



University Of Macedonia

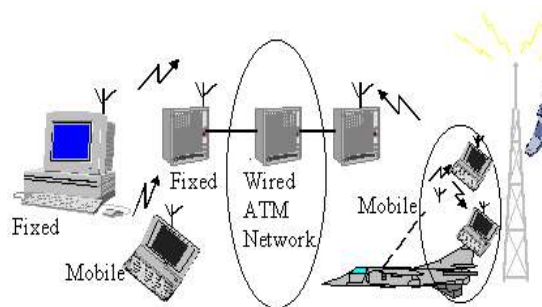
Master in Information Systems

Networking Technologies

WIRELESS ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE (WATM) NETWORKS

Author: AGGELI MARIA

A.M. 21/05



Professors: A.A. Economides & A. Pomportsis

Thessaloniki, Feb 2006



ΔΠΜΣ ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (WATM)

Υπεύθυνη: Αγγέλη Μαρία

A.M. 21/05



**Επιβλέποντες Καθηγητές:
Α.Α. Οικονομίδης & Α. Πομπόρτσας**

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Master in Information Systems.....	1
Author: AGGELI MARIA.....	1
A.M. 21/05.....	1
Υπεύθυνη: Αγγέλη Μαρία.....	2
A.M. 21/05.....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
TABLE OF CONTENTS.....	2
.....	2
SUBJECT PRESENTATION	2
..... 3.....	2
SUMMARY.....	2
..... 4.....	2
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ.....	4
SUBJECT PRESENTATION.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
SUMMARY.....	6
1. Εισαγωγή.....	7
2. Ασύρματες Τεχνολογίες Μετάδοσης.....	8
2.1 Spread Spectrum (CDMA).....	9
2.2 Time Division Multiple Access (TDMA).....	9
3. Εισαγωγικά για τον Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς (ATM).....	9
3.1. Το μοντέλο Αναφοράς Πρωτοκόλλων για το ATM.....	13
4.Γιατί τα WATM;.....	15
5. Υποστήριξη υπηρεσιών χωρίς σύνδεση από δίκτυα ATM.....	16
5.1 Η έμμεση προσέγγιση.....	17
5.2 Η άμεση προσέγγιση.....	18
5.2.1. Φιλοσοφίες για την υλοποίηση του μηχανισμού της άμεσης προσέγγισης.....	20
6. Αρχιτεκτονική Wireless ATM (WATM) Πρωτοκόλλου.....	21
6.1. Radio Access Layer.....	22
6.2. Mobile ATM Management Layer	23
7. Αρχιτεκτονική των WATM networks.....	25
8. Το ασύρματο πρότυπο SWAN.....	27
9. Προτυποποίηση.....	28
10. Επισκόπηση	29
11. Συμπεράσματα.....	29
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΣΥΝΕΔΡΙΑ.....	32
ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ WEB.....	33

TABLE OF CONTENTS

TABLE OF CONTENTS.....	1
SUBJECT PRESENTATION	3
SUMMARY.....	4
1. INTRODUCTION.....	6
2. WIRELESS ACCESS TECHNOLOGIES.....	7
2.1 Spread Spectrum (CDMA).....	8
2.2 Time Division Multiple Access (TDMA).....	8
3. INTRODUCTION TO THE ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE(ATM).....	9
3.1 The protocol reference model for the ATM.....	12
4. WHY WATM;.....	14
5. SUPPORT OF WIRELESS SERVICES FROM ATM NETWORKS.....	15
5.1 Indirect Approach.....	15
5.2 Direct Approach.....	17
5.2.1. Philosophies for the implementation of the Direct Approach.....	17
6. WATM PROTOCOL ARCHITECTURE.....	18
6.1 Radio Access Layer.....	19
6.2 Mobile ATM Management Layer.....	21
7. WATM NETWORKS ARCHITECTURE	22
8. THE WIRELESS PROTOTYPE SWAN.....	24
9. STANDARDIZATION.....	25
10. REVIEW.....	26
11. CONCLUSIONS.....	27

