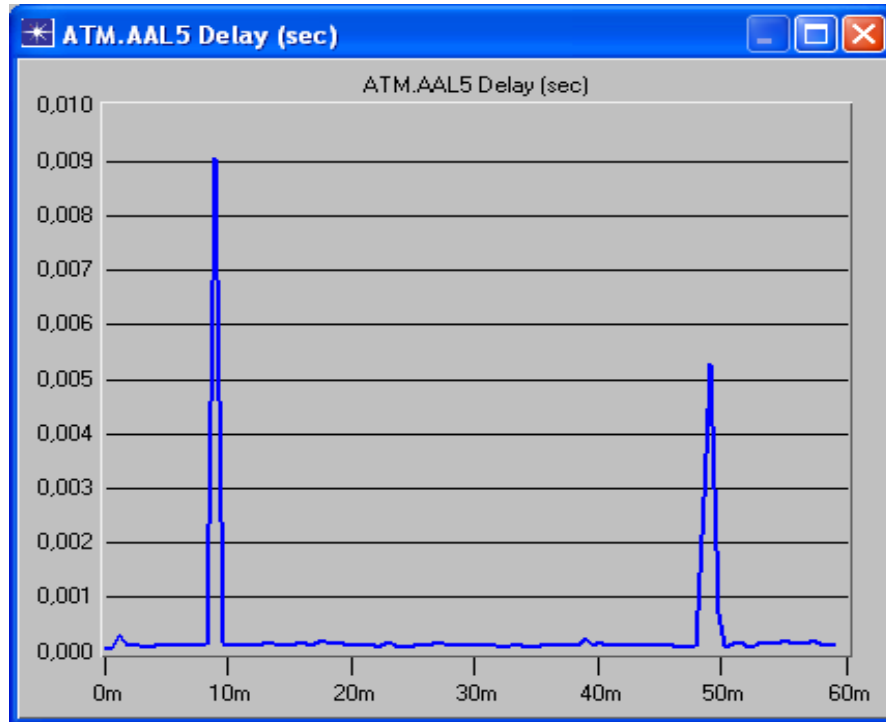


Σχήμα 6.9 Διάγραμμα που φανερώνει την κίνηση που αποστέλλεται και την κίνηση που λαμβάνεται για την εφαρμογή της φωνής

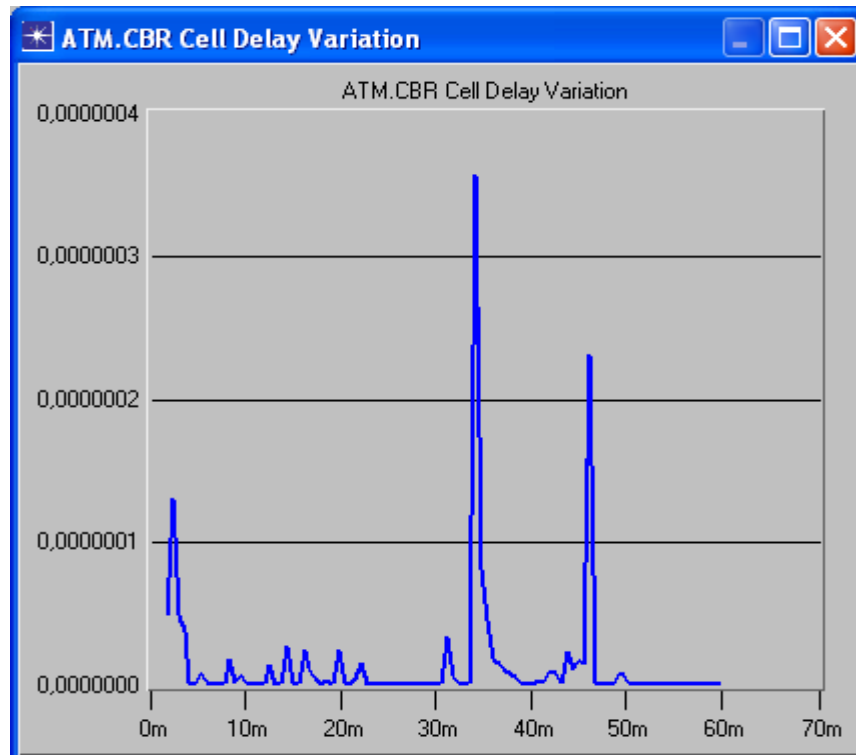
Όπως παρατηρούμε από την γραφική παράσταση 6.9 η κίνηση (φωνή) που έχει σταλεί είναι ίση με την κίνηση (φωνή) που έχει ληφθεί καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Κατά μέσο όρο τα αποστέλλοντα πακέτα είναι 250 ανά δευτερόλεπτο. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση του δικτύου αγγίζει τα ιδανικά επίπεδα δηλαδή δεν υπάρχει καμμία απώλεια δεδομένων. Το σχήμα 6.10 δείχνει την μεταβολή στην καθυστέρηση των πακέτων όσον αφορά την φωνή, παρατηρούμε ότι αυτή διατηρείται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. Συγκεκριμένα οι τιμές κυμαίνονται γύρω στο $1,55 \cdot 10^{-9}$. Το πείραμα αυτό προσομοιώνει μια ώρα λειτουργίας του δικτύου. Γενικά, πάντως το OPNET για να εξάγει πραγματικά αποτελέσματα για το δίκτυο χρειάζεται να περάσει ένας συγκεκριμένος χρόνος προσομοίωσης που σε αυτήν την σχεδίαση είναι γύρω στα εκατό δευτερόλεπτα. Το CLR πάλι διατηρείται καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος σε μηδενικές τιμές. Στο σχήμα 6.12 φαίνεται το εύρος τιμών του CDV. Όπως αναφέρω και στο υπόμνημα του σχήματος η καθυστέρηση κυμαίνεται γύρω στο $5,34 \cdot 10^{-10}$ καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος με εξαίρεση μια χρονική στιγμή γύρω στα 34 λεπτά όπου και παρουσιάζει μια απότομη αύξηση και φτάνει την τιμή των $3 \cdot 10^{-8}$. Μετά την πάροδο όμως, 30 περίπου δευτερολέπτων το CDV επανέρχεται στα φυσιολογικά επίπεδα. Αυτή η διακύμανση στην καθυστέρηση των κελιών συσχετίζεται άμεσα με την καθυστέρηση που παρουσιάζουν τα πακέτα φωνής στο σχήμα 6.10. Φυσικά, η τιμή είναι σε αποδεκτά όρια για την συγκεκριμένη υπηρεσία. Τέλος όπως είναι φανερό στο σχήμα 6.13 δεν υπάρχουν απώλειες κατά τη διάρκεια της μετάδοσης στην συγκεκριμένη εφαρμογή.



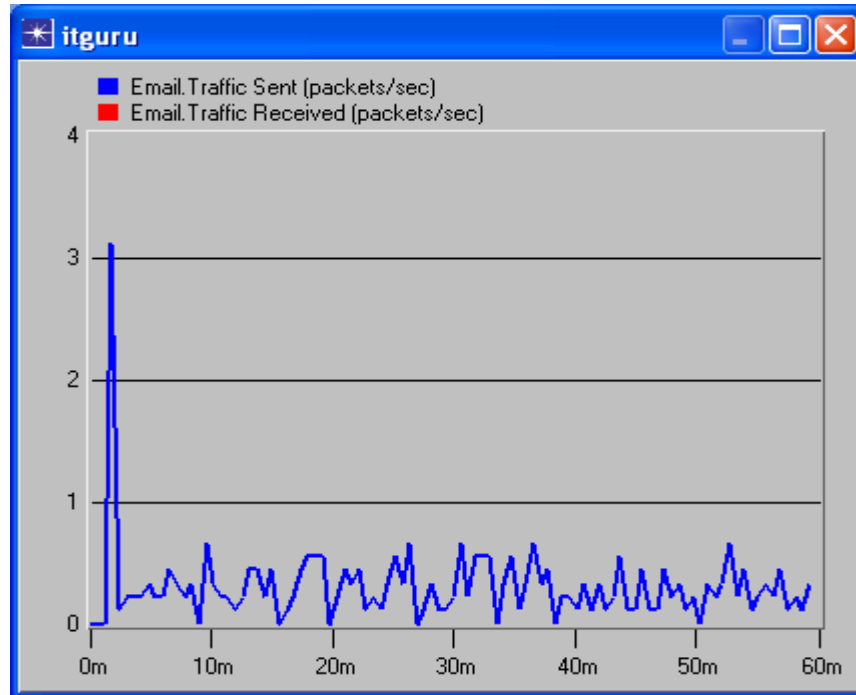
Σχήμα 6.10 Μεταβολή στην καθυστέρηση των πακέτων όσον αφορά την φωνή.



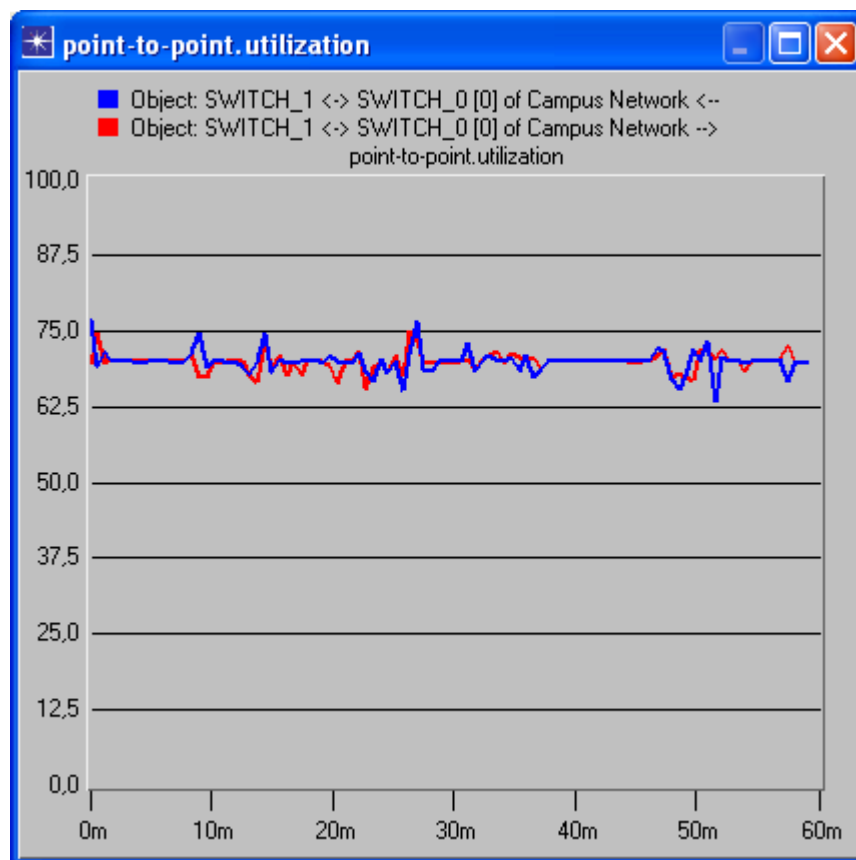
Σχήμα 6.11 Εδώ φαίνεται η καθυστέρηση που παρουσιάζεται στο AAL5. Ανώτατη στιγμιαία τιμή είναι τα 0,009 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 6.12 Το CDV κυμαίνεται γύρω στο $5,34 \cdot 10^{-10}$ καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος με εξαίρεση μια χρονική στιγμή γύρω στα 34 λεπτά όπου και παρουσιάζει μια απότομη αύξηση και φτάνει την τιμή των $3 \cdot 10^{-8}$.



Σχήμα 6.13 Γραφική παράσταση στην οποία φαίνεται η κίνηση που έχει σταλεί και η κίνηση που έχει ληφθεί όσον αφορά την υπηρεσία του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.



Σχήμα 6.14 Η χρήση της γραμμής μεταξύ των δυο μεταγωγέων κυμαίνεται γύρω στο 71 με 72 % καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος.

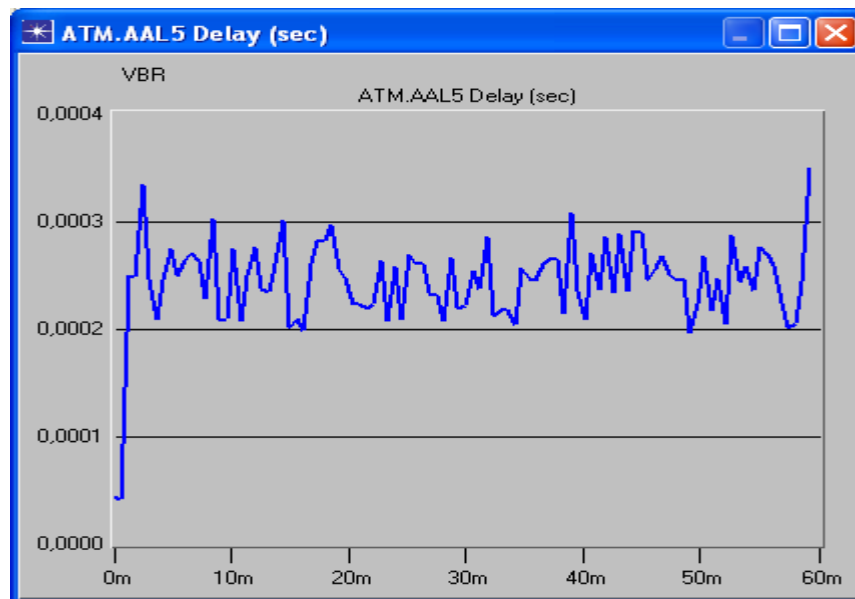
6.1.3 Nrt-VBR

Η υπηρεσία nrt-VBR δεν αποτελεί μια υπηρεσία πραγματικού χρόνου. Με αυτήν στέλνονται ενιαίες ακολουθίες δυαδικών ψηφίων (continuous bit streams) που ενδέχεται όμως, να διαφέρουν όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης (bit rate).

Βασικό στοιχείο αυτής της υπηρεσίας είναι ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί για την καθυστέρηση ή για την διακύμανσή της κατά την πάροδο του χρόνου. Αυτός είναι και ο λόγος που όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.15, υπάρχουν συχνές μεταβολές στην καθυστέρηση που παρουσιάζει το AAL5 πρωτόκολλο μεταφοράς. Συγκεκριμένα η καθυστέρηση στο AAL5 για την VBR υπηρεσία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,003 - 0,002 δευτερόλεπτα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Οι εφαρμογές που τέθηκαν να διεξάγονται στο δίκτυο, αποτελούν ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογών που το συγκεκριμένο δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει με άνεση. Ο ρυθμός σφαλμάτων των bits (BER), μεταξύ των μεταγωγών του δικτύου για την nrt – VBR υπηρεσία είναι μηδέν. Αυτό φυσικά ήταν προβλεπόμενο αφού μιλάμε για ενσύρματο ATM δίκτυο.

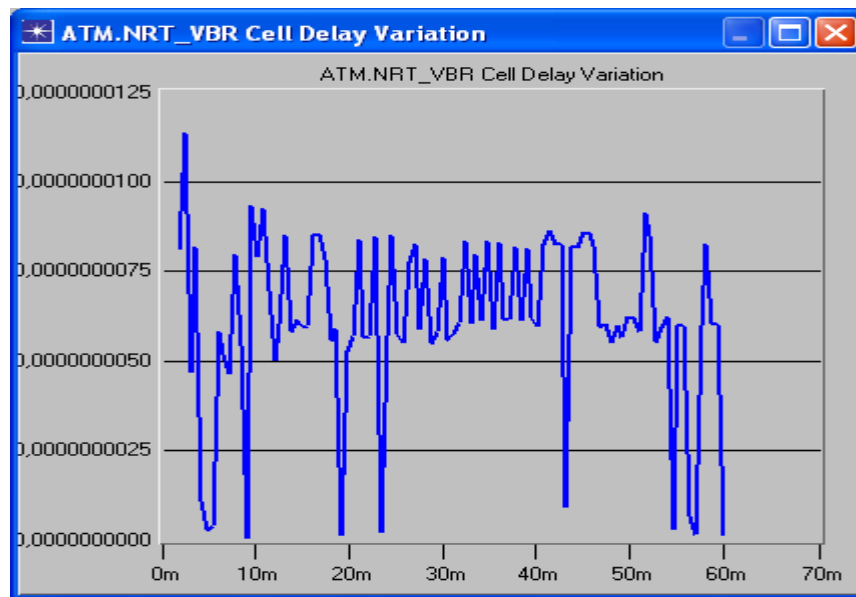
Επιπροσθέτως, το CLR διατηρήθηκε και αυτό, σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα σύμφωνα με τις γραφικές παραστάσεις που εξήγαγε το OPNET (ο λόγος που δεν απεικονίζεται με κάποια γραφική παράσταση είναι ότι καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος δεν παρουσίασε κάποια μεταβολή, δηλαδή είχε την εικόνα που είχε και το σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.15 Καθυστέρηση στο AAL5 για την VBR υπηρεσία.

Γεγονός που είναι εξαιρετικά ικανοποιητικό για τις συγκεκριμένες εφαρμογές που τρέχουν στο δίκτυο. Αναλυτικότερα η εκτύπωση αρχείων, η πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο δεν ανήκουν στις εφαρμογές που απαιτούν μηδενικό CLR. Παρ' όλα αυτά το επίπεδο αυτό παρέχεται από το προσομοιούμενο δίκτυο.

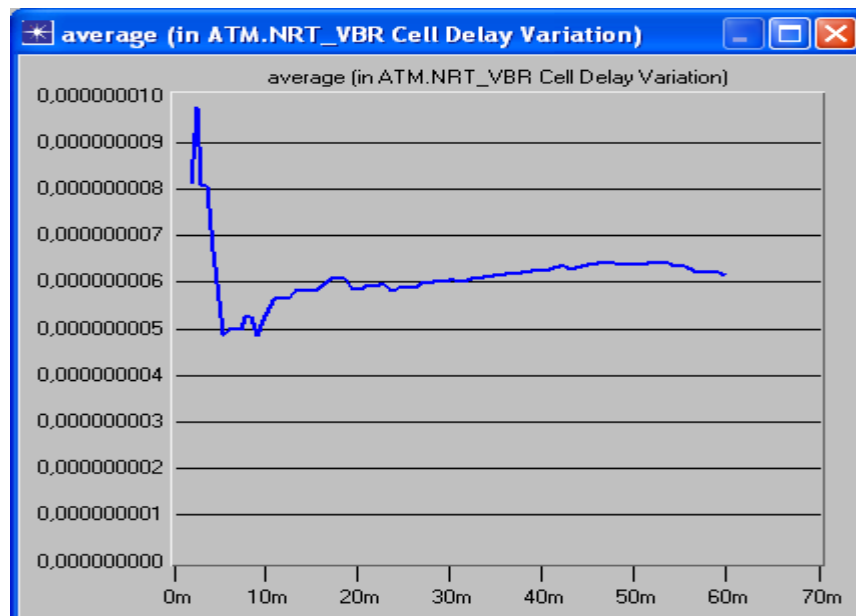
Τέλος, στο σχήμα 6.18 φαίνεται η κίνηση που λαμβάνεται και η κίνηση που στέλνεται μέσω της εφαρμογής ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, συναρτήσει του χρόνου. Είναι φανερό ότι δεν υπάρχει καμμία διαφορά μεταξύ των δυο κινήσεων, (στο ίδιο πλαίσιο κυμαίνονταν και οι άλλες εφαρμογές που έτρεχαν στο δίκτυο για αυτό και δεν κρίθηκε σημαντική η απεικόνισή τους).



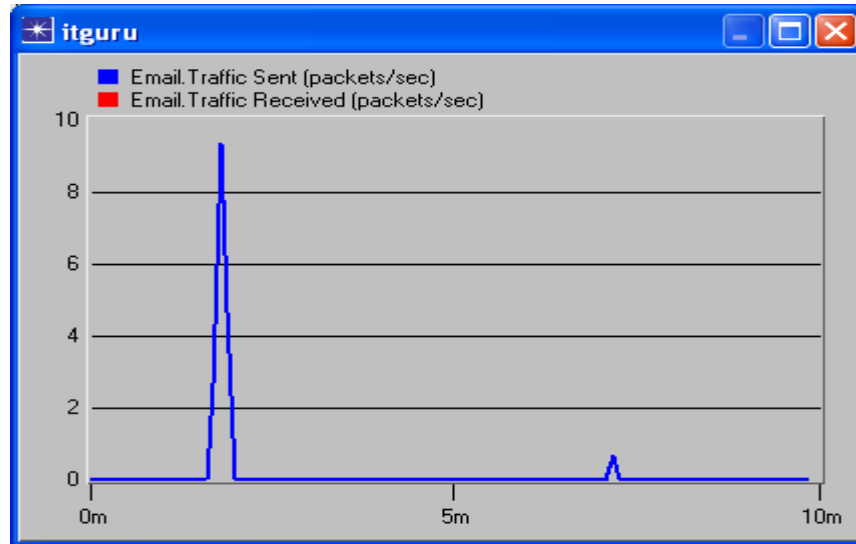
Σχήμα 6.16 CDV για την υπηρεσία nrt-VBR

Στο σχήμα 6.16 παρατηρούνται σχετικά μεγάλες μεταβολές στο CDV, παρ' όλο που αυτό διατηρείται μέσα σε αποδεκτά επίπεδα, τόσο για τις συγκεκριμένες εφαρμογές όσο και για την nrt – VBR. Αυτό συμβαίνει γιατί σε αντίθεση με το rt – VBR το nrt – VBR δεν είναι περιοριστικό όσον αφορά τις καθυστερήσεις και τις μεταβολές αυτών.

Η γραφική παράσταση του σχήματος 6.18 μας δείχνει ότι η κίνηση που έχει σταλεί είναι όμοια με την κίνηση που έχει ληφθεί κατά τη διάρκεια του πειράματος. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο λειτουργήσε με άριστο τρόπο όσον αφορά την συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 6.17 Στην παραπάνω γραφική παράσταση παρατηρούμε την μέση τιμή του CDV καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Σχήμα 6.18 Κίνηση που στάλθηκε και λήφθηκε στο δίκτυο για το e-mail.

6.1.4 UBR -TCP πρωτόκολλο

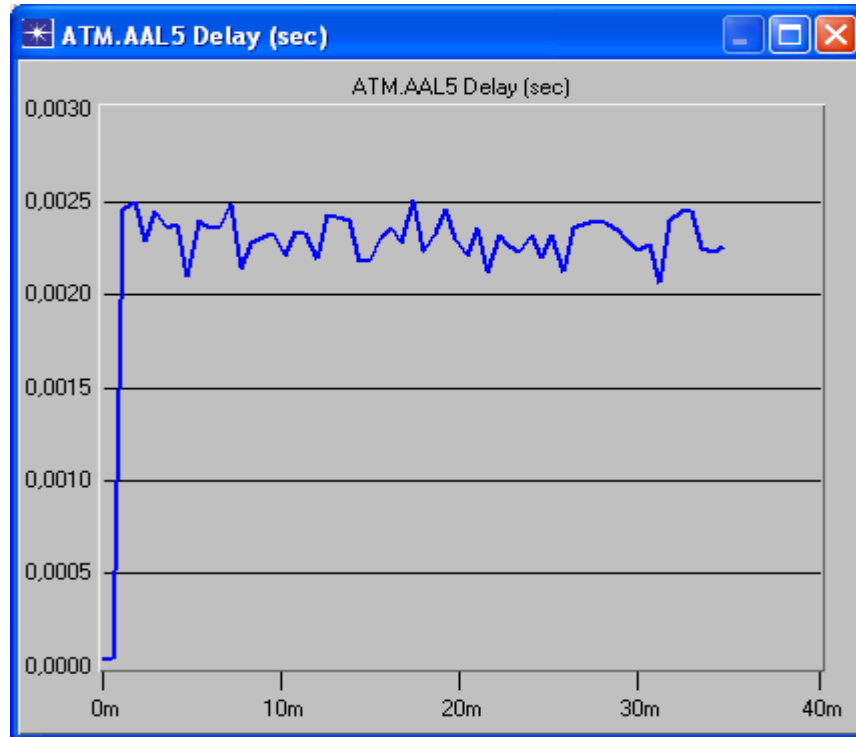
Η UBR υπηρεσία δεν προσφέρει εγγυήσεις σχετικά με την ποιότητα υπηρεσιών και την κίνηση. Τα κελιά μεταφέρονται κάνοντας απλά χρήση της διαθέσιμης χωρητικότητας που υπάρχει στο δίκτυο. Έτσι ένα ATM δίκτυο, που υποστηρίζει UBR υπηρεσία, δεν είναι αναγκαστικά και ένα αξιόπιστο δίκτυο. Χρησιμοποιείται δε, από μη απαιτητικές εφαρμογές όπως μεταφορά δεδομένων, αρχείων ή φωτογραφιών κ.α. Στο συγκεκριμένο πείραμα, έχω ορίσει πέντε διαφορετικές εφαρμογές να τρέχουν για να διαπιστωθεί η επάρκεια του δικτύου και υπό αυτές τις συνθήκες.