BIBLIOGRAPHY – CONFERENCES.....	
30	
WEB REFERENCES.....	30

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

Παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές αρχές της τεχνολογίας Ασύρματου Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς (**WATM – Wireless Asynchronous Transfer Mode**) ο οποίος βασίζεται στον ενσύρματο τρόπο μεταφοράς (ATM). Λόγω της επιτυχίας των ATM ενσύρματων δικτύων, τα WATM είναι ένα αποτέλεσμα της συχνής παρουσίας των ATM. Τα WATM μπορούν να θεωρηθούν σαν μία λύση για τα προσωπικά δίκτυα της επόμενης γενιάς, ή μία ασύρματη προέκταση των B-ISDN δικτύων τα οποία υποστηρίζουν μία ευρεία μετάδοση δεδομένων (δεδομένα, φωνή, video) με Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Ο Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς είναι μία τεχνολογία μεταγωγής και πολυπλεξίας σε επίπεδο κυψελίδων (cells). Ο κύριος σκοπός του Ασύρματου ATM είναι να προσφέρει ελευθερία στην κινητικότητα και στη φορητότητα με την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων και με την εγγύηση της Ποιότητας Υπηρεσιών στον τελικό χρήστη.

SUBJECT PRESENTATION

The basic principles of **Wireless Asynchronous Transfer Mode (WATM)**, which is based on the Asynchronous Transfer Mode (ATM) technology, are presented and analyzed. Due to the success of ATM on wired networks, wireless ATM (WATM) is a direct result of the ATM "everywhere" movement. WATM can be viewed as a solution for next-generation personal communication networks, or a wireless extension of the B-ISDN networks, which will support integrated data transmission (data, voice, video) with guaranteed QoS. The Asynchronous Transfer Mode is a technology of switch and multiplexing on a level of cells. The main aim of Wireless ATM is to offer the freedom of mobility and portability together with the support of advanced multimedia services with Quality of Service (QoS) guarantee to the final user.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη όσον αφορά τα ασύρματα δίκτυα και το ATM (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς) είναι στα πρώτα της βήματα. Έρευνες πραγματοποιούνται για την ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου, το οποίο θα τρέχει σε ασύρματο μέσο χωρίς μεγάλη καθυστέρηση και λάθη. Τα Ασύρματα ATM δίκτυα θα παίξουν έναν σημαντικό ρόλο στις ευρυζωνικές επικοινωνίες στο μέλλον [2].

Το κύριο χαρακτηριστικό του Ασύρματου ATM είναι η απουσία δομημένης καλωδίωσης με αποτέλεσμα να προσφέρει ελευθερία στην κινητικότητα και στη φορητότητα με την υποστήριξη υπηρεσιών πολυμέσων και με την εγγύηση της Ποιότητας Υπηρεσιών στον τελικό χρήστη.

Το πρώτο μέρος αυτής της έρευνας είναι μία εισαγωγή όσον αφορά την ανάπτυξη των ATM και WATM, τα εμπόδια και τις προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν και γενικότερα την σημασία τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αυτής της έρευνας, αναφερόμαστε στις ασύρματες τεχνολογίες μετάδοσης και συγκεκριμένα στην κωδικοπολυπλεξία πολλαπλής πρόσβασης ευρέως φάσματος (W-CDMA) καθώς και στην Πολυπλεξία Χρόνου Πολλαπλής Πρόσβασης (TDMA) η οποία βασίζεται στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM).

Το τρίτο κεφάλαιο αυτής της έρευνας είναι μία εισαγωγή στο σημαντικό θέμα των Ασύρματων ATM δικτύων, στο μοντέλο αναφοράς πρωτοκόλλων για το ATM καθώς και στην δομή της ATM κυψελίδας.

Το τέταρτο μέρος αναφέρει την εξέλιξη προς τα WATM και αποτελεί ένα εισαγωγικό σημείο για την μετέπειτα αναφορά στα WATM.

Το πέμπτο μέρος αναφέρει τις ασύρματες υπηρεσίες οι οποίες στηρίζονται στα ATM δίκτυα. Αναφέρονται δύο προσεγγίσεις, η άμεση και η έμμεση καθώς και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά τους.

Στο έκτο μέρος, παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική του WATM πρωτοκόλλου. Ιδιαίτερα, παρουσιάζονται τα μοντέλα αναφοράς του Ασύρματου ATM και εξετάζονται τα επίπεδά του ενώ στο έβδομο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική των WATM δικτύων και εξετάζεται η ανάπτυξη της WATM τεχνολογίας γενικότερα.

Στο όγδοο μέρος αναφέρεται το ασύρματο πρότυπο SWAN και η αρχιτεκτονική του ενώ στο ένατο ακολουθεί μία αναφορά για τα Ασύρματα ATM πρότυπα και την προτυποποίηση.

Τέλος, το δέκατο μέρος αποτελεί την επισκόπηση της έρευνας ενώ στο ενδέκατο αναφέρονται τα συμπεράσματα βασισμένα σε βιβλιογραφία.

Στο τέλος των ενοτήτων υπάρχει παραπομπή στην ανάλογη βιβλιογραφία και στις πηγές από το Internet, που μας βοήθησαν στην ανάπτυξη της παρόντος θέματος και βοηθούν τους χρήστες στην αναλυτικότερη και διεξοδικότερη έρευνα γύρω από την ανάπτυξη των WATM δικτύων.

SUMMARY

The development of Wireless networks and ATM (Asynchronous Transfer Mode) is in its infancy. Research has been going on to develop a protocol that will run on wireless medium without much delay and errors. ATM wireless networks will play an important role in the broadband communications networks of the future [2].

The main aim of Wireless ATM is to offer the freedom of mobility and portability together with the support of advanced multimedia services with Quality of Service (QoS) guarantee to the final user.

The first chapter of this research is an introduction relevant to the revolution of the ATM and WATM technologies, the difficulties and challenges that they have to encounter and generally their importance.

In the second chapter of this research, we discuss the wireless access technologies and more specifically, to the wideband code division multiple access (W-CDMA) and to the time-division multiple access (TDMA) which is based upon Frequency Division Multiplexing (FDM).

The third part of this research is an introduction to the important issue of Wireless ATM networks, to the protocol ATM reference model and to the structure of the ATM cell.

The fourth part deals with the evolution towards the Wireless ATM networks and constitutes an introductory point for the issue to come over the WATM.

The fifth part mentions the wireless services, which they are based on the ATM networks. There are two approaches, the direct and the indirect approach. Also we refer to their advantages and disadvantages.

The sixth part deals with an analytical reference to the WATM protocol architecture. Especially, we refer to the referential models of the Wireless ATM and we examine its layers while in the seventh part is presented the WATM network architecture generally.

To the eighth part we represent the wireless prototype SWAN and its architecture while in the ninth part follows a reference for the Wireless ATM standards and the standardization.

Finally, the tenth part constitutes of our research review while the eleventh part we represent the conclusions based to the bibliography.

In the end of the units exists reference in the proportional bibliography and in the sources from the Internet, that helped us in the growth of this presentation and help the users in the more analytic and more extensive research round the WATM networks.

1. Εισαγωγή

Το πεδίο των ασύρματων δικτύων έχει γνωρίσει τεράστια ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και έχει εξελιχθεί σε ένα από τα πιο γρήγορα αναπτυσσόμενα τμήματα του κλάδου των τηλεπικοινωνιών. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων είναι η μη χρήση μεγάλου όγκου δομημένης καλωδίωσης που οδηγεί στο εξής: επικοινωνία οπουδήποτε, οποτεδήποτε, με οποιονδήποτε. Τα Ασύρματα ATM (Wireless ATM-WATM) είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα της έρευνας και της ανάπτυξης στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών. Είναι το αποτέλεσμα των προσπαθειών του συνδυασμού των ασύρματων επικοινωνιών και της ATM τεχνολογίας [6].