Τα πειραματικά αποτελέσματα για την καθυστέρηση του AAL5 πρωτοκόλλου μεταφοράς φαίνονται στο σχήμα 6.19. Όπως φαίνεται διατηρείται μεταξύ των τιμών 0,025 και 0,020. Επίσης, η εισαγόμενη καθυστέρηση στο δίκτυο από το TCP πρωτόκολλο φαίνεται στο σχήμα 6.22. Παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 0,0075.

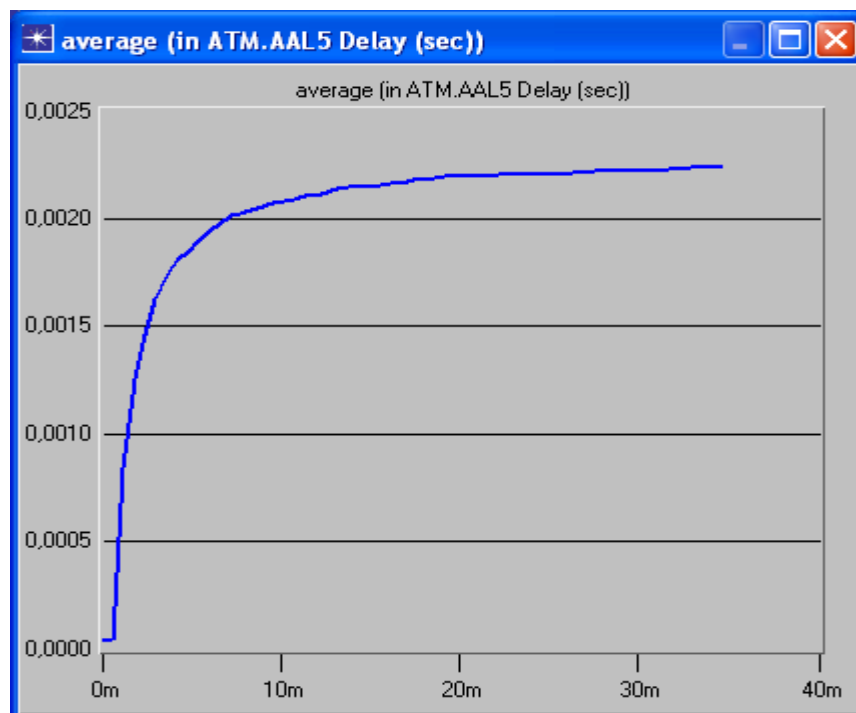
Γενικά όπως παρατηρούμε και από τις γραφικές παραστάσεις, οι τιμές αυτές είναι σε αποδεκτά επίπεδα, παρόλο που η υπηρεσία UBR χαρακτηρίζεται σε γενικά πλαίσια ως αναξιόπιστη.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσω επίσης, ότι το CLR και το BER στην UBR υπηρεσία έχουν μηδενικές τιμές. Βέβαια, ο κύριος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το δίκτυο δεν βρίσκεται σε οριακή κατάσταση όσον αφορά για παράδειγμα την κίνηση του.

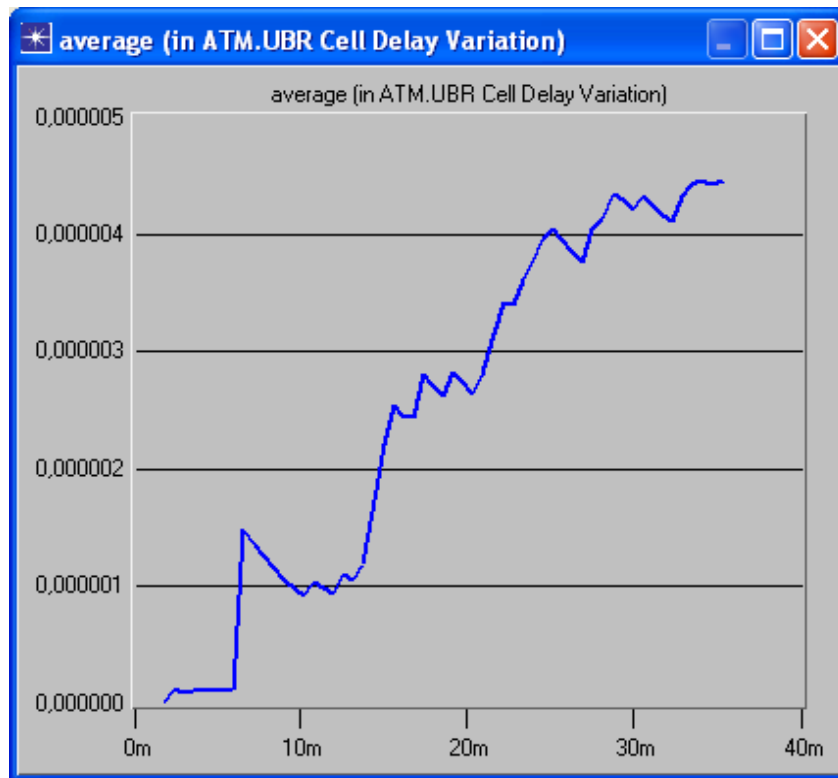
Αντίθετα, στο σχήμα 6.21 παρατηρείται μία συνεχή αύξηση της μέσης τιμής του CDV συναρτήσεως του χρόνου. Αυτό οφείλεται στον αυξανόμενο φόρτο του δικτύου, από τις διάφορες εφαρμογές που υλοποιούνται σ' αυτό. Φυσικά σε μία υπηρεσία με εγγύηση ποιότητας υπηρεσιών, κάτι τέτοιο δεν θα συνέβαινε, όπως φαίνεται και από τα προηγούμενα πειράματα που διεξάχθηκαν. Τέλος, θα ήθελα να σχολιάσω, όσον αφορά αυτό το πείραμα, τη χρήση της σύνδεσης (utilization) ανάμεσα στους δυο μεταγωγείς που κυμαίνεται γύρω στο 73,5%. Αυτό δηλώνει ουσιαστικά ότι το δίκτυο έχει πολύ μεγαλύτερες αντοχές, αφού υπάρχει ένα 25% περίπου ανεκμετάλλευτο.



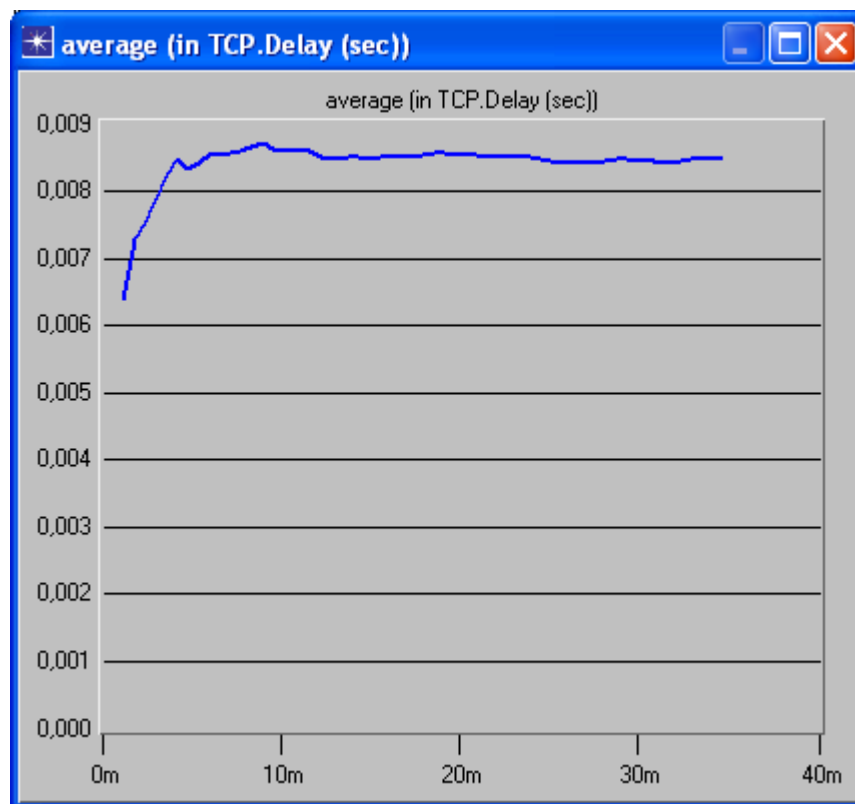
Σχήμα 6.19 Καθυστέρηση (σε sec) στο συγκεκριμένο πείραμα για το AAL5.



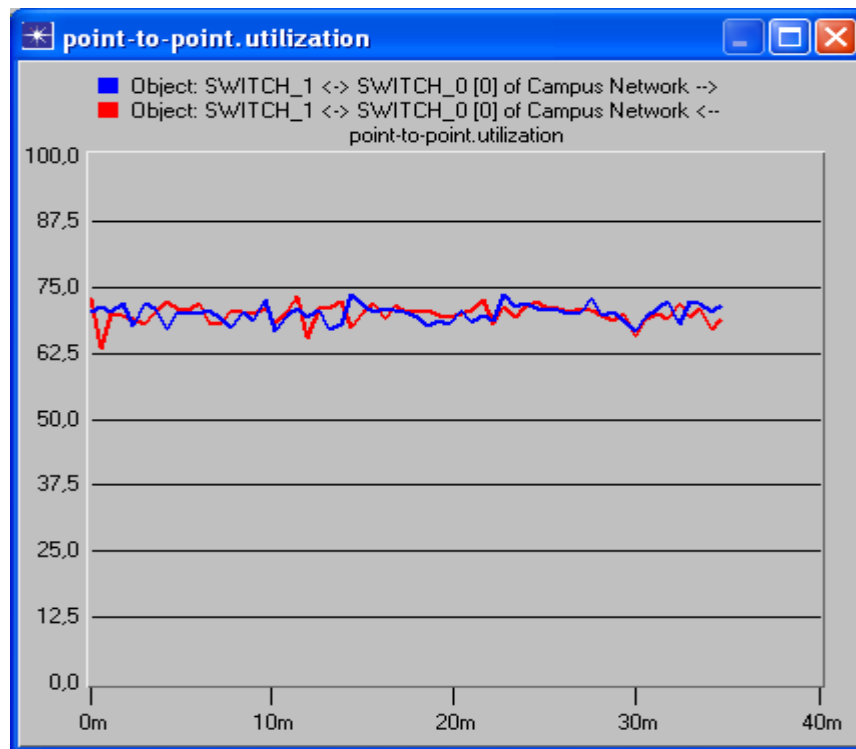
Σχήμα 6.20 Εδώ φαίνεται η μέση τιμή της καθυστέρησης καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



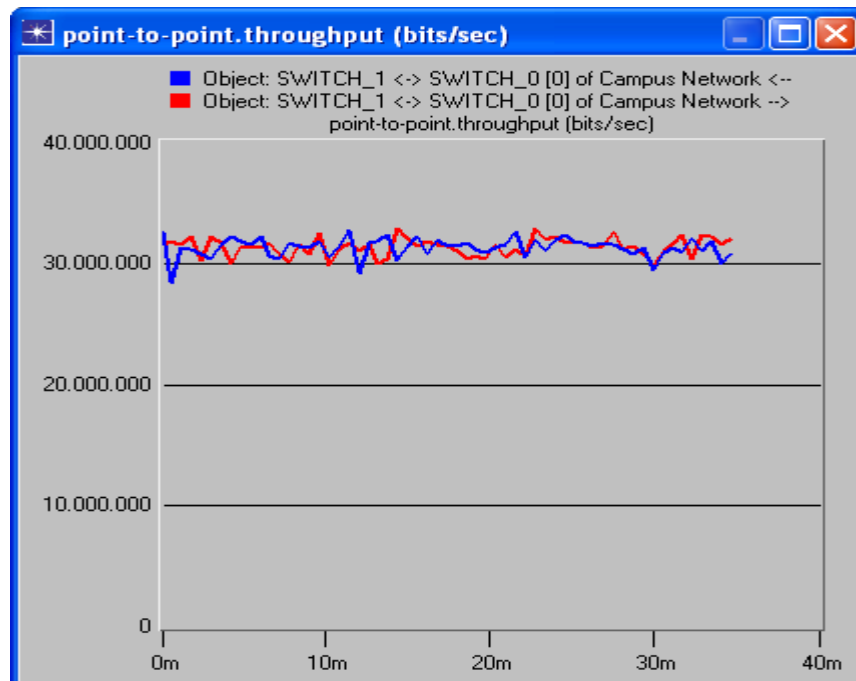
Σχήμα 6.21 Μέση τιμή του CDV στην UBR υπηρεσία.



Σχήμα 6.22 Διάγραμμα της καθυστέρησης που παρουσιάζεται στο TCP καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Σχήμα 6.23 Η χρήση της γραμμής μεταξύ των δυο μεταγωγέων είναι φανερή σε αυτή την γραφική παράσταση.



Σχήμα 6.24 Γραφική παράσταση της διέλευσης κίνησης στο ATM δίκτυο για την UBR υπηρεσία εκφρασμένη σε bps.

6.1.5 CBR με δύο Switches και Server

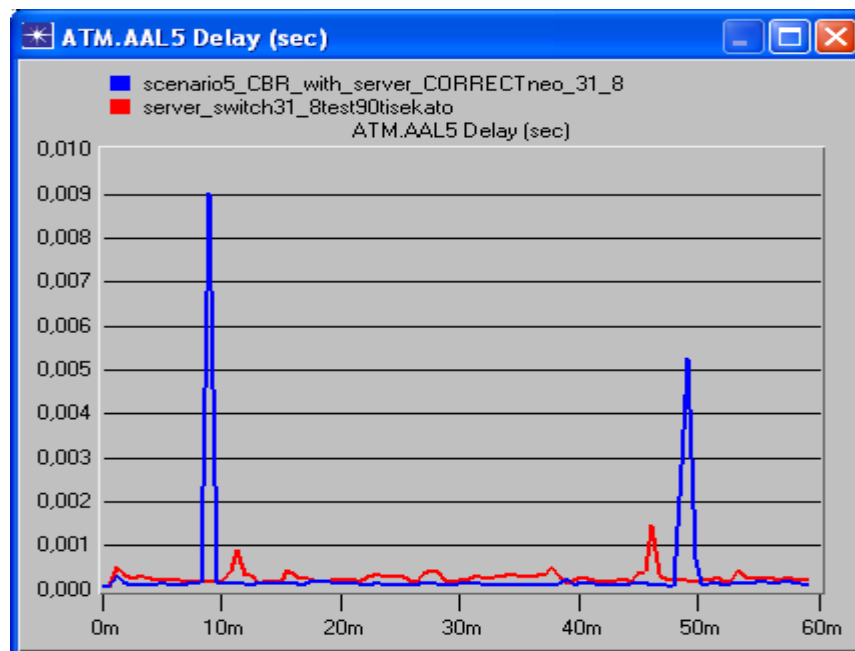
Το σενάριο αυτό είναι παράγωγο του δεύτερου σεναρίου (duplicated scenario), δηλαδή του CBR με Server. Οι κύριες τροποποιήσεις που έγιναν αφορούσαν την εισαγωγή ενός επιπλέον μεταγωγέα και την αύξηση της background κίνησης από 70% που ήταν στα προηγούμενα σενάρια, σε 90%. (Ο καθορισμός αυτός όπως έχω προαναφέρει, γίνεται στις συνδέσεις που υπάρχουν στο δίκτυο.)

Στα σχήματα που ακολουθούν, συγκρίνουμε το σενάριο που πήραμε ως πρότυπο και το σενάριο που αυξήσαμε την κίνηση και προσθέσαμε τους μεταγωγείς. Οι γραφικές παραστάσεις είναι πολύ κατατοπιστικές όσον αφορά την αντίδραση του δικτύου.

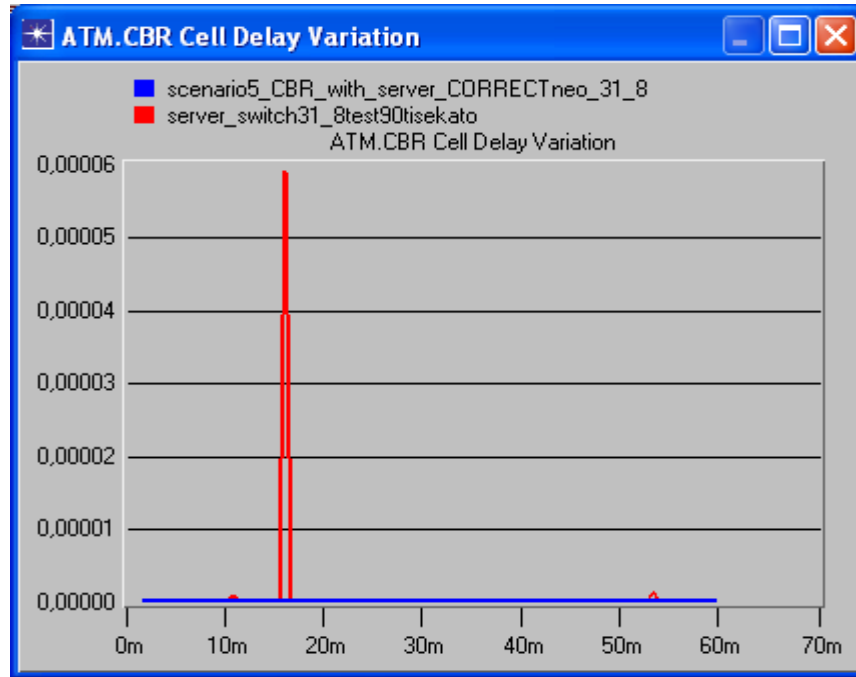
Στο σχήμα 6.25 με μπλέ απεικονίζεται το σενάριο δύο και με κόκκινο το νέο σενάριο. Παρατηρούμε μια φανερή αύξηση των μεταβολών που παρουσιάζει το AAL 5 πρωτόκολλο μεταφοράς. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι και στις δυο περιπτώσεις η υπό προσομοίωση υπηρεσία είναι η CBR.

Στο σχήμα 6.26 φαίνονται οι μέγιστες τιμές που λαμβάνει το CDV κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Το δεύτερο σενάριο φαίνεται να έχει μηδενικές τιμές όσον αφορά αυτήν την παράμετρο, αλλά φυσικά το αίτιο για αυτήν την πλασματική εικόνα, είναι το γεγονός ότι η νέα μέγιστη τιμή του CDV είναι το 0,00006 ενώ στο δεύτερο πείραμα ήταν 0,000004. Έτσι, παρατηρούμε ότι από το ένα σενάριο στο άλλο έχουμε μια διαφορά, σχεδόν δύο τάξεων.

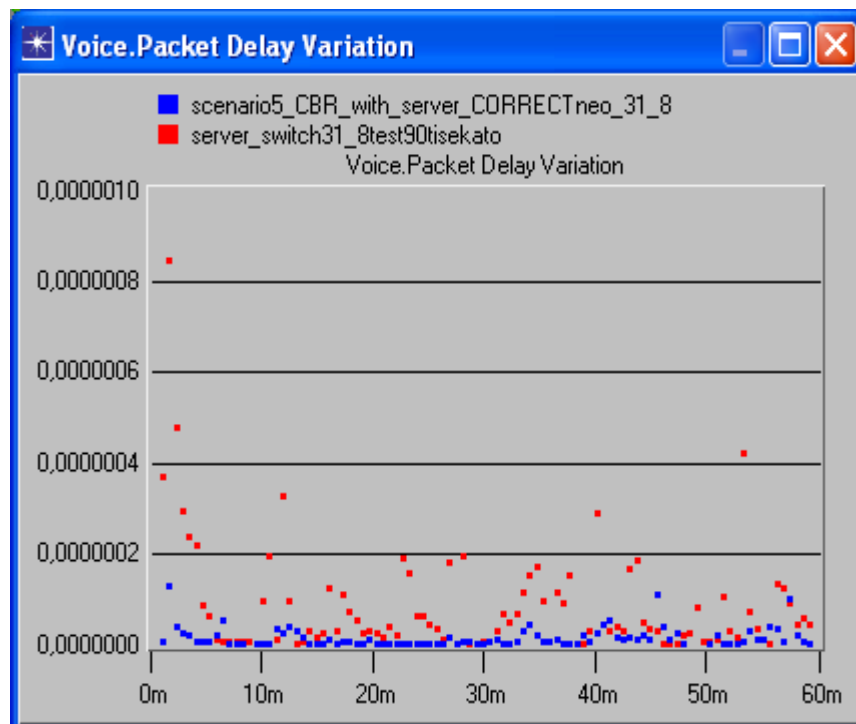
Επίσης, παρόμοιες διαφορές είναι φανερές στο σχήμα 6.27 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση της καθυστέρησης, σε σχέση με την εφαρμογή της φωνής. (Φυσικά αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού η καθυστέρηση που παρουσιάζεται στην εφαρμογή της φωνής είναι αλληλένδετη με την καθυστέρηση στο AAL 5). Αλλά και στο σχήμα 6.28, όπου φαίνεται η από άκρη σε άκρη καθυστέρηση (end to end delay) των πακέτων, υπάρχει διαφορά στις τιμές που αυτή παίρνει, βέβαια η διαφορά αυτή είναι μικρή και δεν θα δημιουργήσει προβλήματα στο νέο δίκτυο.



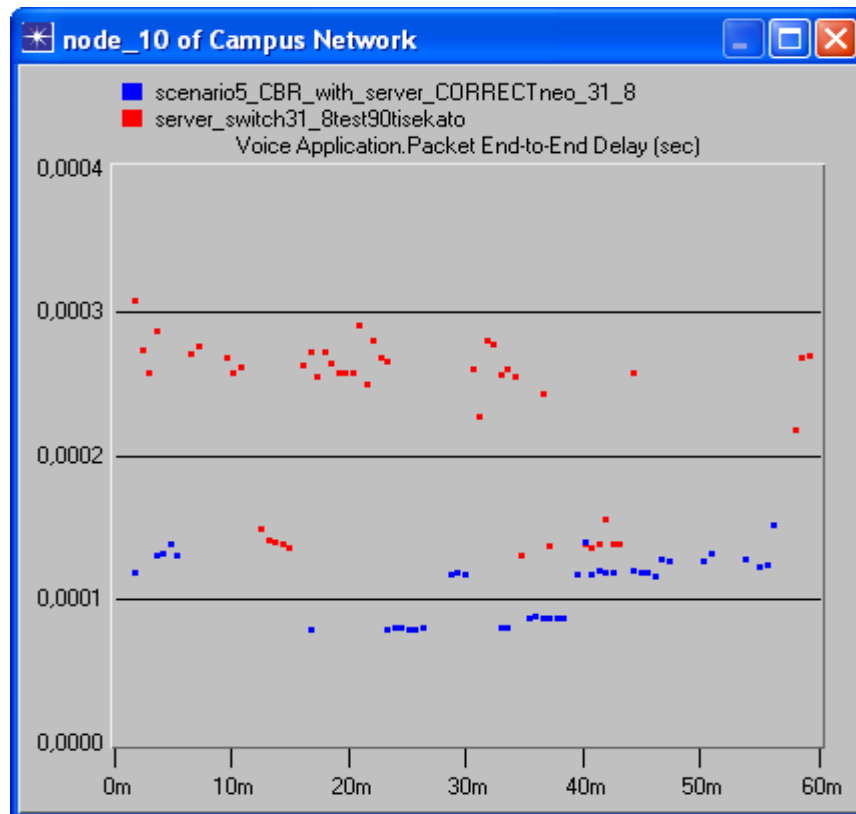
Σχήμα 6.25 Το σχήμα μας δείχνει την καθυστέρηση εκφρασμένη σε δευτερόλεπτα στο AAL5.



Σχήμα 6.26 Η παραπάνω γραφική παράσταση μας δείχνει τις τιμές που παίρνει το CDV για τις δύο συγκρινόμενες περιπτώσεις.



Σχήμα 6.27 Στη γραφική παράσταση φαίνεται η μεταβολή της καθυστέρησης των πακέτων για την εφαρμογή της φωνής και για τις δύο εκδοχές.