Το ATM θεωρείται η βάση της μεταγωγής και της μεταφοράς για το μελλοντικό Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN), εξαιτίας της ικανότητάς του να υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών με εγγύηση Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service-QoS) [7]. Από την άλλη πλευρά, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (wireless LANs) γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή στις επικοινωνίες δεδομένων εξαιτίας της ευκαμψίας τους και των αυξανόμενων ταχυτήτων μετάδοσης. Επιπλέον, οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο επίπεδο, όπου οι προσφερόμενες υπηρεσίες περιλαμβάνουν πολυμεσικές εφαρμογές. Ο συνδυασμός των ασύρματων επικοινωνιών και του ATM, ιδιαίτερα σε τοπικά περιβάλλοντα, μπορεί να παρέχει την ελευθερία της κινητικότητας (mobility) και των προτύπων υπηρεσιών του ATM με την εγγύηση QoS. Όμως, προκειμένου να επιτευχθεί η

αποτελεσματική ανάπτυξη των WATM, πολλά εμπόδια πρέπει να ξεπεραστούν, τα οποία προκαλούνται κυρίως από την φύση των WATM. Τα δύο πιο κύρια εμπόδια είναι:

- το θορυβώδες περιβάλλον
- οι περιορισμοί του εύρους ζώνης (bandwidth), εξαιτίας της έλλειψης του ραδιο-φάσματος.

Η κύρια πρόκληση των WATM είναι η εναρμόνιση της ανάπτυξης των ευρυζωνικών ασύρματων συστημάτων με B-ISDN και των ATM LANs και η προσφορά παρόμοιων πολλαπλών υπηρεσιών χαρακτηριστικών στον κινητό χρήστη για την υποστήριξη φωνής, video και πολυμεσικών εφαρμογών. Ένα σημαντικό θέμα του σχεδιασμού των WATM, το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην βελτίωση του QoS, είναι ο σχεδιασμός ενός Medium Access Control(MAC) protocol για την ραδιο-διασύνδεση (radio interface). Αυτό το πρωτόκολλο θα παρέχει ένα αποτελεσματικό σχήμα, το οποίο θα υποστηρίζει όλες τις υπηρεσίες του ATM και θα εγγυάται το απαιτούμενο QoS για καθεμία σύνδεση [1].

2. Ασύρματες Τεχνολογίες Μετάδοσης

Τα ασύρματα συστήματα αναπτύσσονται και η βιομηχανία είναι ακόμη στα πρώτα της βήματα. Υπό τις παρούσες συνθήκες, οι ασύρματες τεχνολογίες τοπικών δικτύων (LAN) περιλαμβάνουν υπέρυθρες ακτίνες (IR), UHF radio, εξαπλωμένο φάσμα (spread spectrum) και μικροκυματική επικοινωνία (microwave radio), που διακυμαίνονται από το πεδίο των Ghz συχνοτήτων στην Ευρώπη (900 Mhz στην Αμερική) έως υπέρυθρες συχνότητες. Το προσωπικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών (PCN) χρησιμοποιεί μία κωδικοπολυπλεξία πολλαπλής πρόσβασης ευρέως φάσματος (W-CDMA wideband code division multiple access), ενώ οι ψηφιακές cellular services (κυψελοειδής υπηρεσίες) χρησιμοποιούν μία άλλη πολυπλεξία χρόνου ευρέως φάσματος (TDMA). Υπάρχει μία δικαιολογημένη διαμάχη μεταξύ των ειδικών στο πεδίο σχετικά με τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του εξαπλωμένου φάσματος (CDMA) και του περιορισμένου εύρους (TDMA) για τα ιδιωτικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών (PCN). Η τεχνική που προτιμάται μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την συγκεκριμένη PCN εφαρμογή που θα υιοθετείται [12].