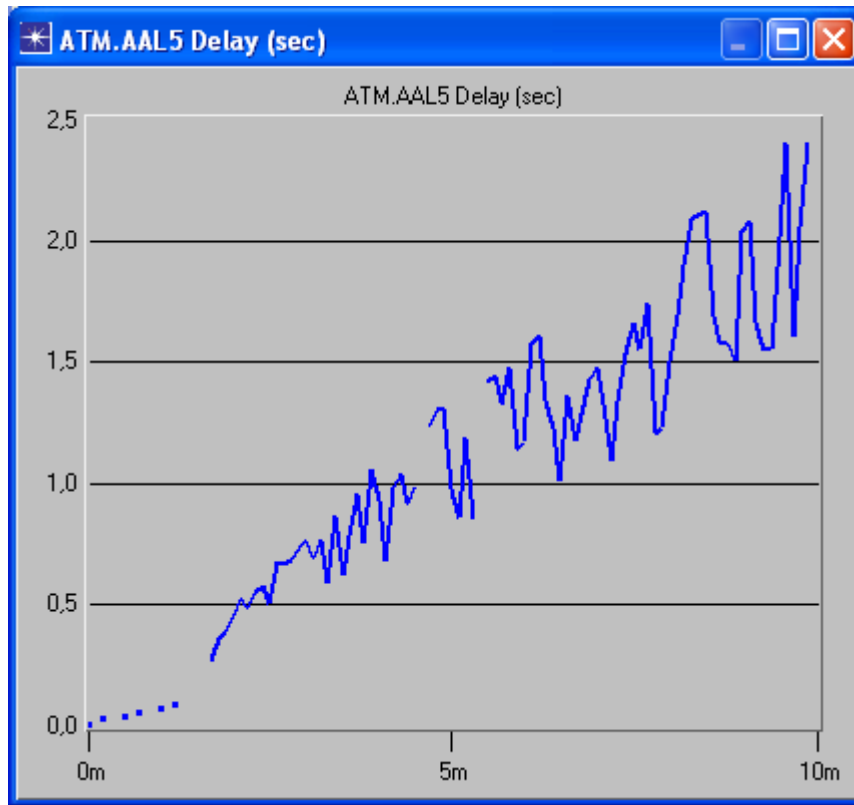
Σχήμα 6.28 Γραφική παράσταση που δείχνει τις τιμές γύρω από τις οποίες κυμαίνεται η καθυστέρηση των πακέτων από άκρη σε άκρη για τον κόμβο 10 του δικτύου, για την εφαρμογή της φωνής.

6.1.6 VBR με 43% Αύξηση της Background Κίνησης

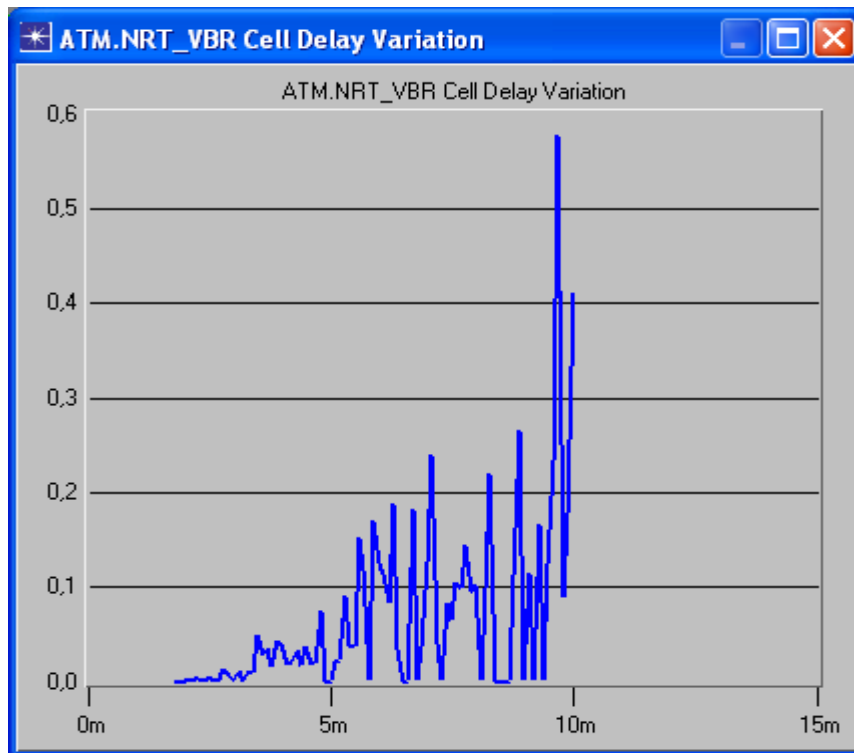
Το δίκτυο αυτό όπως προανέφερα και στο προηγούμενο κεφάλαιο έχει υποστεί 43% αύξηση από την αρχική υλοποίησή του. Αυτό είχε, σαν αποτέλεσμα το δίκτυο να εμφανίζει μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα του σε σχέση με το αρχικό σενάριο.

Για παράδειγμα η καθυστέρηση που εμφανίζεται στο AAL5 πρωτόκολλο μεταφοράς, είναι σε μη αποδεκτές τιμές για την συγκεκριμένη υπηρεσία ακόμα και για μια μη απαιτητική εφαρμογή, αφού φτάνει σχεδόν τα 2,5 sec. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το σχήμα 6.29. Μάλιστα, παρατηρείται μια σχεδόν εκθετική αύξηση της καθυστέρησης συναρτήσει του χρόνου. Πρόβλημα παρατηρείται και στις τιμές που παίρνει κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το CDV, (σχήμα 6.30) γεγονός που αποδεικνύει την συσχέτισή τους. Αυτό άλλωστε φαίνεται και από την σύγκριση των δυο σχημάτων.

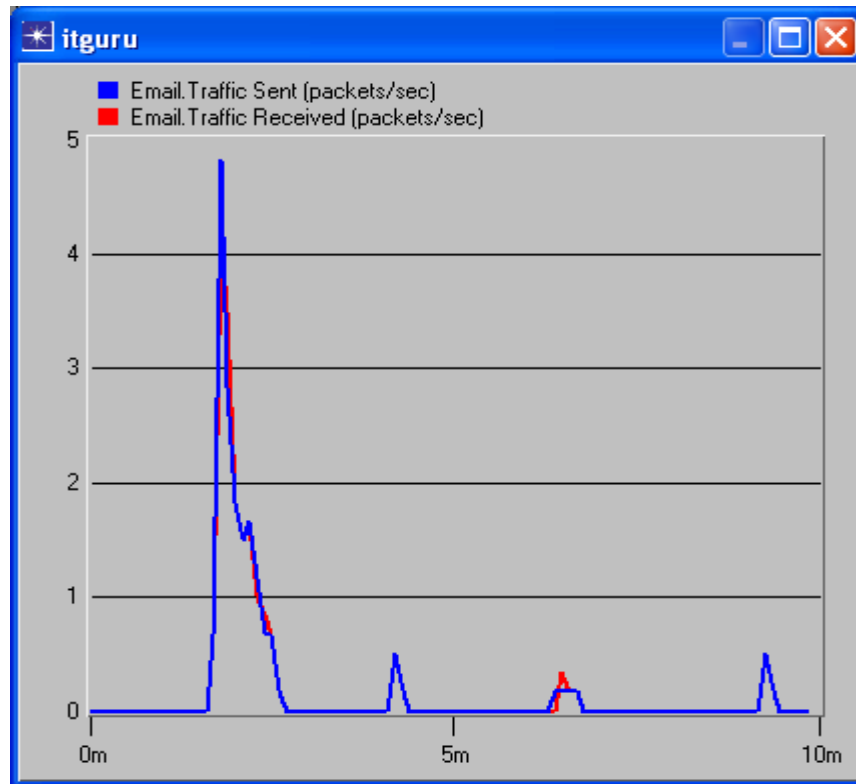
Οι καθυστερήσεις αυτές έχουν σαν συνέπεια κάποια απώλεια πληροφορίας, για τις εφαρμογές που τρέχουν στο δίκτυο (σχήμα 6.31 & 6.32), αφού αυτό αρχίζει να εμφανίζει συμφόρηση, λόγω του μεγάλου φόρτου. Η χρήση της σύνδεσης μεταξύ των δυο μεταγωγέων όπως δείχνει και το σχήμα 6.33 έχει φτάσει το 100%.



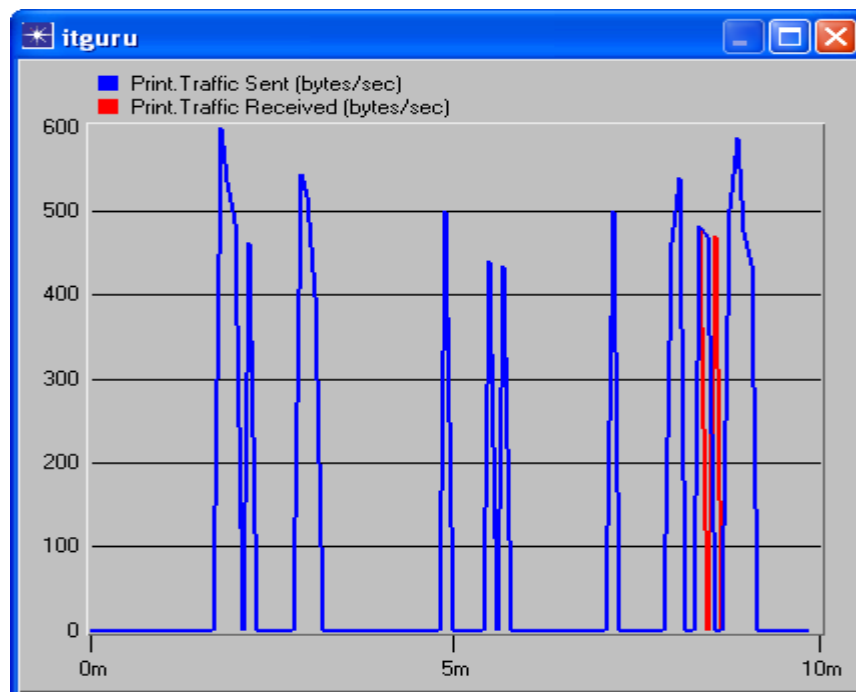
Σχήμα 6.29 Καυστέρηση στο AAL5 εκφρασμένη σε (sec)



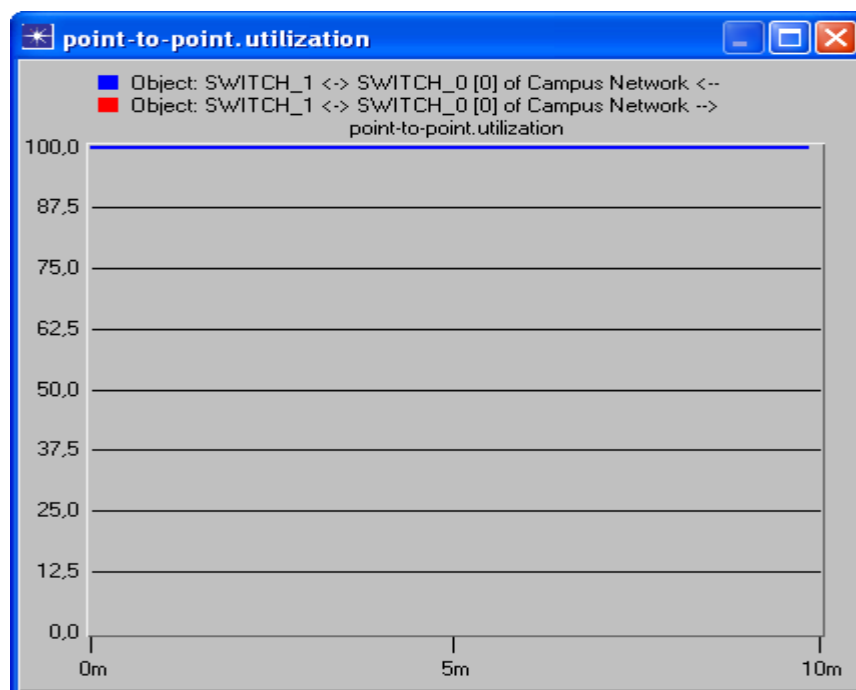
Σχήμα 6.30 Μεταβολή των τιμών του CDV κατά την διάρκεια του πειράματος



Σχήμα 6.31 Σύγκριτική γραφική παράσταση της κίνησης που αποστέλλεται και της κίνησης που λαμβάνεται για την εφαρμογή της φωνής.



Σχήμα 6.32 Σύγκριτική γραφική παράσταση της κίνησης που αποστέλλεται και της κίνησης που λαμβάνεται για την εφαρμογή της εκτύπωσης. Φαίνεται η απώλεια πληροφορίας σε bytes/sec.



Σχήμα 6.33 Απεικόνιση της χρήσης (utilization) της γραμμής μεταξύ των δύο μεταγωγέων του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 Μελέτη Ασύρματου Δικτύου

Στο κεφάλαιο αυτό υλοποιήθηκε ένα δίκτυο που περιλαμβάνει δυο υποδίκτυα, ένα ασύρματο και ένα ενσύρματο ATM δίκτυο. Το ασύρματο δίκτυο υποστηρίζει το IEEE 802.11 πρωτόκολλο. Δυστυχώς η συγκεκριμένη έκδοση του προγράμματος, δεν δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ασύρματων ATM δικτύων. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε το 802.11 πρωτόκολλο. (Άλλωστε σε πολλά papers έχω προσέξει ότι αναφέρουν την τεχνολογία 802.11 σαν την πρόταση της IEEE για την υλοποίηση του ασύρματου ATM.)

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να αναφερθώ, στις δυσκολίες που αντιμετώπισα κατά την προσπάθεια αυτή. Κυρίως, λόγω του ότι δεν υπήρχε κάποιο βοηθητικό κείμενο ή κάποια σχετική προσομοίωση που θα μπορούσε να λειτουργήσει ως παράδειγμα. Το OPNET περιείχε σαν βοηθητικό υλικό, κάποιες απλές εκδοχές, μικρών ασύρματων δικτύων που απαρτιζόνταν π.χ. μόνο από δυο κόμβους.

Επίσης, αρνητική εντύπωση για την ποιότητα της συγκεκριμένης έκδοσης του προγράμματος, μου δημιουργήθηκε από το γεγονός ότι κάποιο από αυτά τα ενδεικτικά δίκτυα παρουσίαζε μια σειρά λαθών με αποτέλεσμα να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή αποτελεσμάτων αλλά ούτε και να ολοκληρωθεί η προσομοίωση του δικτύου.

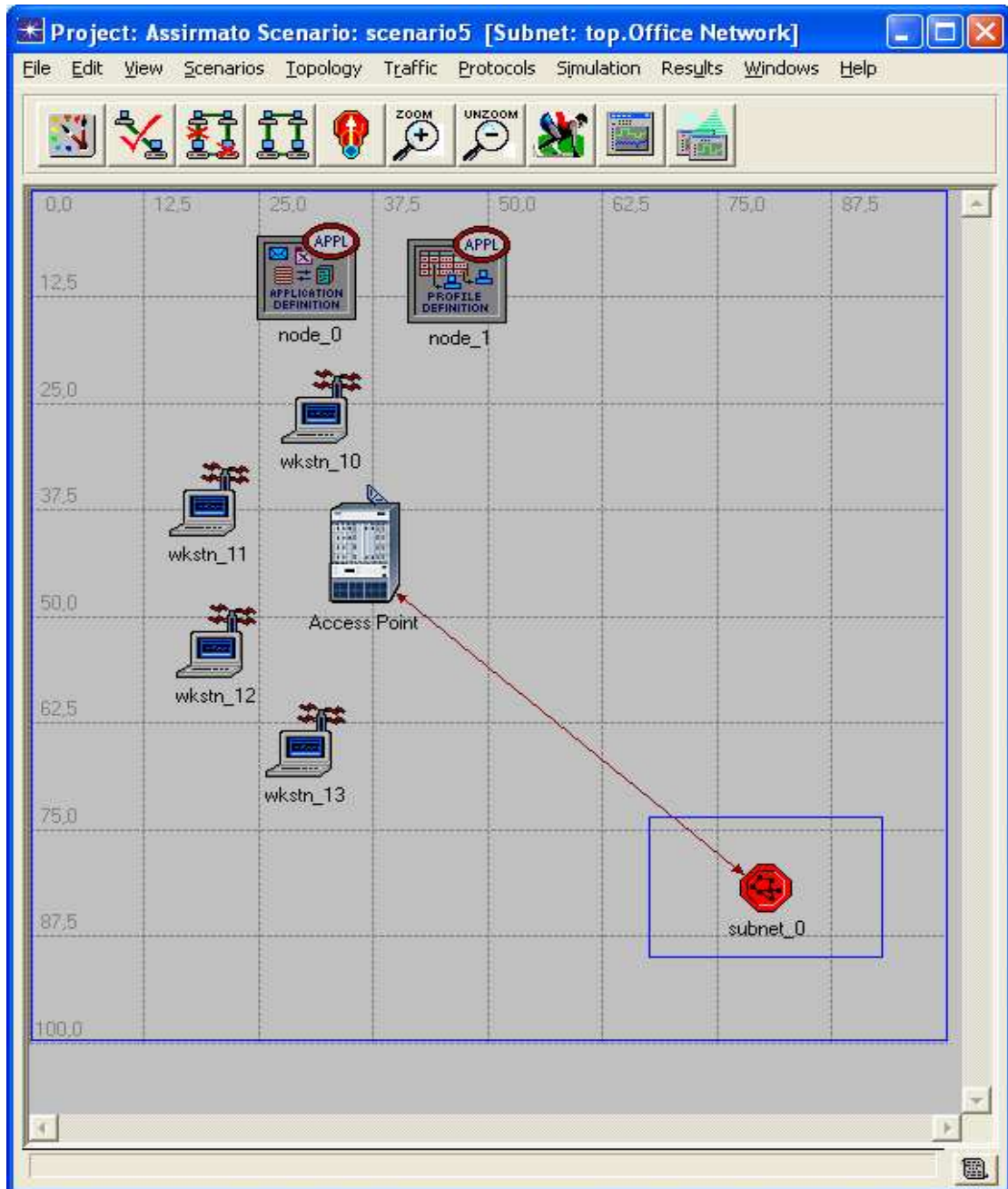
7.1.1 Υλοποίηση Ασύρματου Δικτύου

Στο σχήμα 7.1, φαίνεται η γενική δομή του δικτύου και απεικονίζεται αναλυτικά το ασύρματο δίκτυο και η σύνδεσή του με το ενσύρματο ATM υποδίκτυο. Τόσο οι κόμβοι που συνθέτουν το ασύρματο δίκτυο, όσο και το σημείο πρόσβασης AP (Access Point), που αποτελεί το συνδετικό του κρίκο με το ενσύρματο υποδίκτυο, υποστηρίζουν το 802.11 της IEEE και το Ethernet.

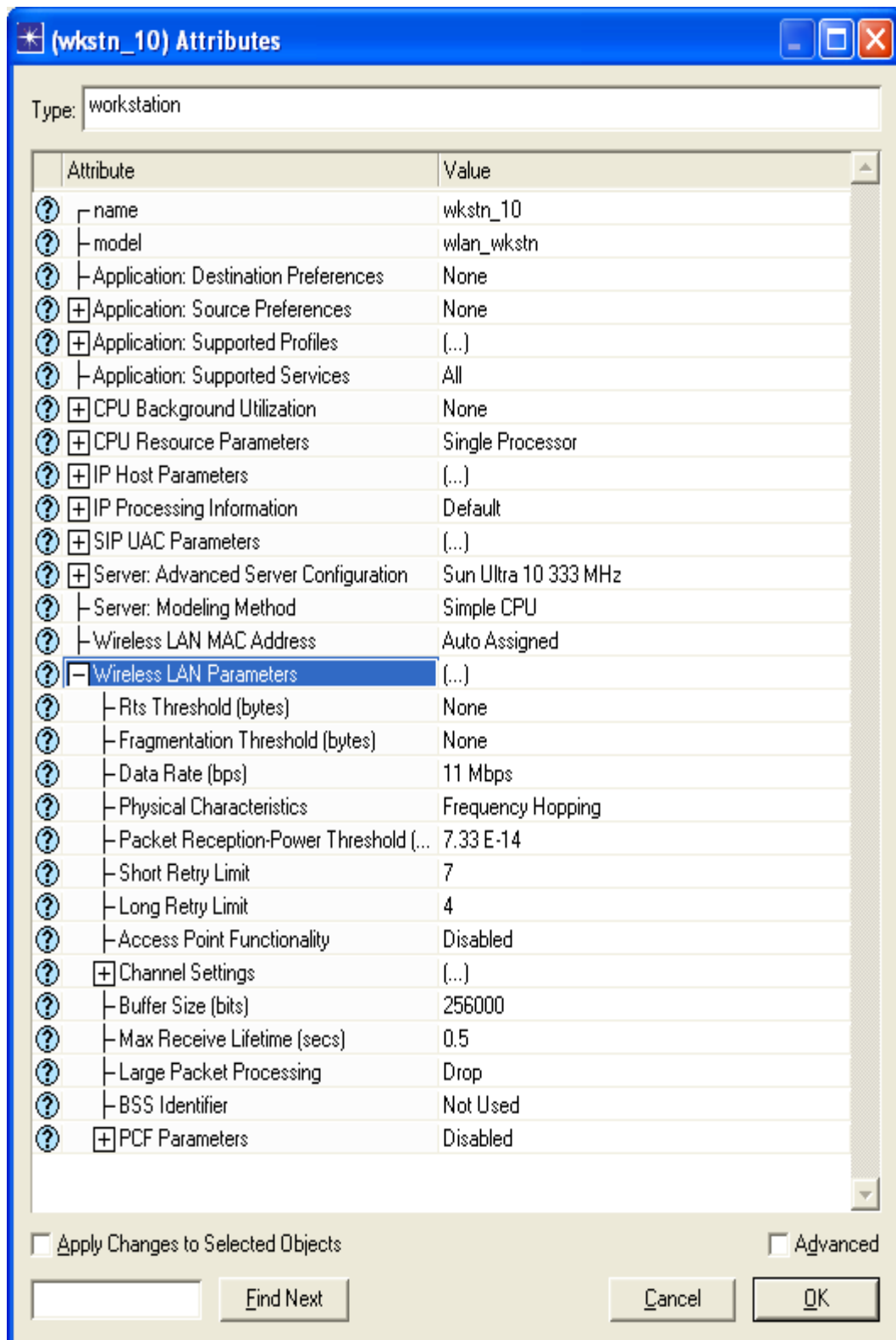
Πιο αναλυτικά, οι σταθμοί του ασύρματου δικτύου, υποστηρίζουν εφαρμογές πελάτη – εξυπηρετητή (client-server) που τρέχουν πάνω από TCP/IP. Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζονται οι παράμετροι αυτού του κόμβου. Το υποδίκτυο (subnet) που απεικονίζεται στο σχήμα 7.1, εσωτερικά έχει τη διαρύθμιση που φαίνεται στο σχήμα 7.4. Το υποδίκτυο αυτό, συνδέεται με το ασύρματο AP, μέσω μίας 100BaseT (Ethernet) σύνδεσης (μπορεί δηλαδή να υποστηρίζει την μεταφορά Ethernet πακέτων). Η υλοποίηση γίνεται εφικτή με τη βοήθεια του wlan_ethernet_router, ο οποίος μπορεί να επιτελέσει τον ρόλο του σημείου πρόσβασης για το ασύρματο δίκτυο, δηλαδή υποστηρίζει το 802.11 πρωτόκολλο, αλλά ταυτόχρονα διαθέτει θύρες οι οποίες υποστηρίζουν Ethernet επικοινωνία. Οι παράμετροί του φαίνονται στο σχήμα 7.3. Αντίστοιχα στο ενσύρματο υποδίκτυο έχει τοποθετηθεί ένας μεταγωγέας που υποστηρίζει την ATM τεχνολογία καθώς και Ethernet. Αυτό γίνεται εφικτό με τον κόμβο LU_BSTDX9000_8s_a16_ae2_fr5_adv που είναι διαθέσιμος στην παλέτα του προγράμματος.

Όπως προαναφέρθηκε, το υποδίκτυο υποστηρίζει ATM τεχνολογία και συγκεκριμένα την UBR υπηρεσία πάνω από TCP/IP. Αποτελείται από έναν εξυπηρετητή, ο οποίος υποστηρίζει όλες τις εφαρμογές που τρέχουν στο δίκτυο και άρα και τα προφίλ των χρηστών, από πέντε κόμβους και από τον μεταγωγέα που συνδέει το συγκεκριμένο δίκτυο με το ασύρματο.

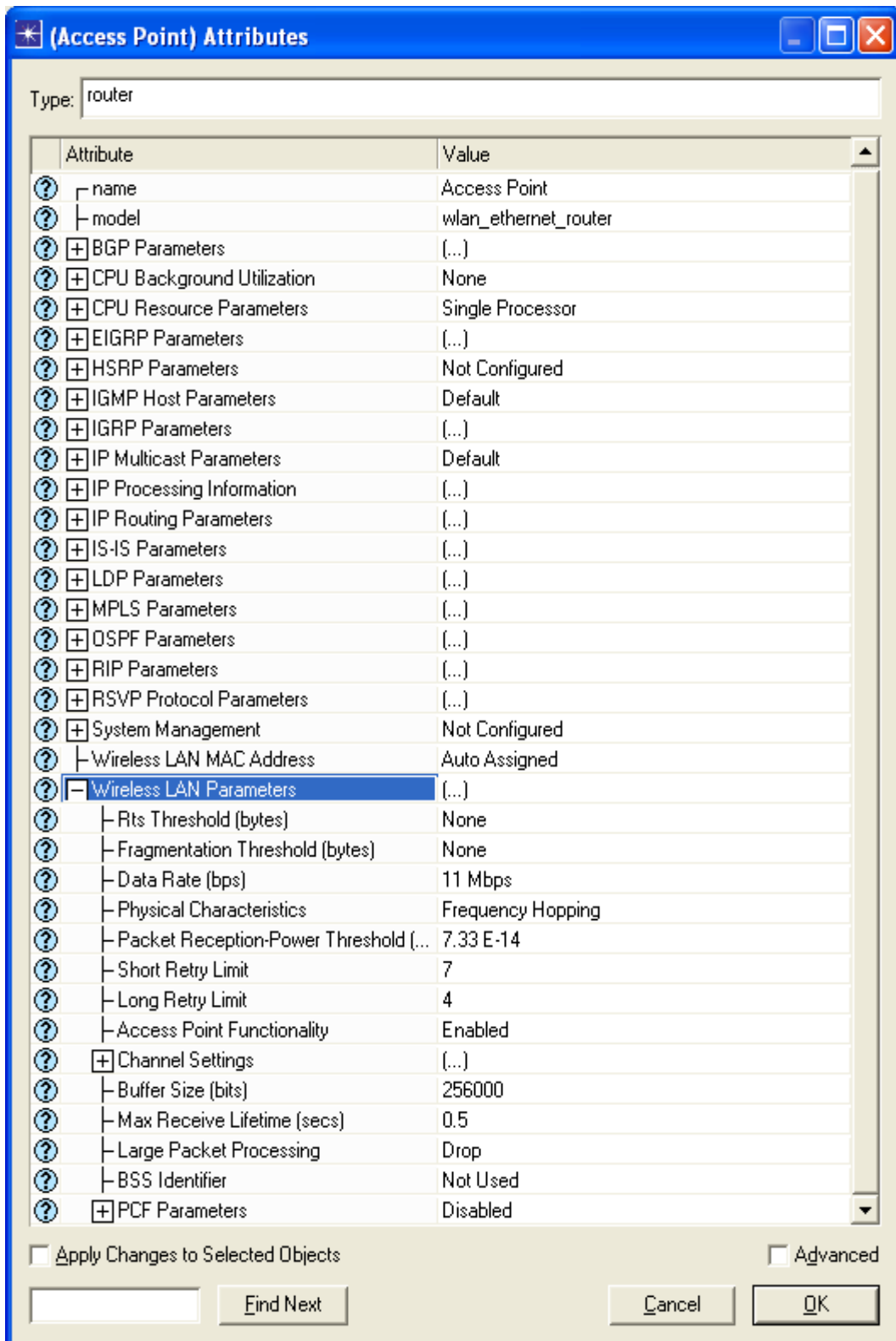
Ένας χρήστης του ασύρματου δικτύου, για να χρησιμοποιήσει μια εφαρμογή, θα πρέπει να εξυπηρετηθεί από τον server του ενσύρματου ATM δικτύου. Οι εφαρμογές που είναι διαθέσιμες στο δίκτυο είναι: το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, το FTP (File Transfer Protocol) και η πρόσβαση σε αρχεία δεδομένων. Τα προφίλ χρηστών που έχουν ορισθεί σε αυτό το πείραμα είναι: ερευνητής (Researcher), χρήστης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (E-mail User) και μαθητής (Student). Κάθε χρήστης ορίστηκε να χρησιμοποιεί μια εφαρμογή. Έτσι ο χρήστης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου φυσικά χρησιμοποιεί την ομώνυμη υπηρεσία, ο ερευνητής το FTP και τέλος ο μαθητής έχει πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων.



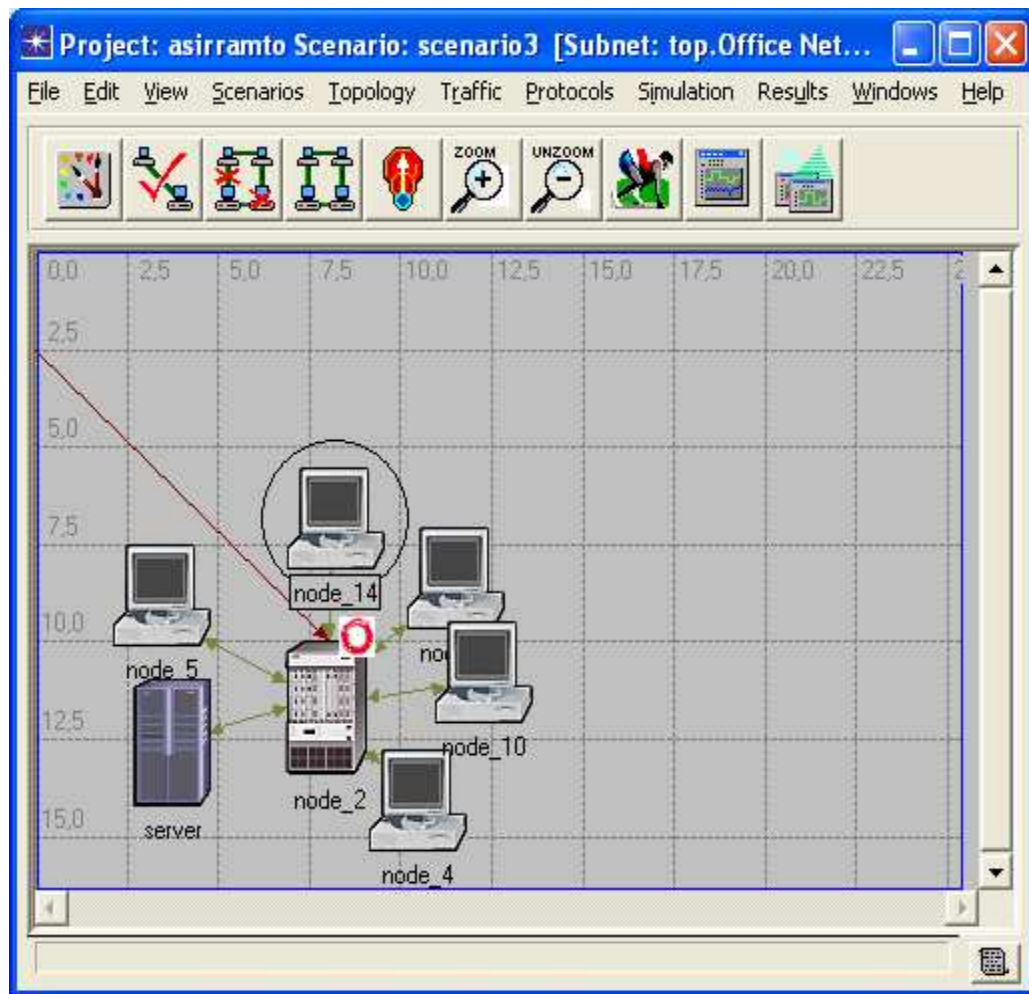
Σχήμα 7.1 Δομή του ασύρματου δικτύου. Στο σχήμα φαίνεται και το υποδίκτυο το οποίο στηρίζεται στην ATM τεχνολογία.



Σχήμα 7.2 Παράμετροι ασύρματου κόμβου. Εδώ φαίνονται οι ρυθμίσεις που έχω κάνει για το WLAN.



Σχήμα 7.3 Παράμετροι του σημείου πρόσβασης (AP) για το ασύρματο δίκτυο.



Σχήμα 7.4 Δομή του ενσύρματου ATM υποδικτύου.

7.2 Πειραματικά Αποτελέσματα Ασύρματου Δικτύου

Στις σελίδες που ακολουθούν παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις διαφόρων στατιστικών στοιχείων που εξήχθησαν με την βοήθεια του OPNET και αφορούν το ασύρματο δίκτυο. Κάτω από κάθε σχήμα υπάρχει ένας σύντομος σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

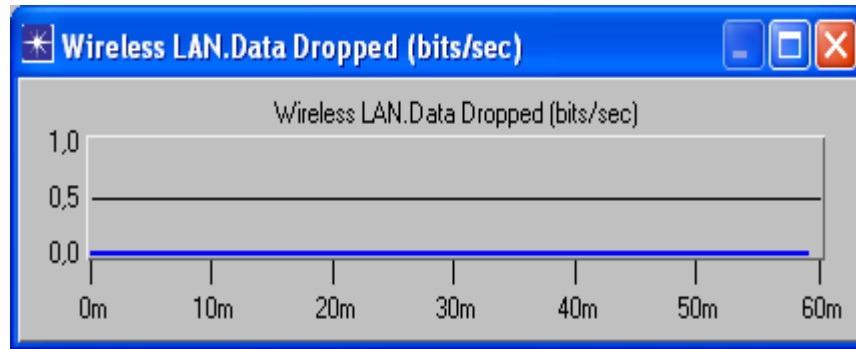
Στο ασύρματο δίκτυο, λόγω της φύσεως του μέσου μετάδοσης, υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος για απώλεια πληροφορίας και αύξηση του Bit Error Rate (BER). Φυσικά, μεγάλο ρόλο στην εμφάνιση ή όχι κάποιων προβλημάτων, παίζει η απόσταση που καταλαμβάνει το δίκτυο, η απόσταση ανάμεσα στους κόμβους του, η ύπαρξη ή όχι ενδιάμεσων εμποδίων (π.χ. ένα κτίριο) κ.τ.λ.

Τα αποτελέσματα της υλοποίησης του ασύρματου δικτύου, μας δείχνουν ότι κατ'αρχήν δεν υπάρχει κάποια απώλεια πακέτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5, δηλαδή δεν έχουν απορριφθεί πακέτα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Η συνολική καθυστέρηση, σχήμα 7.6 είναι σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα (0,0040-0,0056 περίπου) και έτσι το δίκτυο θα μπορούσε να υποστηρίξει ικανοποιητικά οποιαδήποτε εφαρμογή.

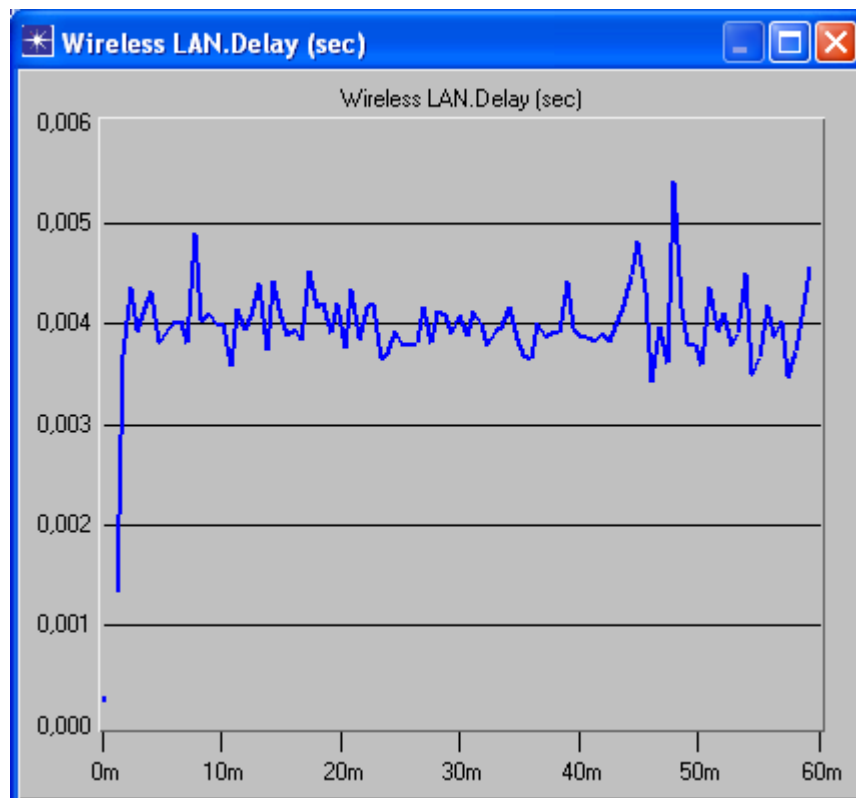
Επίσης, τα σχήματα 7.7 και 7.9 μας δείχνουν ότι το δίκτυο ανταποκρίνεται ομαλά στον φόρτο (load) που του έχει καθορισθεί να εξυπηρετεί, αφού η διέλευση (throughput),

δηλαδή η ολική χρήσιμη πληροφορία που διέρχεται στον καθορισμένο χρόνο από το δίκτυο, είναι ισοδύναμη με τον φόρτο.

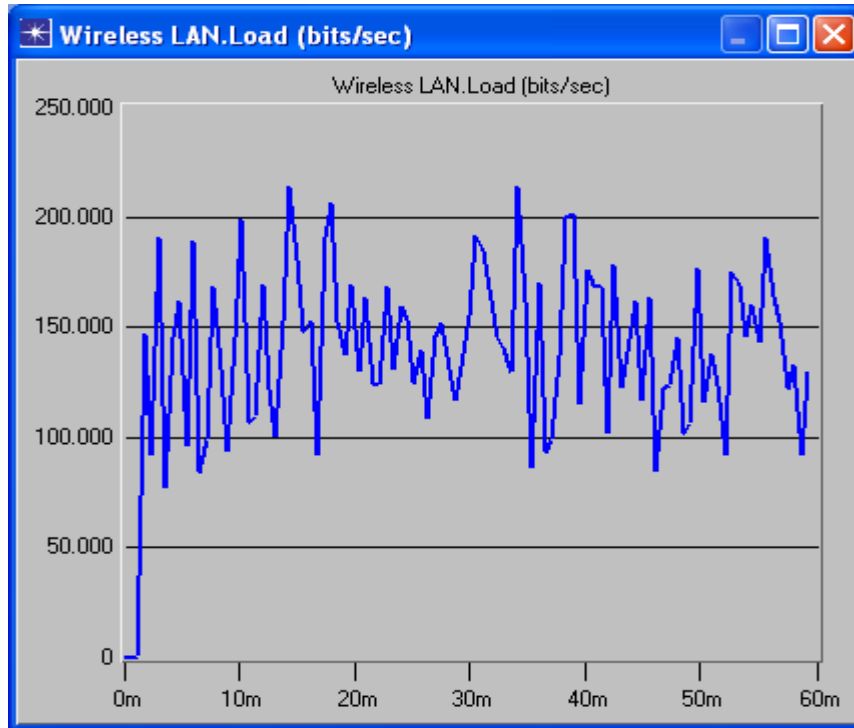
Τέλος, το BER είναι σε μηδενικές τιμές καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος (με ακρίβεια 10^6). Πράγμα ίσως, μη αναμενόμενο, για το είδος του δικτύου. Ενώ από το σχήμα 7.11 είναι φανερό ότι δεν υπάρχει απώλεια πακέτων μεταξύ του ενσύρματου δικτύου και του σημείου πρόσβασης, του ασύρματου δικτύου.



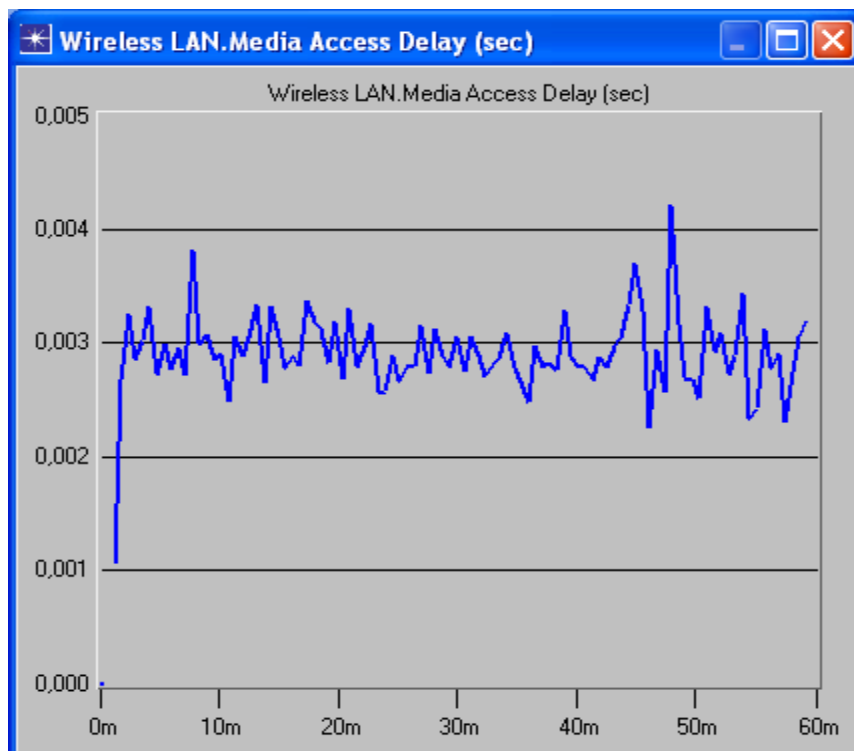
Σχήμα 7.5 Γραφική παράσταση που δείχνει τα δεδομένα που χάνονται στο ασύρματο δίκτυο εκφρασμένα σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο.



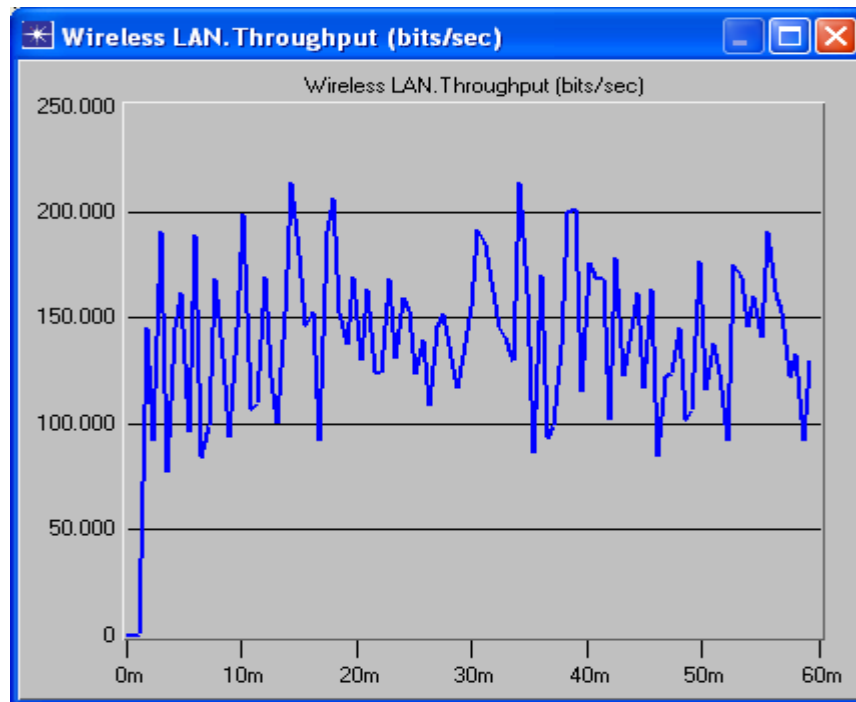
Σχήμα 7.6 Γραφική παράσταση της καθυστέρησης που παρουσιάζεται στο ασύρματο δίκτυο καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, σε δευτερόλεπτα.



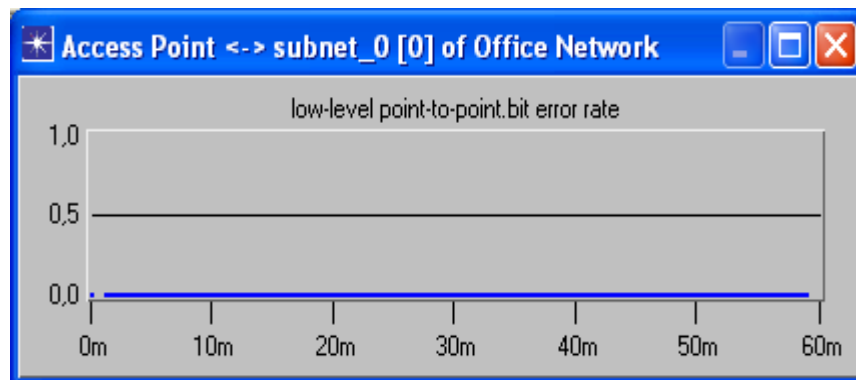
Σχήμα 7.7 Γραφική παράσταση του φόρτου (load) που παρουσιάζεται στο ασύρματο δίκτυο σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο.



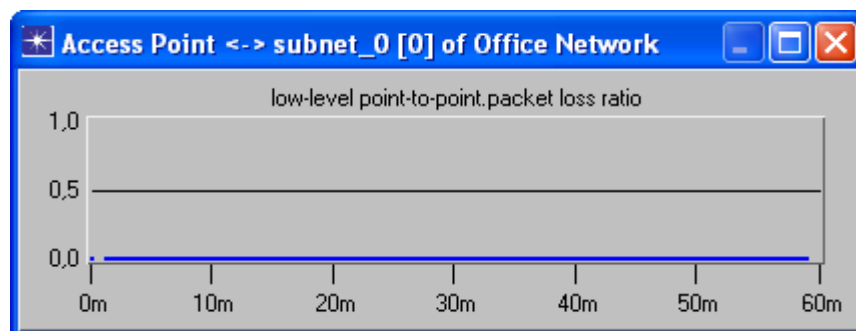
Σχήμα 7.8 Γραφική παράσταση που φανερώνει την καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα.



Σχήμα 7.9 Γραφική παράσταση που δείχνει τη διέλευση δεδομένων (throughput) στο ασύρματο δίκτυο σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο.



Σχήμα 7.10 Γραφική παράσταση που απεικονίζει το BER μεταξύ του σημείου πρόσβασης του ασύρματου δικτύου και του ενσύρματου ATM υποδικτύου.



Σχήμα 7.11 Γραφική παράσταση που φανερώνει την αναλογία των χαμένων πακέτων μεταξύ του σημείου πρόσβασης (AP) και του υποδικτύου καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εν συντομία, τα αποτελέσματα της πτυχιακής. Παράλληλα κρίθηκε σκόπιμο, να σχολιασθεί πρωταρχικά το πρόγραμμα OPNET με το οποίο εκτέλεσθηκαν οι προσομοιώσεις, ώστε ο μελλοντικός χρήστης του πακέτου, να κατανοήσει τις δυσκολίες που πρόκειται να αντιμετωπίσει αλλά και τις δυνατότητες που του παρέχονται. Επίσης, το OPNET από την φύση του, αποτελεί αντικείμενο μελέτης, αφού έχει καθιερωθεί ως το καλύτερο εργαλείο προσομοίωσης που προσφέρει αυτή την στιγμή η αγορά. Ακολουθώς, παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα των πειραμάτων, τόσο για τα βασικά σενάρια, όσο και για τα σενάρια στα οποία τα δίκτυα έφταναν στα όρια των δυνατοτήτων τους.

8.1.1 Συμπεράσματα από την χρήση του OPNET 9.1 Academic Edition

Το OPNET IT GURU 9.1 αποτελεί ένα εξελιγμένο εργαλείο που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει, να προσομοιώσει αλλά και να διεξάγει έρευνα για την απόδοση του δικτύου, υπό διαφορετικές συνθήκες ή παραμέτρους.

Η έκδοση αυτή όπως προανέφερα έχει κάποιους περιορισμούς λόγω του ότι προορίζεται για ακαδημαϊκή χρήση. Οι κυριότεροι, ίσως, από αυτούς ήταν ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα για χρήση κάποιων editors όπως το node domain και το process domain. Έτσι, για παράδειγμα δεν έγινε κάποιος καθορισμός των μοντέλων (network models) στο επίπεδο του node editor, ούτε δημιουργήθηκε κάποιος κώδικας σε γλώσσα C που να καθορίζει την λειτουργία των κόμβων με τον process editor. Αυτό το γεγονός όμως, δεν αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα για την δημιουργία του δικτύου γιατί το πρόγραμμα περιείχε ήδη έτοιμους κόμβους (nodes) και συνδέσεις (links) που υποστήριζαν την ATM τεχνολογία και έτσι έγινε δυνατή η απεικόνιση του ενσύρματου ATM δικτύου.

Επίσης, ένας άλλος δικαιολογημένος περιορισμός, ήταν ότι το πρόγραμμα επέτρεπε ένα συγκεκριμένο αριθμό γεγονότων (events/sec), κατά την διάρκεια μιας προσομοίωσης. Αυτό αποτελεί, σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα για την εξαγωγή συμπερασμάτων, σε περιπτώσεις που θέλουμε να παρατηρήσουμε την απόδοση του δικτύου, και έχουμε θέσει να πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης ένας μεγάλος αριθμός συμβάντων (events). Πάντως, όπως παρατηρήθηκε από τα πειράματα μετά την πάροδο χρόνου 100 δευτερολέπτων το δίκτυο παρουσίαζε μια σταθερότητα όσον αφορά τα εξαγόμενα στατιστικά στοιχεία.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα, όμως το αντιμετώπισα στην δημιουργία του ασύρματου δικτύου διότι δεν υπήρχε κάποιο πρόγραμμα (editor) που να υποστηρίζει την δημιουργία ασύρματων δικτύων π.χ wireless domain editor ή antenna pattern editor. Έτσι, δεν ήταν δυνατός ο καθορισμός π.χ. της κατευθυντικότητας των κεραιών στους πομποδέκτες ή των κόμβων ώστε να υποστηρίζουν ασύρματο ATM. Οι δυνατότητες αυτές, παρέχονται από το Modeler το οποίο αποτελεί ένα εξαιρετικά ακριβό πρόσθετο εργαλείο. Αυτός ήταν και ο λόγος που το ασύρματο δίκτυο που προσομοιώθηκε, υποστηρίζει το 802.11 της IEEE, αλλά εξυπηρετείται από ένα ενσύρματο ATM δίκτυο.

Παρά όμως τους όποιους περιορισμούς στην συγκεκριμένη έκδοση, το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη, να δημιουργήσει ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών δικτύων, από ένα μικρό τοπικό δίκτυο (LAN) μέχρι ένα παγκόσμιο δίκτυο (WAN). Το

OPNET για να πραγματοποιήσει μια προσομοίωση, οδηγείται από τα γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στο δίκτυο (discrete event driven simulation), αυτό σημαίνει ότι ο ερευνητής έχει την δυνατότητα να εξετάσει την ανταπόκριση του δικτύου σε πραγματικά γεγονότα (events), σε μια ρεαλιστική εκδοχή. Με τη βοήθειά αυτού του πακέτου, ο σχεδιαστής μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές μελέτες, κάτω από διαφορετικά σενάρια, ώστε να αποφύγει λανθασμένες υλοποιήσεις, οι οποίες, μπορεί να κοστίσουν μεγάλα χρηματικά ποσά.

Επιπροσθέτα, το πρόγραμμα παρέχει ένα μεγάλο αριθμό μοντέλων, τα οποία και υποστηρίζουν την πλειοψηφία των πρωτοκόλλων που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην αγορά. Έτσι, είναι δυνατή η μελέτη οποιασδήποτε σχεδόν υλοποίησης και η εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με το ποιά θα πρέπει να είναι η προτιμότερη σχεδιαστική λύση. Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα του προγράμματος είναι το γεγονός ότι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη μετά το πέρας κάποιου υποτιθέμενου σεναρίου (what if scenario), να ελέγξει πιθανά προβλήματα στην λειτουργία του, μελετώντας τα εξαγόμενα στατιστικά στοιχεία και το simulation log που παρέχει πληροφορίες και προειδοποιήσεις. Ίσως εδώ εντοπίζεται και το μεγαλύτερο πλεονέκτημά του, το οποίο είναι οι λύσεις που προτείνει για την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων, ή δυσλειτουργιών. Μέσα από αυτές ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αυτήν που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες του.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί, η ποικιλία των στατιστικών στοιχείων που μπορούν να συλλεχθούν, κατά τη διάρκεια μιάς προσομοίωσης, η δυνατότητα άμεσης εξαγωγής μέσω των τιμών, η συσχέτιση και σύγκριση αποτελεσμάτων διαφορετικών σεναρίων, η ταχεία εύρεση μεγίστων τιμών ανά σενάριο αλλά και η κακή σχεδίαση ενός δικτύου (project).

Συμπερασματικά, το πρόγραμμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να αποκτήσει μια ευρύτερη αντίληψη των δικτύων και των τεχνολογιών που τα υποστηρίζουν, να κατανοήσει τη λειτουργία τους και να αποκτήσει διορατικότητα όσον αφορά την απόδοση του δικτύου, κάτω από τις εκάστοτε δοθείσες παραμέτρους. Με αυτόν τον τρόπο ο ερευνητής αισθάνεται σαν να υλοποιεί στην πραγματικότητα το δίκτυο ενώ ταυτόχρονα εμβαθύνει τις γνώσεις του στην σχεδίαση δικτύων.

8.1.2 Συμπεράσματα Πειραμάτων

Τα βασικά σενάρια που μελετήθηκαν, κατά την διάρκεια των πειραμάτων, ήταν στο ενσύρματο ATM δίκτυο, η υλοποίηση της CBR, της nrt-VBR και της UBR υπηρεσίας, με απώτερο στόχο να διερευνηθεί η διαφορά τους. Ενώ στο ασύρματο δίκτυο, λόγω του ότι το Modeler δεν ήταν διαθέσιμο, μελετήθηκε μόνο η UBR υπηρεσία.

Από αυτά τα βασικά σενάρια, επιβεβαιώθηκε η φύση των προαναφερόμενων υπηρεσιών και η συμπεριφορά που επιβάλλει να έχουν τα δίκτυα, όσον αφορά την παρεχόμενη ποιότητα στον τελικό χρήστη. Επιπλέον, μελετήθηκε και ένα επαρκές σύνολο σεναρίων, στο οποίο τα δίκτυα έφταναν στα όρια σχεδόν των δυνατοτήτων τους.

Γραφικές παραστάσεις των εξαγόμενων, ανά υπηρεσία, στατιστικών στοιχείων υπάρχουν στο παράρτημα 3 της πτυχιακής, για οποιονδήποτε επιθυμεί να τις μελετήσει. Επίσης, στο παράρτημα 2, το οποίο είναι σε μορφή excel αρχείου, βρίσκονται συγκεντρωμένες, σε δυο πίνακες, όλες οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στην βασική σχεδίαση, ανά σενάριο. Ο τρίτος πίνακας αφορά τα εξαγόμενα αποτελέσματα, ανά σενάριο ενώ, ο τελευταίος παρουσιάζει τις αποδεκτές τιμές αυτών σύμφωνα με τις πηγές που χρησιμοποιήσα.

Αναλυτικότερα, για την CBR υπηρεσία πολλά διαφορετικά πειράματα πραγματοποιήθηκαν, σε κάποια από αυτά, αυξήθηκε η background κίνηση, σε άλλα η

κίνηση που προκαλούσαν οι εφαρμογές που τρέχαν στο δίκτυο, σε όλες τις περιπτώσεις όμως, υπήρχε συσχέτιση της CDV παραμέτρου με την συνολική καθυστέρηση που παρουσίαζε στο AAL το δίκτυο. Αυτό συμβαίνει, γιατί η παράμετρος αυτή ουσιαστικά φανερώνει τυχόν καθυστερήσεις που παρουσιάζονται στο δίκτυο π.χ. κατά την μετάδοση της πληροφορίας από τον ένα μεταγωγέα στον άλλο.

Επίσης, παρατηρήθηκε η ευελιξία της nrt-VBR σε σχέση με την CBR, όσον αφορά καταγωγιστικής φύσεως κίνηση, αφού η πρώτη χρησιμοποιεί στατιστική πολυπλεξία για να αυξήσει την επάρκεια του δικτύου. Ακόμα, φάνηκε η ανοχή της nrt- VBR στις διακυμάνσεις στις καθυστερήσεις κελιών.

Από την άλλη η UBR υπηρεσία δεν παρουσίασε καμμία αντίδραση στην αυξημένη κίνηση που υπήρχε στο δίκτυο με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη απώλεια πληροφορίας και μια εφαρμογή να μην ξεκινήσει καν. Το TCP πρωτόκολλο δεν στάθηκε ικανό να περιορίσει την εμφανιζόμενη συμφόρηση στο δίκτυο, με αποτέλεσμα η απόδοση του δικτύου να κινηθεί σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα.

Πιο γενικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι σημαντικά προβλήματα στην λειτουργία του δικτύου έχουμε όταν :

- παρουσιάζεται σημαντική αύξηση στην κίνηση των πηγών του δικτύου (π.χ. αύξηση κατά 10^4 του μεγέθους των αρχείων στην εφαρμογή μεταφοράς αρχείων),
- μειωθούν οι Buffers στους μεταγωγείς (θα πρέπει να είναι ανάλογη των εφαρμογών που τρέχουν στο δίκτυο),
- προσθέσουμε επιπλέον ροές κίνησης (π.χ. επιπλέον εφαρμογές, για παράδειγμα εκτυπώσεις),
- μειωθεί ο ρυθμός μετάδοσης στις συνδέσεις (π.χ. από T3 σε DS1),
- αυξηθεί η background κίνηση (ανάλογα με τον ήδη υπάρχοντα φόρτο στο δίκτυο),
- αυξηθεί η χρήση των συνδέσεων (link utilization) στο δίκτυο
- αυξηθούν εκθετικά οι ροές κίνησης στο δίκτυο (π.χ. καθορισμός της επανάληψης της κίνησης μεταφοράς αρχείων σε «απεριόριστος»).

Στις προαναφερόμενες περιπτώσεις οι επιπτώσεις είναι:

- εμφάνιση μεγάλων καθυστερήσεων, ή μη αποδεκτών για την υπηρεσία που υποστηρίζει το δίκτυο.
- απώλεια κελιών
- αύξηση της παραμέτρου CLR, (η παράμετρος αυτή δείχνει την αναλογία χαμένων κελιών προς τα συνολικά αποσταλμένα)
- αναμεταδόσεις πακέτων από τις πηγές
- απόρριψη κελιών στους μεταγωγείς
- μειωμένη απόδοση του δικτύου, (η απόδοση ενός δικτύου μπορεί να μελετηθεί με την βοήθεια ενός γραφήματος όπου στον ένα άξονα θα έχει τοποθετηθεί η κίνηση που αποστέλλεται και στον άλλο η κίνηση που λαμβάνεται σε συνάρτηση με τον χρόνο)
- συμφόρηση του δικτύου.

Επίλογος

Κατά την διάρκεια της ενασχόλησης μου με την πτυχιακή εργασία πάνω στα ενσύρματα ATM δίκτυα, εμπλούτισα σε μεγάλο βαθμό τις γνώσεις μου στον χώρο των δικτύων και των τηλεπικοινωνιών. Επιπλέον, έγιναν κατανοητοί οι λόγοι που αυτή η τεχνολογία αναπτύχθηκε με τόσο ταχείς ρυθμούς και υιοθετήθηκε από τις σημαντικότερες και πιο αξιόπιστες, σε παγκόσμιο επίπεδο, εταιρείες. Άλλωστε, η χρήση ενός ενιαίου δικτύου (integrated network) που υποστηρίζει πολλαπλούς τρόπους επικοινωνίας (φωνή, εικόνα, δεδομένα) είναι πολύ σημαντική για την εποχή μας, μια εποχή που χαρακτηρίζεται από εφαρμογές πολυμέσων.

Εκτός όμως από την εμπάθυνση που πραγματοποιήθηκε στην παραπάνω τεχνολογία, σημαντικό κομμάτι της πτυχιακής αποτέλεσε και η επέκτασή της ATM τεχνολογίας σε ασύρματο περιβάλλον. Άλλωστε, η δυνατότητα που παρέχει το κλασικό ATM δίκτυο για σωστή κατανομή του εύρους ζώνης ανά χρήστη και υπηρεσία είναι βασική απαίτηση και στις ασύρματες επικοινωνίες. Όμως, η συλλογή πληροφοριών πάνω σε αυτό το γνωστικό αντικείμενο, με δυσκόλεψε ιδιαίτερα, καθώς, ακόμα δεν υπάρχουν βιβλία ή έστω μελέτες που να έχουν συγκεντρώσει, τα κύρια χαρακτηριστικά του WATM. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αναγκαστώ να ανατρέξω, σε τεχνικά κείμενα ή projects ερευνητικών ομάδων και να βρεθώ πολλές φορές αντιμέτωπη με αρκετά δυσνόητη ορολογία, σε αγγλική ή γερμανική γλώσσα. Συνέπεια αυτού, ήταν σε αυτό τον θεματικό πυρήνα, να δαπανηθεί άφθονος χρόνος, ώστε να γίνει εφικτή η καλύτερη δυνατή απόδοση και ταξινόμηση των δεδομένων, με αποτέλεσμα, ο αναγνώστης του δεύτερου κεφαλαίου να κατανοήσει ευκολότερα τις βασικές αρχές του WATM.

Σημαντικό τμήμα της πτυχιακής αποτέλεσε και η εκμάθηση του OPNET ως εργαλείου προσομοίωσης. Η επιλογή αυτού του εργαλείου δεν ήταν τυχαία. Ήδη, από την περίοδο που παρακολουθούσα προπτυχιακά μαθήματα, μου είχε τραβήξει το ενδιαφέρον, λόγω των συχνών αναφορών του σε διάφορες δημοσιεύσεις. Έτσι, επιλέχθηκε έναντι άλλων εργαλείων και με την βοήθειά του, πραγματοποιήθηκε μία σειρά από προσομοιώσεις, πάνω σε διαφορετικά σενάρια περισσότερο για το ενσύρματο ATM δίκτυο. Αυτή η μελέτη των σεναρίων είχε σαν αποτέλεσμα την εμπέδωση της διαφορετικότητας των υπηρεσιών που υποστηρίζει το ATM καθώς και του υψηλού επιπέδου ποιότητας που αυτές εξασφαλίζουν. Μέσω αυτού του προγράμματος, μπόρεσα να αντιληφθώ τις δυσκολίες που μπορεί να αντιμετωπίσει ένα μηχανικός κατά την σχεδίαση ενός δικτύου και την ποικιλία των παραμέτρων, που πρέπει να λάβει υπόψιν του, όπως για παράδειγμα, την απόσταση που πρόκειται το δίκτυο να καλύψει, τον αριθμό των χρηστών, την κίνηση που αυτοί προκαλούν, το μέσο μετάδοσης, την συμβατότητα των συσκευών, το ποσοστό κατά το οποίο μπορεί να αυξηθεί η κίνηση του δικτύου (χωρίς να υπάρξουν επιπτώσεις στην απόδοση του), το κόστος κ.τ.λ.

Επιπροσθέτως, συνέπεια των πολλών διαφορετικών σεναρίων που μελετήθηκαν (what if scenarios) της διαρκούς ενασχόλησής μου με το OPNET, ήταν να προβλέπω σε μεγάλο βαθμό, την «αντίδραση» του δικτύου που σχεδίαζα, σε μια ενδεχόμενη μεταβολή. Το σύνολο των προσομοιώσεων που πραγματοποίησα υπάρχει, όπως έχω προαναφέρει, στο παράρτημα 2 της πτυχιακής για οποιονδήποτε επιθυμεί να ανατρέξει. Σκοπός της δημιουργίας αυτού του παραρτήματος είναι να μπορέσει ο αναγνώστης να αποκτήσει, γρήγορα, μια εικόνα του πως παράμετροι όπως π.χ. η αύξηση της background κίνησης, επιδρούν σε ένα ενσύρματο ATM δίκτυο. Από τον πίνακα αποτελεσμάτων του ίδιου παραρτήματος, μπορεί επίσης, να διαπιστώσει την αποδοτικότητα ή όχι του δικτύου και την ποιότητα υπηρεσιών που δύναται αυτό να προσφέρει. Οι γραφικές παραστάσεις του τρίτου παραρτήματος, ολοκληρώνουν αυτήν την εικόνα, αφού κάθε μια από αυτές,

απεικονίζει τα εξαγόμενα στατιστικά στοιχεία διαφορετικών εκδοχών της ίδιας σχεδίασης.

Τέλος, θα ήθελα να αναφέρω ότι μέριμνα μου, καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής, ήταν το κείμενο να παραμείνει απλό και κατανοητό. Αυτός ήταν και ο λόγος που στο πρώτο παράρτημα υπάρχει ένα σύντομο επεξηγηματικό λεξικό ευρέως χρησιμοποιούμενων όρων και ακρωνυμίων. Παράλληλα, καταβλήθηκε κόπος, ώστε να αποδοθούν στα ελληνικά, διάφοροι ξενόγλωσσοι όροι. Ελπίζω, αυτή η προσπάθεια να απέδωσε καρπούς.

Συνοψίζοντας, την μελέτη γύρω από το χώρο των ATM δικτύων, μπορούμε να καταλήξουμε, στο ότι η ενοποίηση του ασύρματου ATM με το ενσύρματο ATM δίκτυο φαίνεται να γίνεται εφικτή σε σύντομο χρονικό διάστημα. Άλλωστε, η ιδέα της εφαρμογής της ATM τεχνολογίας, στο χώρο των ασύρματων δικτύων, τυχαίνει θετικής αποδοχής από το μεγαλύτερο κομμάτι της επιστημονικής κοινότητας, κυρίως λόγω των πλεονεκτημάτων και της επιτυχίας που παρουσίασε το ενσύρματο ATM. Αυτή η επέκταση αναμένεται να δώσει την δυνατότητα στα B-ISDN δίκτυα να εξυπηρετήσουν τις αυξημένες απαιτήσεις, των συνδρομητών τους σε κίνηση.

Η ATM τεχνολογία μπορεί να ανταποκριθεί στην ανάγκη, για δημιουργία ενός ενιαίου δικτύου, ενσύρματου και ασύρματου, ικανού να εξυπηρετήσει, με εγγύηση, διαφορετικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες, για όλα τα είδη χρηστών.

Εάν το ATM θα υιοθετηθεί τελικά και δεν θα προσπεραστεί από ανταγωνιστικές All-IP τεχνολογίες που ωστόσο υπολείπονται QoS διασφαλίσεων, μένει να φανεί στο άμεσο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] William Stallings, “Επικοινωνίες υπολογιστών και δεδομένων”, Εκδόσεις Τζιόλα
- [2] Martin Clark, “ATM Networks Principles and Use”, Willey Teubner.
- [3] Atif S. Wasi, “Wireless ATM”, Ιούλιος 2000.
- [4] Koichi Asatani, “Introduction to ATM Networks and B-ISDN”, Willey.
- [5] EURESCOM Project P810-PF, “Wireless ATM Access and Advanced Software Techniques for Mobile Network Architecture”, February 2000.
- [6] Image Computer System Laboratory, Department of Electrical Engineering, University of Washington, “Preliminary experiences with Telemedicine Multimedia and ATM”, 1996.
- [7] The International Engineering Consortium, “Asynchronous Transfer Mode Fundamentals”.
- [8] Anthony Alles, ATM product manager – Cisco systems, “ATM Internetworking”, Ιούνιος 1995.
- [9] Κωνσταντίνος Φρύδας, Αναλυτικό λεξικό ηλεκτρονικής & επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [10] Mohammad A.Rahman, “ATM Systems and Technology”, Artech House.
- [11] Ernest O. Tunmann, “Practical Multiservice LANs ATM and RF Broadband”, Artech House.
- [12] Lawrence Harte -Steve Prokup -Richard Levine, “Cellular and PCS”, McGraw-Hill Series on Telecommunications,
- [13] William Stallings, “ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay an ATM”, Prentice Hall International, Inc.
- [14] Raif O. Onvural, Rao Cherukuri, “Signaling in ATM Networks”, Artech House.
- [15] “Simulation Methods for Analysis of traffic processes in ATM networks”, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
- [16] “Modeling La Salle University’s network using OPNET Modeler”, Agustín Zaballos, Guiomar Corral, Tomas Fulgueira, Jaume Abella
- [17] “Protocols for WATM networks”, Jatinder pal Singh, Sachin Adlakha, Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi
- [18] “Performance Analysis of MAC protocols with the priority-based Scheduling policy for Broadband Wireless Communication Systems”, Kwang Oh Cho
- [19] “Traffic Management in Wireless ATM Network Using a Hierarchical Neural-Network Based Prediction Algorithm”, Tarron W. T. Poon, Edward Chan
- [20] “Architectures for wireless ATM”, Hekan Mitts
- [21] “Applications of Medical Wireless LAN Systems (MedLAN)”, Konstantinos A. Banitsas, R.S.H. Istepanian, Sapal Tachakra
- [22] “Performance of Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks”, Sarantis Paskalis¹, Dimitris Skyrianoglou¹, Dimitra Vali¹, Janne Lahti², Simo Veikkolainen³
- [23] “A Control and Management Network for Wireless ATM Systems”, Stephen F. Bush, Sunil Jagannath, Ricardo Sanchez, Joseph B. Evans, Victor S. Frost, Gary J. Minden and K. Sam Shanmugan

SITES

- [s 1] <http://www.medlab.cs.uoi.gr/epirunet.asp>
- [s 2] <http://www.stanford.edu/~monawong/ee359/>
- [s 3] <http://www.atmforum.com/>
- [s 4] <http://www.cisco.com/>
- [s 5] <http://www.ieee.com/portal/index.jsp>
- [s 6] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ftp/h_2atm.pdf
- [s 7] <http://computer.org/>
- [s 8] <http://www.stanford.edu/~jatinder/academic/projects/previous/WATM/publications/BTPreport.pdf>
- [s 9] <http://dasan.sejong.ac.kr/~mawoo/classes/200101/MobiComm/WATM.ppt>
- [s 10] http://comet.ctr.columbia.edu/demo98/slides/nec_demo.pdf
- [s 11] <http://www.research.ibm.com/journal/rd/472/chevillat.pdf>
- [s 12] <http://www.adslforum.com>
- [s 13] http://www.telecom.tuc.gr/paperdo/wenc99/DATA/WA_6.pdf
- [s 14] http://www.engineering.eng.rowan.edu/~kfchave/fall99/wireless_atm.pdf
- [s 15] <http://www.dslforum.org>
- [s 16] http://eetasia.com/ARTICLES/2001SEP/2001SEP17_NTES_AN1.pdf
- [s 17] <http://www.techtest.com/networking/atm.htm>
- [s 18] <http://www.adslquide.org.uk/howitworks/atm1.asp>
- [s 19] <http://www.opnet.com>
- [s 20] <http://www.iec.org>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**ΔΕΞΙΚΟ ΑΤΜ**

AAL	ATM Adaptation Layer. Μια συλλογή από καθορισμένα πρωτόκολλα που προσαρμόζουν την κυκλοφορία από και προς το 48 –οκτάδων ωφέλιμο φορτίο. Το AAL υποδιαιρείται σε Converge Sublayer (CS) και σε Segmentation και Reassembly (SAR) Sublayer. Υπάρχουν τέσσερις τύποι AAL: τα AAL-1, AAL-2, AAL-3/4 και AAL-5 που υποστηρίζουν μια μεγάλη ποικιλία από κυκλοφοριακά είδη.
AAL - 0	AAL Τύπος 0. Όνομα που έχει δοθεί σε κάθε ιδιοκτησιακό ATM τύπου AAL ή σε μία μηδενική AAL υλοποίηση.
AAL - 1	AAL Τύπος 1. ATM AAL πρωτόκολλο για την ενθυλάκωση του ωφέλιμου φορτίου ευαίσθητου στην καθυστέρηση με συνεχή ροή bit και σύνδεση προσανατολισμένη στη σύνδεση καθώς και βασισμένη στη TDM κίνηση δικτύου. Το AAL-1 δεν υποστηρίζει κανένα είδος πολυπλεξίας. Πληροφορίες χρονισμού ανταλλάσσονται μεταξύ της πηγής και του προορισμού.
AAL - 2	AAL Τύπος 2. AAL πρωτόκολλο για την ενθυλάκωση του ωφέλιμου φορτίου ευαίσθητου στην καθυστέρηση, συνεχούς ρυθμού μετάδοσης, καταγωγιστικής και προσανατολισμένης στη σύνδεση κίνησης (π.χ. ήχου, συμπιεσμένου ήχου). Το AAL-2 υποστηρίζει την πολυπλεξία πολλαπλών ακολουθιών κίνησης σε μία εικονική σύνδεση. Πληροφορίες συγχρονισμού ανταλλάσσονται μεταξύ της πηγής και του προορισμού.
AAL - 3/4	AAL Τύπος 3 και 4. Αρχικά υπήρχαν δύο ATM AAL πρότυπα πρωτόκολλα που στη συνέχεια ενώθηκαν. Υποστηρίζει μεταβλητό ρυθμό ροής δεδομένων.
AAL - 5	AAL Τύπος 5. ATM AAL πρωτόκολλο για την ενθυλάκωση ωφέλιμου φορτίου, ανθεκτικού στη καθυστέρηση, καταγωγιστικής φύσης, με κίνηση ροής προσανατολισμένη προς σύνδεση.

ABR	Available Bit Rate. Μία από τις κατηγορίες υπηρεσιών ATM που καθορίζονται από το ATM Forum. Η υπηρεσία ABR εγγυάται μετάδοση μιας ελάχιστης ροή δυαδικών ψηφίων και επιτρέπει μια μεγαλύτερη ροή, μέχρι και το PCR, αν υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα στο δίκτυο. Έχουν γίνει προσπάθειες για να κρατηθεί η απώλεια κελιών στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα. Παρέχει έναν μηχανισμό ελέγχου ροής για να εξασφαλίζεται ο ρυθμός κίνησης της πηγής, έτσι, ώστε να ταιριάζει με τους πόρους του δικτύου. Παράμετροι κίνησης είναι οι PCR και MCR.
ACR	Allowed (or available or actual) Cell Rate. Μια ATM ABR παράμετρος κίνησης, που μετράται σε κελιά ανά δευτερόλεπτο, που καθορίζει την μέγιστη τρέχουσα ροή κελιών που επιτρέπεται να μεταδώσει μία πηγή. Ελέγχεται δυναμικά από το δίκτυο και η τιμή του είναι ανάμεσα σε MCR και PCR.
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line.
ANSI	American National Standards Institute. Ένας οργανισμός προτύπων των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο ANSI συνεργάζεται με ομίλους και εταιρίες, κυβερνητικές και βιομηχανικές οργανώσεις για να αναπτύξει εθελοντικά πρότυπα σε πολλούς κλάδους συμπεριλαμβανομένων και των τηλεπικοινωνιών. Ο ANSI συμμετέχει στον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO) για να αναπτύξει διεθνή πρότυπα.
ATM	Asynchronous Transfer Mode. Ασύγχρονη μέθοδος μεταφοράς δεδομένων. Είναι προσανατολισμένη στη σύνδεση, έχει υψηλή αποδοτικότητα και υποστηρίζει B-ISDN υπηρεσίες με καθορισμένη ποιότητα υπηρεσιών.
ATM Layer	Γνωστό και ως Cell Layer. Είναι η δεύτερη στοιβάδα του ATM πρωτοκόλλου και είναι υπεύθυνη για την κατασκευή και επεξεργασία των ATM κελιών. Οι λειτουργίες της επίσης περιλαμβάνουν το (UCP) καθώς και υποστήριξη διαφορετικών τάξεων υπηρεσιών.
ATMF	ATM Forum.

Backbone Network	Αναφέρεται στο κεντρικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που προσφέρει διασυνδεσιμότητα μεταξύ κοινοτήτων χρηστών.
Bandwidth	Χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε την χωρητικότητα της μετάδοσης οποιουδήποτε τηλεπικοινωνιακού μέσου. Για τα αναλογικά κυκλώματα μετριέται σε Hz (ή σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο). Για τα ψηφιακά κυκλώματα μετριέται σε bps.
B-channel	Bearer Services Channel. Στοιχείο της φυσικής διεπαφής του ISDN που λειτουργεί στα 64 kbps. Χρησιμοποιείται για την υποστήριξη κίνησης όπως φωνή και εικόνα.
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Networks. Πρωτόκολλο που συστάθηκε από την ITU-T για να υποστηρίξει ολοκληρωμένες και υψηλές σε απόδοση, μεταδόσεις δεδομένων φωνής και εικόνας, με έναν διάφανο προς το χρήστη τρόπο.
bps	Bits Per Second. Ταχύτητα ή ρυθμός μετάδοσης που προσδιορίζει την ικανότητα μετάδοσης, ενός κυκλώματος, σύμφωνα με το αριθμό των δυαδικών ψηφίων ανά δευτερόλεπτο που μεταφέρει.
Bridge	Δικτυακή συσκευή που συνδέει δύο ομογενή δίκτυα εκπομπής (π.χ. LAN). Αποθηκεύει και προωθεί πακέτα χωρίς να τα τροποποιεί. Λειτουργεί στο Data Link Layer.
Broadband	<p>Αρχικά ο όρος προήλθε από τα συστήματα αναλογικής μετάδοσης και αναφερόταν στην χωρητικότητα ενός αναλογικού κυκλώματος, ως ένα μέτρο για την εμβέλεια των συχνοτήτων που μπορούσε να υποστηρίξει, γνωστό και σαν εύρος ζώνης (bandwidth).</p> <p>Το Broadband αναφερόταν σε κυκλώματα που ήταν ικανά να υποστηρίξουν αναλογικές συχνοτήτες μεγαλύτερες από 4 kHz φωνής, που συχνά αποκαλούνται “narrowband”. Όμως, καθώς η τεχνολογία βελτιώθηκε, αυτό το περιοριστικό όριο μεταξύ «Narrowband» και «Broadband» άρθηκε. Έτσι τώρα το Broadband υποδηλώνει ένα ψηφιακό κύκλωμα ή δίκτυο ικανό να παρέχει υψηλούς ρυθμούς Bits.</p>

BT	Burst Tolerance. Ανοχή στον Καταιγισμό. Είναι σημαντικό στοιχείο στις ATM συνδέσεις που υποστηρίζουν τις VBR υπηρεσίες.
CBR	Constant (or continuous) Bit Rate. Υπηρεσία ATM που υποστηρίζει ένα σταθερό ή καθορισμένο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων. Χρησιμοποιείται συνήθως για την μετάδοση ευαίσθητης στην καθυστέρηση πληροφορίας όπως η φωνή και η εικόνα.
CCITT	Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony. Η ονομασία του ITU-T πριν αλλάξει στις αρχές της δεκαετίας του 1990.
CDV	Cell Delay Variation. Παράμετρος ποιότητας υπηρεσιών του ATM που μετράει την από κορυφή σε κορυφή καθυστέρηση που υπόκεινται τα κελιά κατά μήκος του δικτύου.
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance. Χρησιμοποιείται στη κίνηση CBR. Φανερώνει την ανεκτικότητα του δικτύου σε φαινόμενα όπως το jitter (τρέμουλο).
CER	Cell Error Ratio. ATM παράμετρος που καθορίζει την ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας. Είναι η αναλογία λαμβανόμενων κελιών με λάθη προς τα συνολικά κελιά μετάδοσης.
CIP	Classical IP over ATM. Το σετ από διαδικασίες και πρωτόκολλα που καθορίστηκε από το IETF για την υποστήριξη της προσομοίωσης IP υποδικτύων πάνω σε ένα ATM Backbone. Χρησιμοποιώντας CIP διαδικασίες το τελικό σύστημα μπορεί να κάνει χειρισμούς, σαν να ήταν μέρος του ίδιου IP υποδικτύου ακόμα κι αν δεν είναι, και να υποστηρίζει κοινές εφαρμογές όπως οι ακόλουθες: FTP, SMTP, SNMP, Telnet.
Circuit	Ένα μονοπάτι επικοινωνίας ή δικτύου μεταξύ δύο συσκευών.

Circuit Emulation	Μια ATM VC υπηρεσία που προσφέρεται στους τελικούς χρήστες, με τα χαρακτηριστικά μιας πραγματικής γραμμής ψηφιακής γραμμής να προσομοιώνονται.
Codec	COder / DECoder. Συσκευή επικοινωνιών που μετατρέπει αναλογικά σήματα σε ψηφιακές ακολουθίες και αντίστροφα. Χρησιμοποιείται ευρέως για να αποδώσει την μετατροπή μεταξύ αναλογικών και ψηφιακών σημάτων.
Concentrator	Μια συσκευή τοπικού δικτύου όπου πολλαπλές ακολουθίες εισόδου εισάγονται σε μια ακολουθία εξόδου. Η διαφορά μεταξύ συγκεντρωτή και πολυπλέκτη είναι ότι στον πρώτο δεν υπάρχουν προκαθορισμένες θυρίδες κατά τις οποίες τα κυκλώματα εισόδου μπορούν να μεταδώσουν.
CPE	Customer Premises (provided) Equipment. Υπολογιστές ή τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός που βρίσκεται στο περιβάλλον του πελάτη.
DAB	Digital Audio Broadcasting
D-channel	Data Channel. Στοιχείο του ISDN. Είναι ένα κανάλι που χρησιμοποιείται για να μεταφέρουμε μηνύματα διαχείρισης δικτύου και ελέγχου πάνω στο ISDN. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για να μεταφερθούν δεδομένα του χρήστη. Υπάρχουν δύο πρότυπα BRI (στα 16kbps) και PRI (στα 64kbps).
Decoder	Αποκωδικοποιητής, συσκευή που μετατρέπει την ψηφιακή ακολουθία σε αναλογικό σήμα.
Demultiplexer	Συσκευή επικοινωνίας που πραγματοποιεί αποπολυπλεξία.
Demultiplexing	Μέθοδος κατά την οποία πολλές ακολουθίες που είναι ομαδοποιημένες σε μία συγκεκριμένη ακολουθία διαχωρίζονται σε αυτόνομες ακολουθίες.
DS-0	Digital Signal-Level 0.

DS-1	Digital Signal-Level 1. Ηλεκτρική διεπαφή για ψηφιακή μετάδοση στο ρυθμό των 1544 Mbps που περιλαμβάνει 24 και 64 kbps DS-0 κυκλώματα. Η φυσική διεπαφή στην αρχή που καθορίστηκε να μεταφέρει ένα DS-1 ηλεκτρικό σήμα είναι γνωστή ως T-1 και λειτουργεί πάνω σε ένα ζεύγος συνεστραμμένων καλωδίων χωρίς θωράκιση (UTP-Unshielded Twisted Pair). Το DS-1 έχει οριστεί να λειτουργεί πάνω σε μια μεγάλη ποικιλία μέσων, όπως τα μικροκύματα και οι οπτικές ίνες. Οι όροι DS-1 και T-1 (λανθασμένα) θεωρούνται ίδιας σημασίας.
DS-2	Digital Signal-Level 2. Ηλεκτρική διεπαφή για ψηφιακή μετάδοση με ρυθμό 6312 Mbps. Μπορεί αυτόματα να υποστηρίξει 96 DS-0 κυκλώματα.
DS-3	Digital Signal-Level 3. Ηλεκτρική διεπαφή για ψηφιακή μετάδοση με ρυθμό 44736 Mbps. Μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα 672 DS-0 κυκλώματα : στην αρχή καθορίστηκε για να λειτουργεί πάνω σε ομοαξονικό καλώδιο, αυτές τις μέρες χρησιμοποιείται συχνά σε μικροκύματα και σε οπτικές ίνες.
DSS1	Digital Subscriber Signaling 1.
DVB	Digital Video Broadcasting. Το DVB σχέδιο σχηματίστηκε τον Σεπτέμβριο του 1993. Έχει περισσότερα από 220 μέλη σε περισσότερες από 220 χώρες. Μέλη του αποτελούν για παράδειγμα κατασκευαστές και διαχειριστές δικτύων. Η αποστολή του είναι να δημιουργήσει μια κοινή αγορά για όλα τα παρεχόμενα μέσα.
E1	European Digital Signal-Level 1. Ευρωπαϊκό πρότυπο για ένα ψηφιακό κύκλωμα 2048 Mbps. Είναι παρόμοιο αλλά όχι συμβατό με το DS-1.
EBU	European Broadcast Union. Ευρωπαϊκή Ένωση Μετάδοσης.
Encoder	Κωδικοποιητής που μετατρέπει αναλογικά σήματα σε ψηφιακές ακολουθίες.

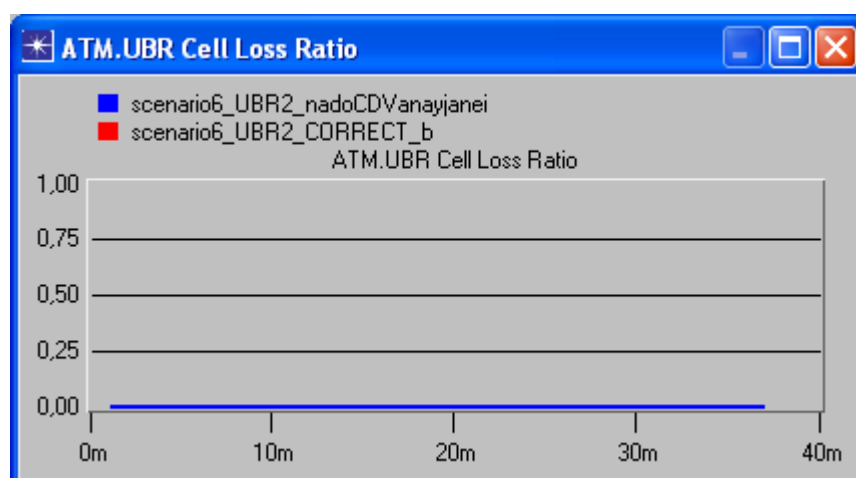
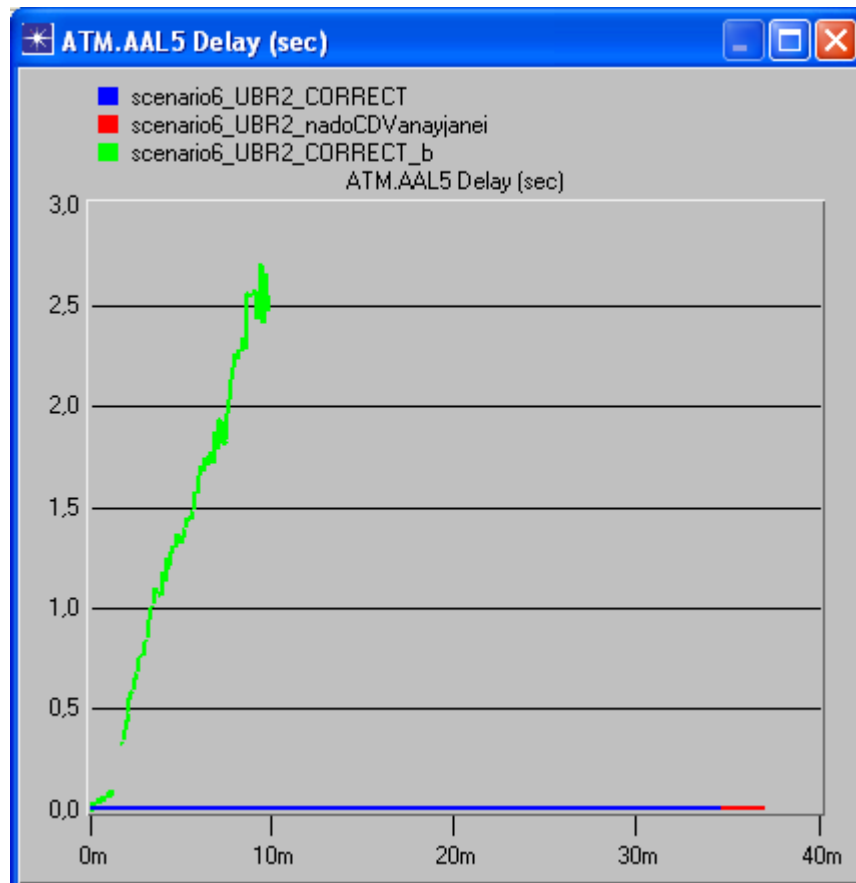
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Το αντίστοιχο του ANSI στην Ευρώπη.
FEC	Forward Error Correction.
FR	Frame Relay. Τεχνολογία προσανατολισμένη στη σύνδεση με τεχνολογία μεταγωγής πακέτου που παράγει αξιόπιστη και ικανοποιητική μεταφορά πακέτων πάνω σε εικονικά κυκλώματα. Υποστηρίζει ταχύτητες ως 1.544 Mbps (T-1) ή 2.048 Mbps (E-1) στην Ευρώπη. Η βασική μονάδα μετάδοσης που καλείται πλαίσιο μπορεί να είναι μέχρι 4.096 οκτάδες και να μεταφέρει τόσο πληροφορίες δρομολόγησης όπως και δεδομένων.
FRAD	Frame Relay Access Device. Μια συσκευή που παρέχει διασύνδεση μεταξύ ενός δικτύου που δουλεύει με Frame Relay και ένα χωρίς Frame Relay
GSM	Global System for Mobile Communication. Μια ψηφιακή υπηρεσία που βασίζεται σε μεταγωγή κυκλώματος και περιέχει τεχνικές πολυπλεξίας όπως TDM και FDM.
ISDN	Intergraded Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider. Ο παροχέας υπηρεσιών στο Διαδίκτυο.
Jitter	Είναι η ποικιλότητα μεταξύ των δειγμάτων φωνής, που προκαλεί παραμόρφωση στο σήμα φωνής. Για το ATM είναι οι διακυμάνσεις στους χρόνους άφιξης των κελιών που προκαλούνται από την μετάδοση και τις καθυστερήσεις στα κυκλώματα ή και στους δρομολογητές κατά μήκος του μονοπατιού μετάδοσης.

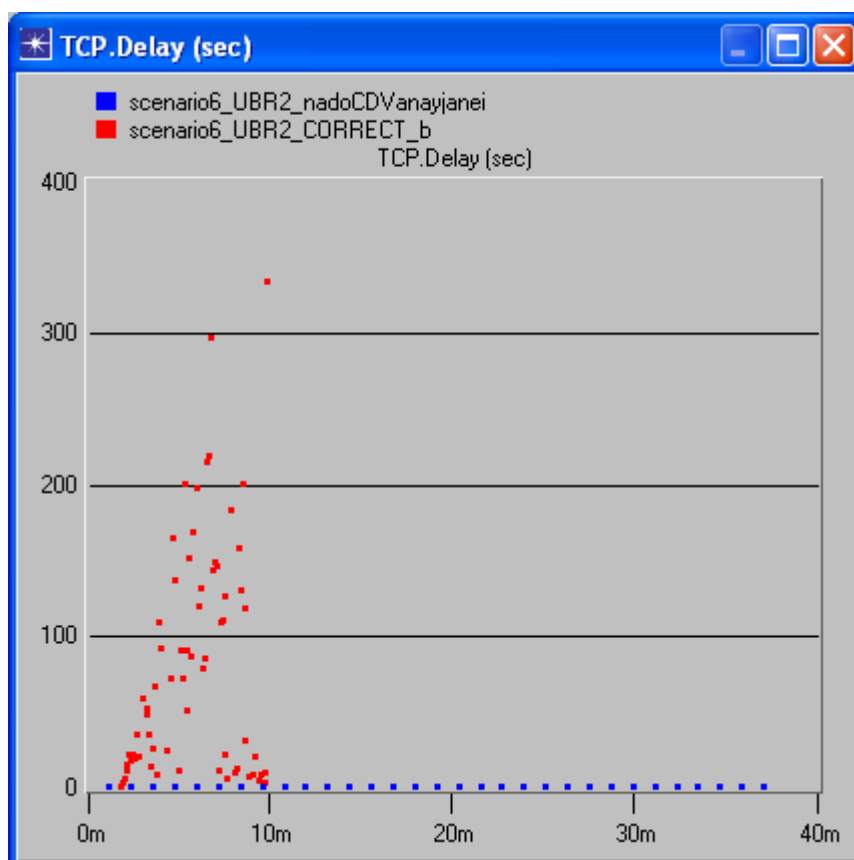
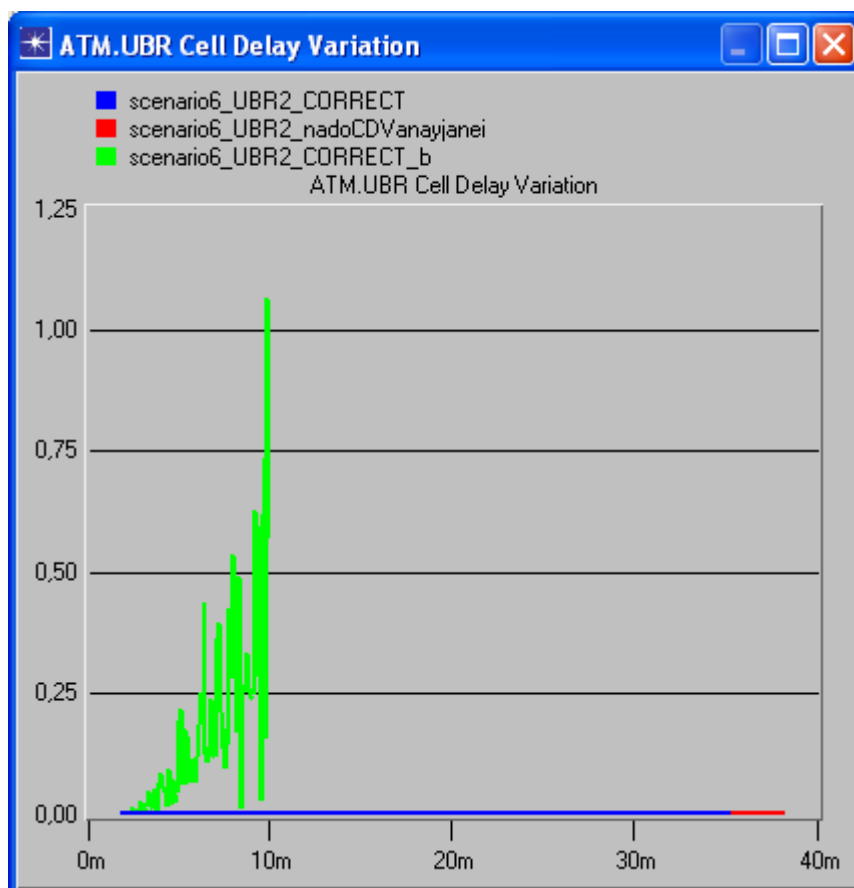
Multimedia	Ολοκληρωμένος τρόπος παρουσίασης στον χρήστη ενός συνδυασμού διαφορετικών ειδών πληροφορίας όπως φωνή και εικόνα μαζί με γραφικά.
Multiplexer	Συσκευή που εφαρμόζει πολυπλεξία.
Multiplexing	Μέθοδος κατά την οποία πολλαπλές ροές πληροφορίας συνδυάζονται από ένα πολυπλέκτη σε μια μοναδική ακολουθία.
PBX	Ιδιωτικός μεταγωγέας κυκλώματος που δημιουργεί συνδέσεις με τηλέφωνα τερματικά και φαξ και παρέχει πρόσβαση στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.
PCR	Peak Cell Rate. Ύψιστος Ρυθμός Μετάδοσης Κυττάρων. Είναι μια παράμετρος που υπάρχει στα ATM δίκτυα και χαρακτηρίζει τη μέγιστη ροή πληροφορίας. Η έκφραση $1/PCR$ μας δίνει το χρόνο μεταξύ δυο κελιών σε μια συγκεκριμένη εικονική σύνδεση.
PVC	Permanent Virtual Circuit. Μια μόνιμη εικονική σύνδεση. Μια από άκρη σε άκρη, εικονική σύνδεση καναλιού, πραγματοποιείται από την διαχείριση δικτύου.
QoS	Quality Of Service. Ένας όρος που αναφέρεται στον προσδιορισμό των παραμέτρων απόδοσης και δίνεται με απόλυτους αριθμούς.
Signaling	Μέθοδος ελέγχου μιας σύνδεσης με ανταλλαγές μηνυμάτων για την εγκαθίδρυση και τον καθορισμό της σύνδεσης.
SVC	Αφοσιωμένη εικονική σύνδεση που μεταφέρει την σηματοδοσία μεταξύ ενός συστήματος ATM και ενός συστήματος CAC.
VC	Virtual Circuit. Νοητό κύκλωμα που δημιουργείται με σκοπό να πραγματοποιήσει μια σύνδεση μεταξύ δυο σημείων επικοινωνίας.
VCI	Virtual Circuit Identifier. Αριθμός που καθορίζει το Νοητό κύκλωμα στο οποίο και ανήκει.

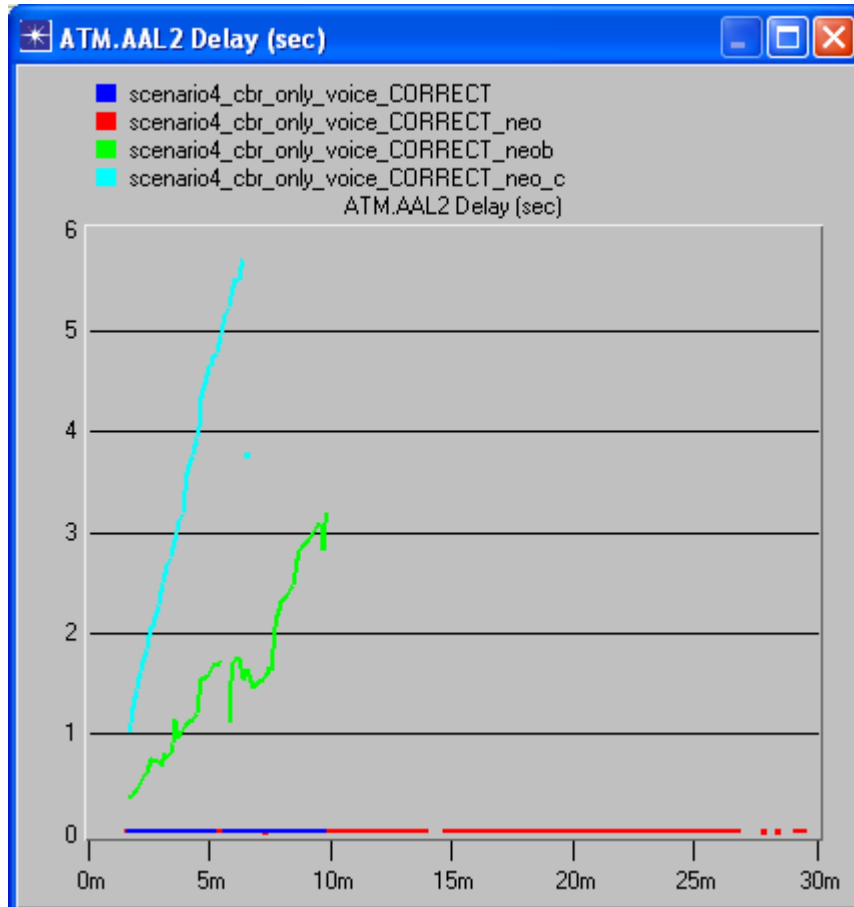
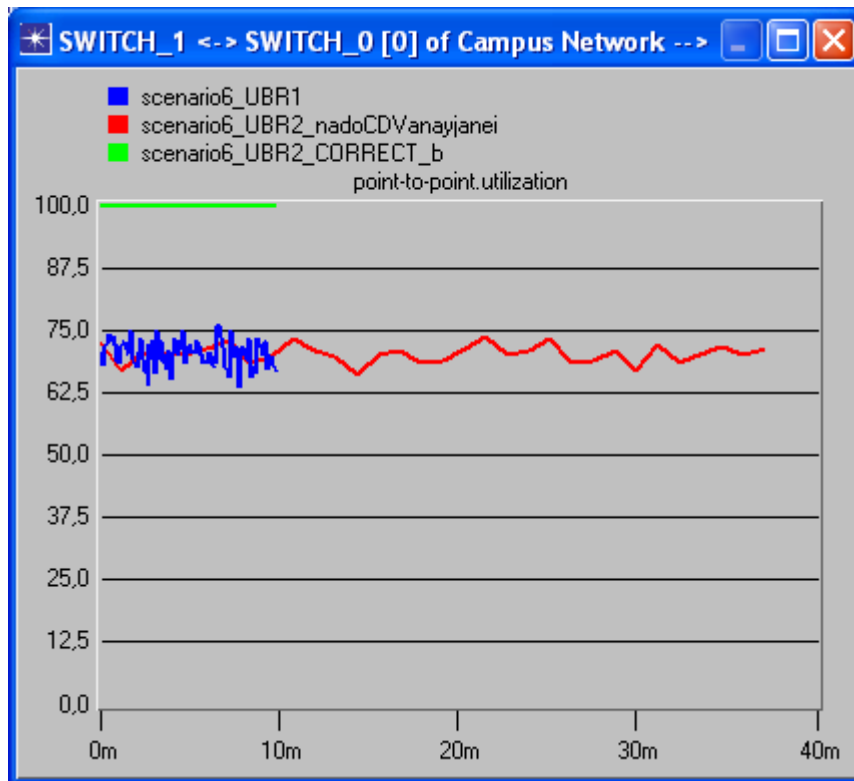
Videoconferencing	Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ δυο ή περισσότερων χρηστών.
VoIP	Voice over Internet Protocol.

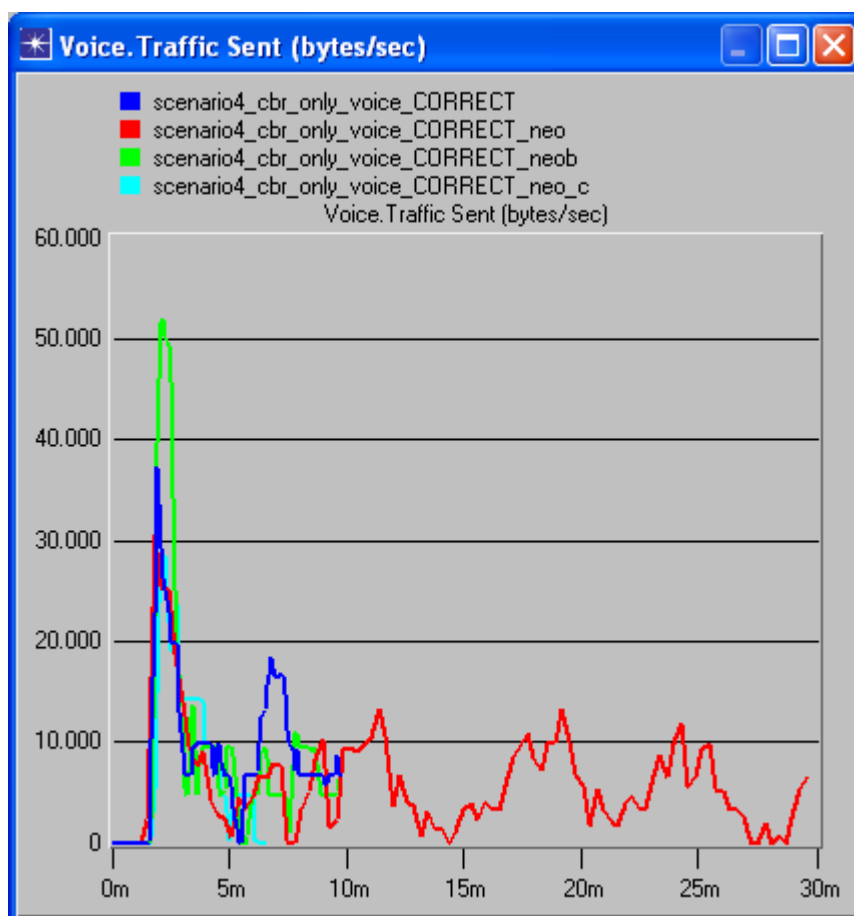
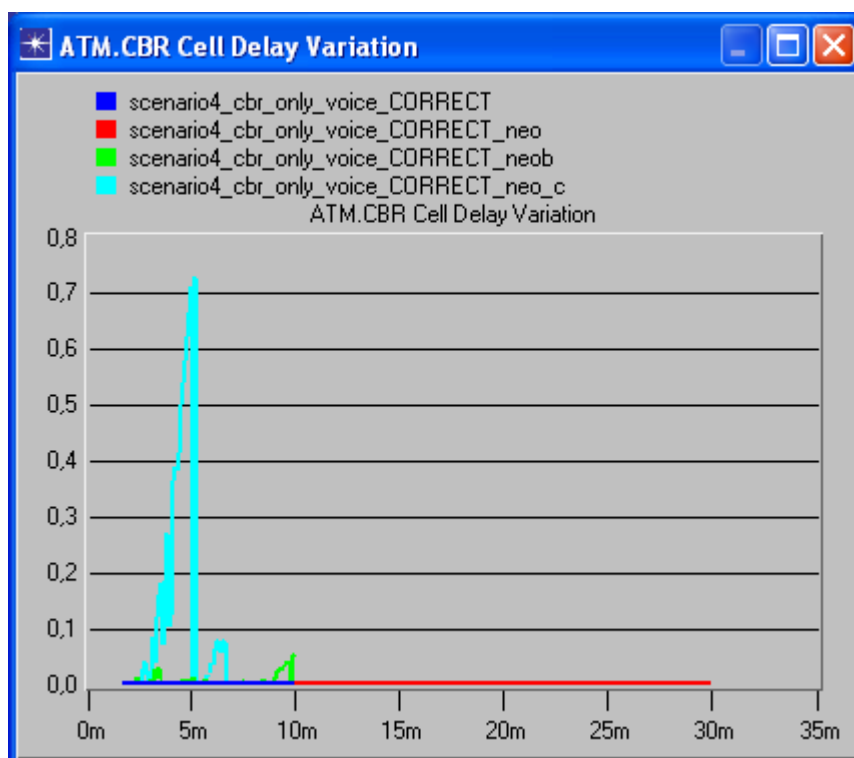
Παράρτημα 3

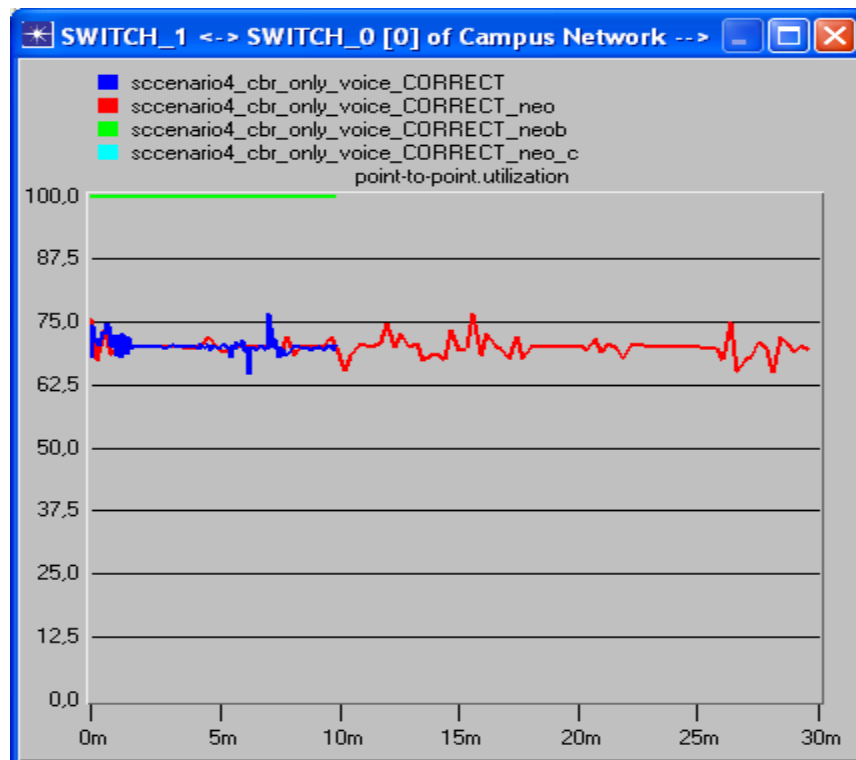
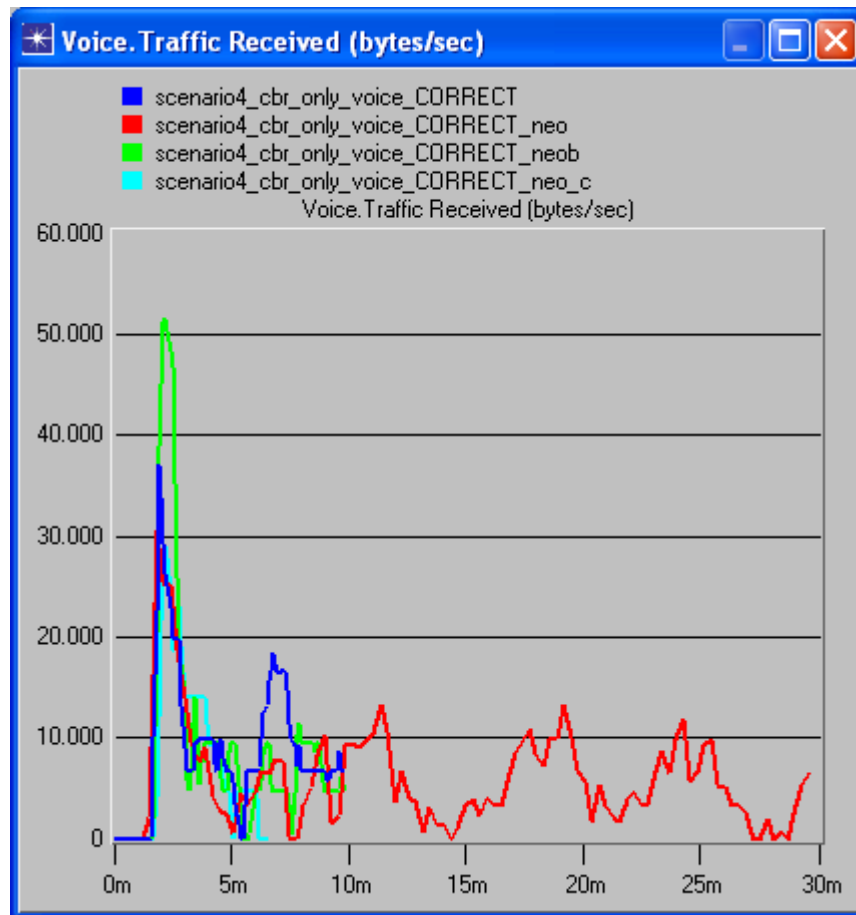
Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται το σύνολο των σεναρίων που πραγματοποιήθηκαν για να εξαχθούν συμπεράσματα για την λειτουργία των δικτύων. Οι γραφικές παραστάσεις συγκρίνονται ανά κατηγορία υπηρεσίας και φαίνονται επίσης τα δίκτυα στα οποία έχω τοποθετήσει cloud. Η σύγκριση γίνεται με βάση την καθυστέρηση στο AAL, το CDV, το Utilization, το CLR, την κίνηση που στέλνεται και την κίνηση που λαμβάνεται.

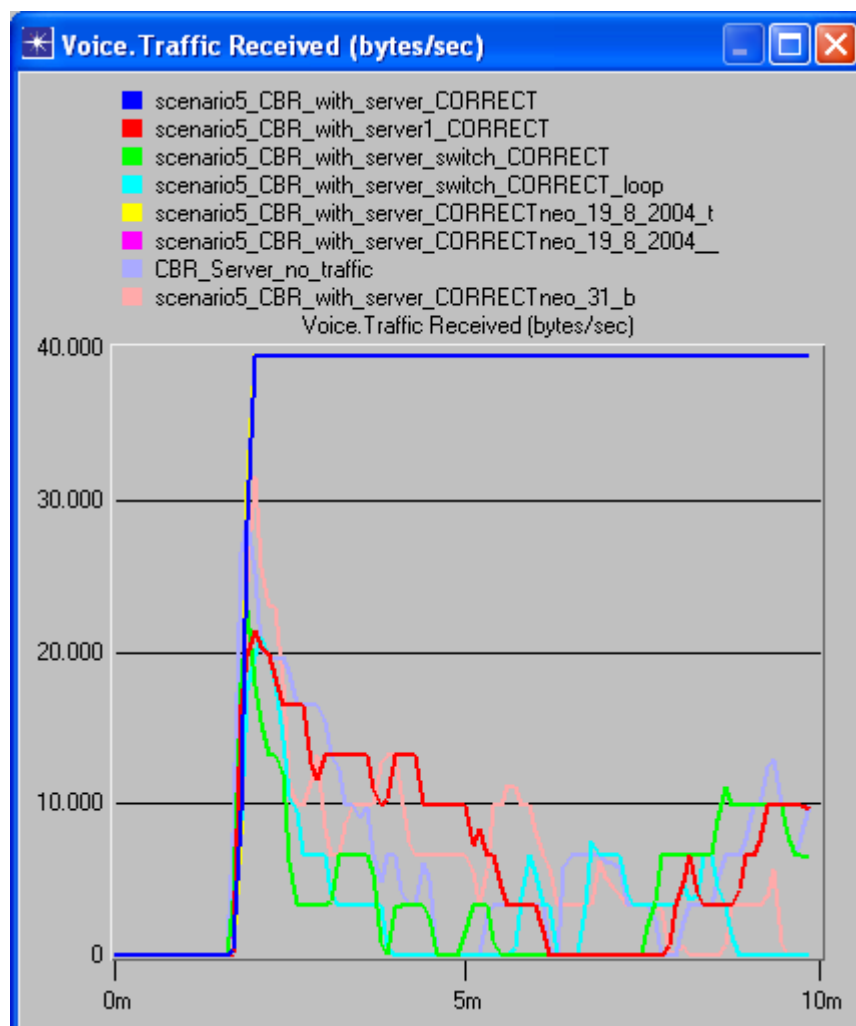
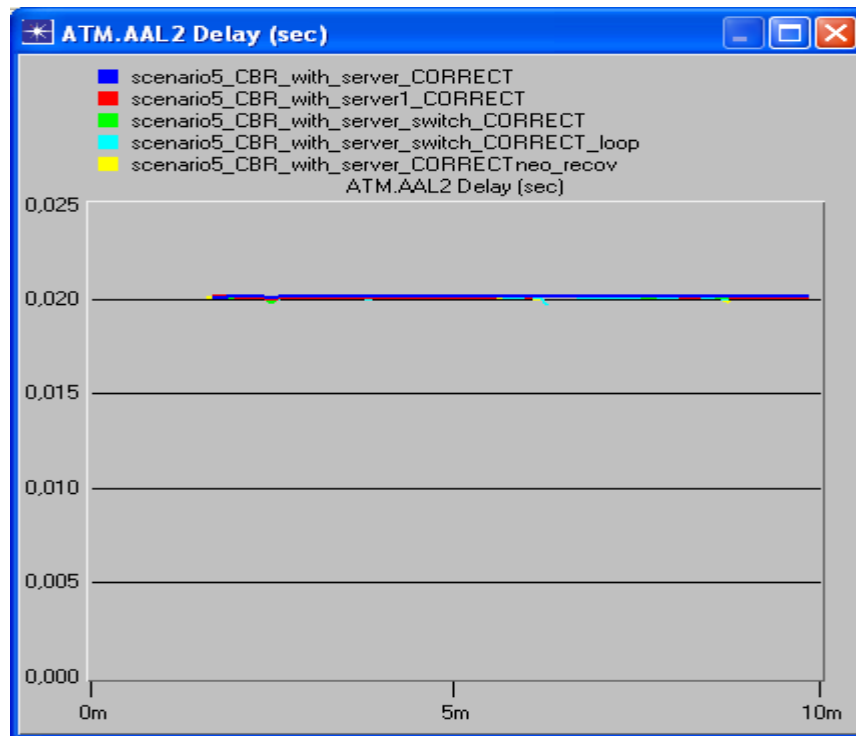


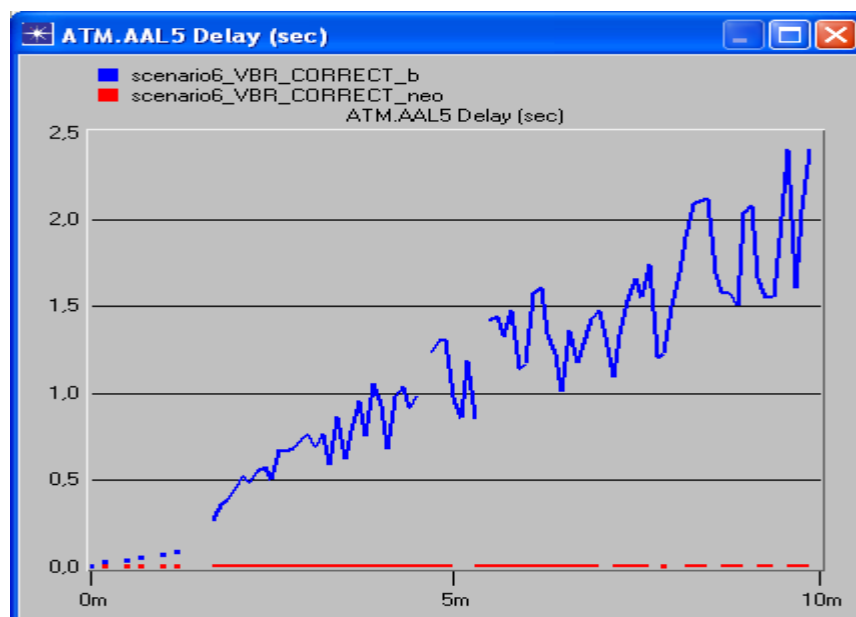
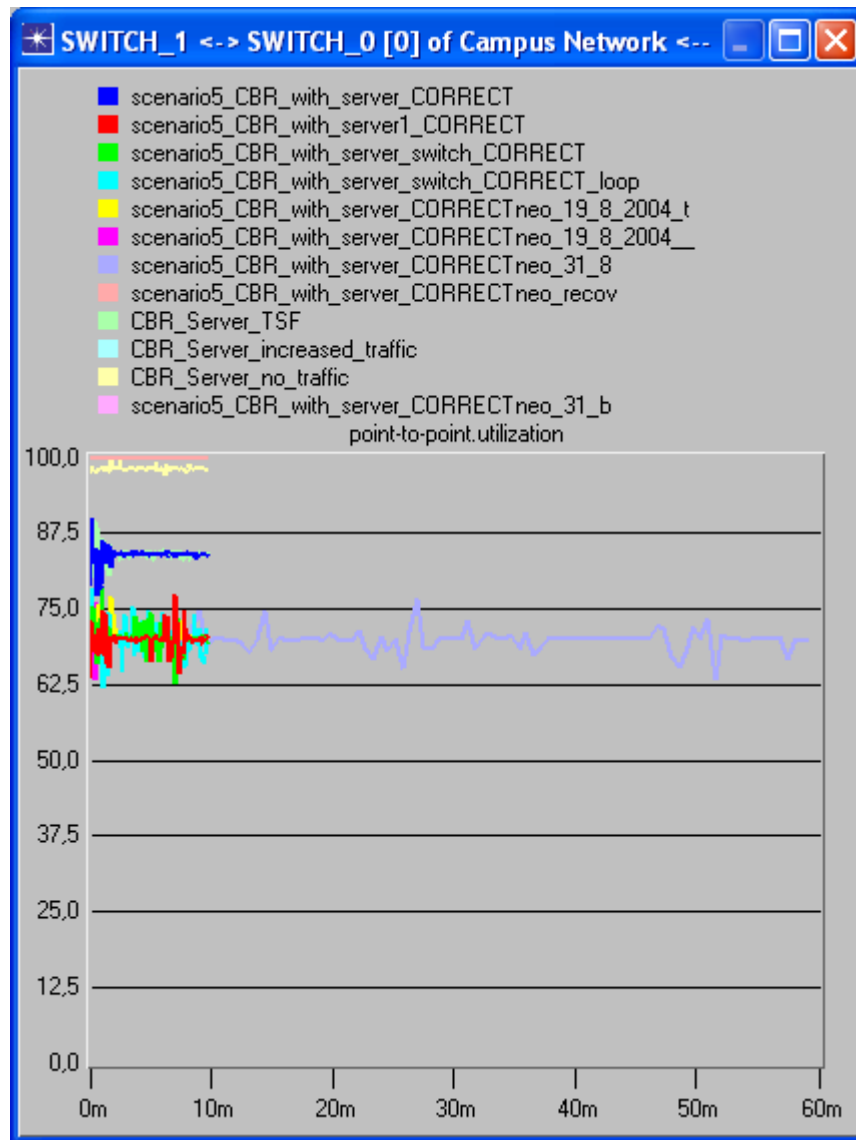


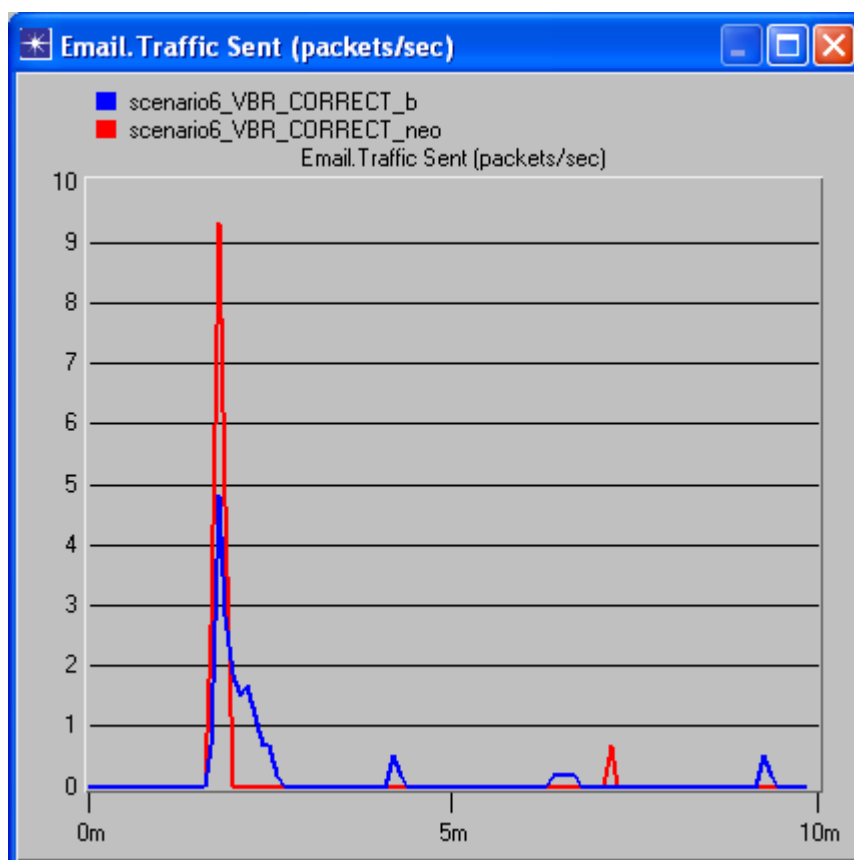
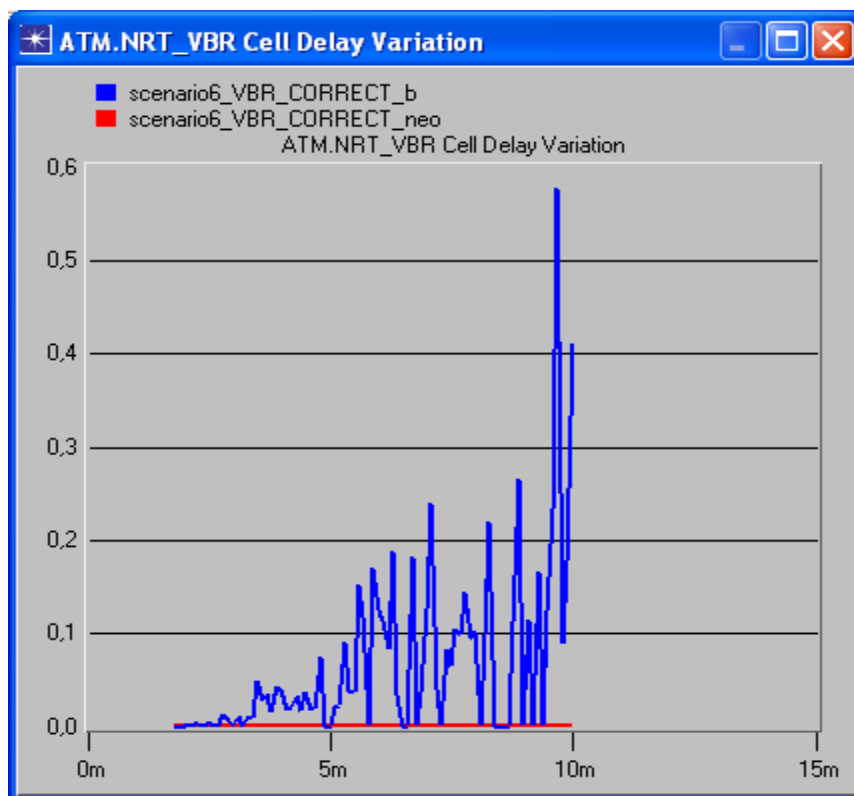


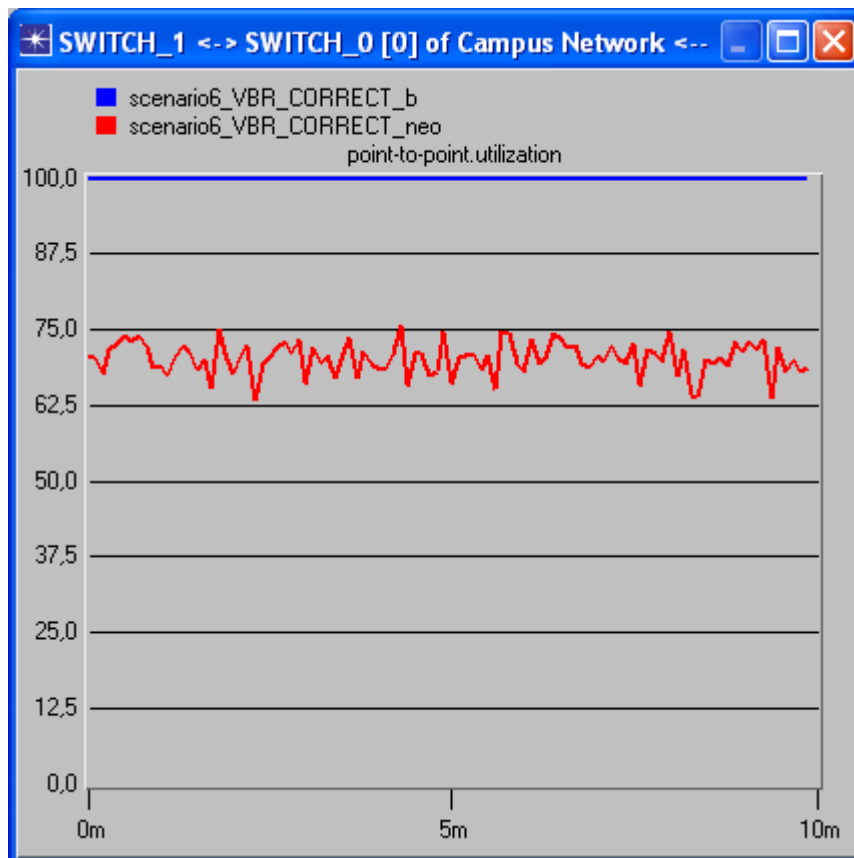
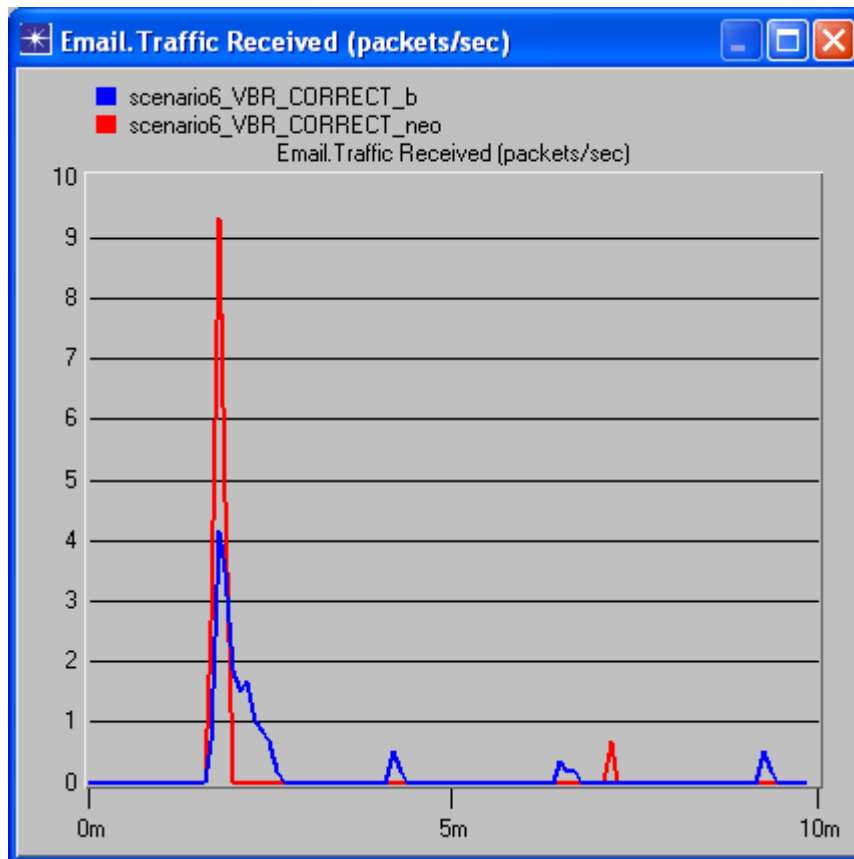


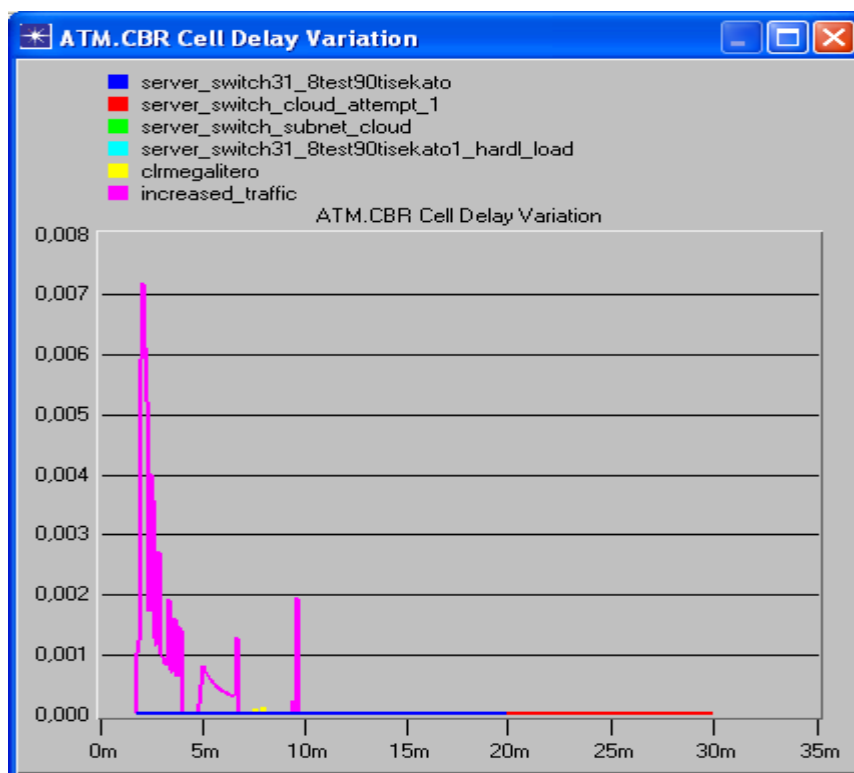
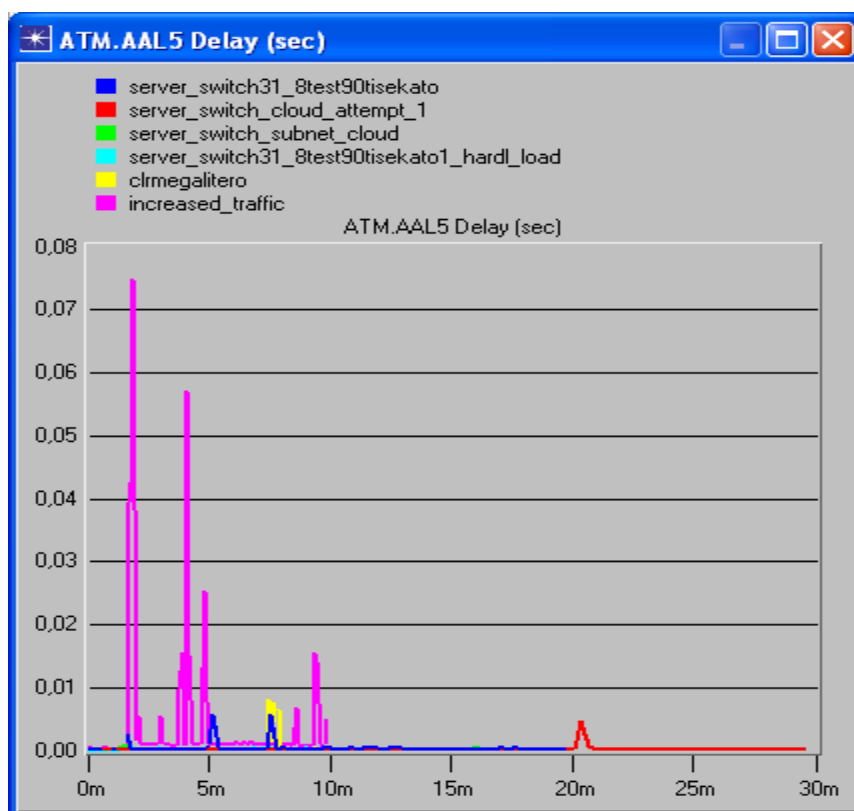


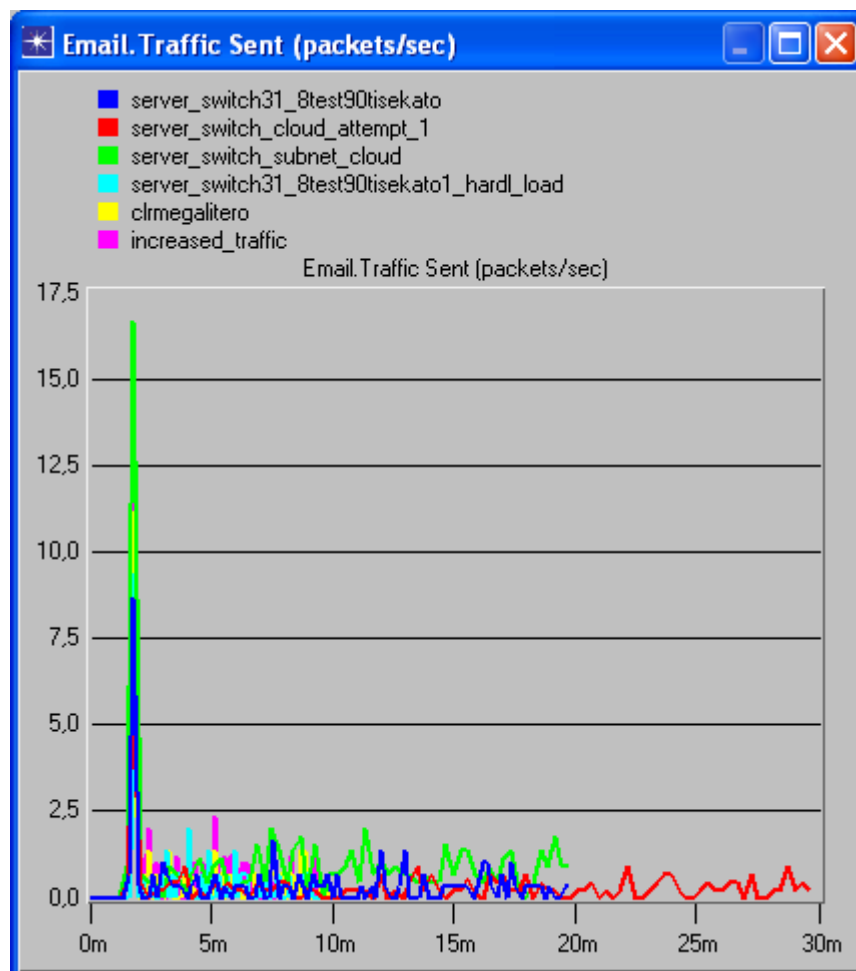
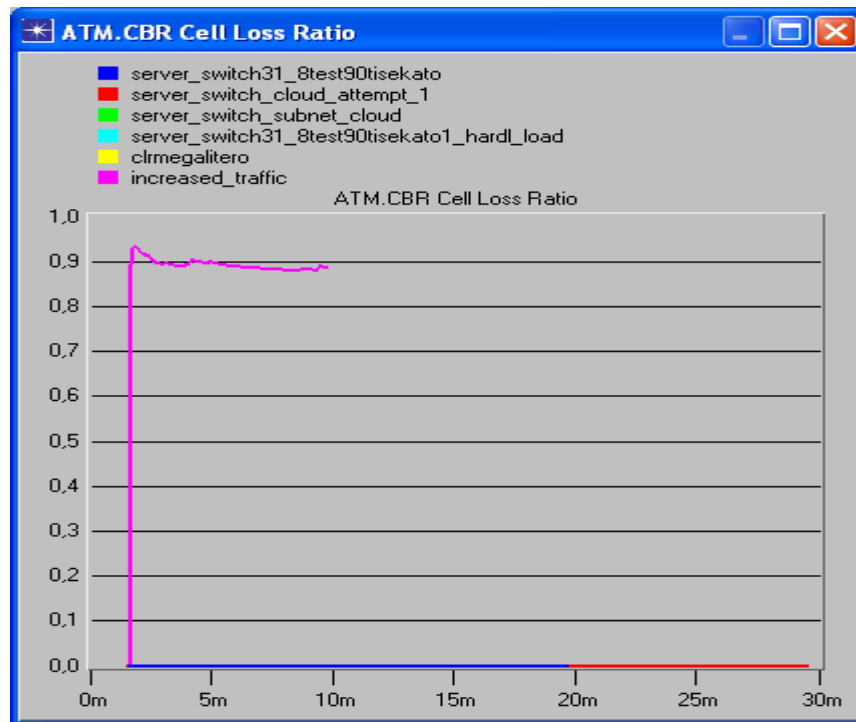


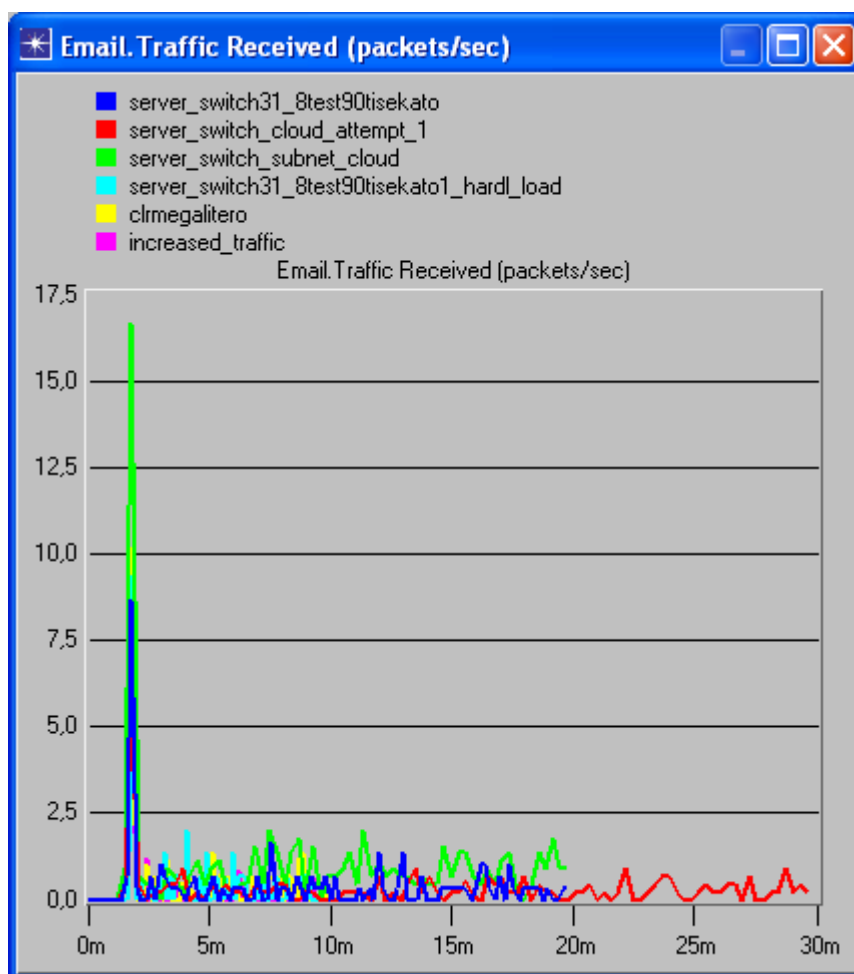












ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
Εισαγωγή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	3
2.1 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου.....	3
2.1.1 Επίπεδο Χρήστη (User Plane)	3
2.1.2 Επίπεδο Ελέγχου (Control Plane).....	3
2.1.3 Επίπεδο Διαχείρισης (Management Plane).....	4
2.2 Το ATM Κελί	6
2.3 Το ATM Στρώμα	8
2.3.1 Νοητό Κανάλι.....	8
2.3.2 Νοητό Μονοπάτι.....	9
2.4 AAL (ATM Adaptation Layer)	9
2.4.1 AAL Τύπος 1	9
2.4.2 AAL Τύπος 2	10
2.4.3 AAL Τύπος ¾	10
2.4.4 AAL Τύπος 5	11
2.5 Κατηγορίες Υπηρεσιών ATM	12
2.6 Προσομοίωση τοπικού δικτύου από την ATM τεχνολογία.....	15
2.7 Εφαρμογές του ATM.....	16
2.7.1 Synchronous Digital Hierarchy (SDH) -Synchronous Optical Network (SONET)	16
2.7.2 Φωνή στο ATM -Voice over ATM	18
2.7.3 Video στο ATM.....	19
2.8 Έλεγχος Κίνησης & Συμφόρησης στο.....	21
2.9 ATM Διαχείριση Δικτύου.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
3.1 Σύγκριση Τεχνολογιών με το ATM.....	23
3.1.1 Direct Cabling (Απευθείας Καλωδίωση) σε σχέση με το ATM.....	23
3.1.2 Μισθωμένες γραμμές σε σχέση με το ATM.....	23
3.1.3 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων X.25 σε σχέση με το ATM.....	23
3.1.4 Τεχνολογία μεταγωγής πακέτων Frame Relay σε σχέση με το ATM.....	24
3.1.5 FDDI (Fiber Distributed Data Interface) σε σχέση με το ATM.....	24
3.1.6 PSTN (Public Switched Telephone Network) σε σχέση με το ATM.....	24
3.1.7 ISDN (Integrated Services Digital Network) σε σχέση με το ATM	25
3.1.8 DSL (Digital Subscriber Line) σε σχέση με το ATM	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	27
4.1 Εισαγωγή στο Ασύρματο ATM.....	27
4.2 Πρότυπα Ασύρματης Τοπικής Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης	28
4.3 Ασύρματο ATM Κελί.....	29
4.4 Ασύρματο ATM Πρωτόκολλο.....	29
4.4.1 Περιγραφή Φυσικού Επιπέδου	33
4.4.2 MAC Πρωτόκολλα για Wireless ATM	36
4.4.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά HIPERLAN/2.....	44
4.4.3 DLC (Data Link Control) για το Ασύρματο ATM.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	48
5.1 Εισαγωγή στην Προσομοίωση με το OPNET	48
5.1.1 OPNET 9.1	48
5.1.2 Εκμάθηση του OPNET.....	48

5.1.3 Αντικείμενο Προσομοίωσης.....	49
5.1.4 Σχεδίαση με το OPNET	49
5.1.5 Επιλογή εργαλείων	50
5.2 Μελέτη Ενσύρματου ATM Δικτύου	51
5.2.1 (1 ^ο)Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου για την CBR Υπηρεσία	51
5.2.1.1 Συλλογή Στατιστικών Στοιχείων	61
5.2.2 (2 ^ο) Πείραμα Υλοποίηση δικτύου - CBR υπηρεσία με Server.	61
5.2.3 (3 ^ο) Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου - VBR υπηρεσία.....	64
5.2.4 (4 ^ο) Πείραμα Υλοποίηση Δικτύου - UBR υπηρεσία	65
5.2.5 (5 ^ο) Πείραμα - Υλοποίηση Δικτύου CBR με 90% Background Traffic.....	67
5.2.6(6 ^ο) Πείραμα - Υλοποίηση Δικτύου VBR με Αυξημένη Background Traffic	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	69
6.1 Πειραματικά Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	69
6.1.1 CBR - only Voice	69
6.1.2 CBR – with server	73
6.1.3 Nrt-VBR	77
6.1.4 Nrt-VBR	77
6.1.5 UBR -TCP πρωτόκολλο	79
6.1.6 CBR με δύο Switches και Server.....	83
6.1.7 VBR με 43% Αύξηση της Background Κίνησης	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	89
7.1 Μελέτη Ασύρματου Δικτύου.....	89
7.1.1 Υλοποίηση Ασύρματου Δικτύου.....	89
7.2 Πειραματικά Αποτελέσματα Ασύρματου Δικτύου.....	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	97
8.1.1 Συμπεράσματα από την χρήση του OPNET 9.1 Academic Edition.....	97
8.1.2 Συμπεράσματα Πειραμάτων	98
Επίλογος	100
Βιβλιογραφία	102
Ιστοσελίδες	103
Παράρτημα 1	104
Παράρτημα 3	113