2.1 Spread Spectrum (CDMA)

Ο όρος αυτός ορίζει μία κλάση ψηφιακών ραδιο-συστημάτων στην οποία το “απασχολημένο” εύρος ζώνης είναι προφανώς μεγαλύτερο από τον ρυθμό της πληροφορίας. Η τεχνική αυτή αρχικά προτάθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς όπου οι δυσκολίες της αποφυγής τέτοιου σήματος την κατέστησε μία δημοφιλή επιλογή για συγκεκαλυμμένη επικοινωνία. Ο όρος κωδικοπολυπλεξία πολλαπλής πρόσβασης ευρέως φάσματος (CDMA – Code Division Multiple Access) χρησιμοποιείται συχνά σχετικά με τα συστήματα ευρέως φάσματος και αναφέρεται στην πιθανότητα μετάδοσης μερικών τέτοιων σημάτων στην ίδια αναλογία του φάσματος χρησιμοποιώντας ψευδοτυχαίους κώδικες (pseudorandom codes) για κάθε ένα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με frequency hoppings (μία σειρά από ρυθμούς φορτίου- pulses of carrier σε διαφορετικές συχνότητες σε ένα προκαθορισμένο πρότυπο), είτε με μία άμεση αλληλουχία εξαπλωμένου φάσματος (direct sequence spread spectrum), δηλαδή ένα ψευδοτυχαίο διαμορφωμένο δυαδικό μικροκύμα (pseudorandom modulating binary waveform) του οποίου ο συμβολικός ρυθμός είναι ένα πολλαπλάσιο του ρυθμού bit της αρχικής bit ροής και παρέχει μία εναλλακτική για τις μεθόδους frequency division multiple-access (FDMA) ή time-division multiple access (TDMA).

2.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

Πολυπλεξία Χρόνου Πολλαπλής Πρόσβασης. Βασίζεται στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM). Είναι η πιο απλή και παλαιά μορφή πολυπλεξίας. Η τεχνική του TDMA είναι απλή. Παραδοσιακά, τα κανάλια φωνής δημιουργήθηκαν διαχωρίζοντας το ραδιο-φάσμα σε ακόμη μικρότερα RF κανάλια συχνότητας με κάθε μετάδοση να απασχολεί το κάθε (duplex) κανάλι. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως Πολυπλεξία Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (FDMA - frequency division multiple access). Η TDMA διαχωρίζει τα ραδιο-κανάλια σε μία ατέλειωτη συνεχιζόμενη ακολουθία από μικρά κανάλια (time slots-χρονοθυρίδες). Κάθε μετάδοση απασχολεί μόνο ένα από αυτά τα time slots, έτσι αντί για μία μετάδοση, κάθε ραδιο-κανάλι μεταφέρει έναν αριθμό μεταδόσεων ταυτόχρονα.

3. Εισαγωγικά για τον Ασύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς (ATM)

Ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode), έχει υποστηριχθεί ως σημαντική τεχνολογία για όλους τους τύπους υπηρεσιών και

δικτύων. Η ATM τεχνολογία είναι το αποτέλεσμα των προσπαθειών για την ανάπτυξη μίας κοινής βάσης για την μετάδοση δεδομένων, φωνής και video. Η πρώτη χρήση των ATM ήταν στα Ευρείας Περιοχής Δίκτυα (WANs) και στα Μητροπολιτικά Δίκτυα (MANs).

Εν συνεχεία, αναπτύχθηκαν στα Τοπικά Δίκτυα (LANs) και τελικά στους κινητούς χρήστες. Το ATM ήταν το αποτέλεσμα της προσπάθειας προτυποποίησης του Ψηφιακού Δικτύου Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network-ISDN), το οποίο προτάθηκε για ολοκληρωμένες επικοινωνίες, όμως χρειάστηκε πολύ καιρό για να προτυποποιηθεί και όταν η διαδικασία προτυποποίησης ολοκληρώθηκε, είχε σοβαρές ελλείψεις σε δυνατότητες σύνδεσης. Αυτή η έλλειψη οδήγησε σε μια καινούρια προσπάθεια προτυποποίησης για μία υπηρεσία μεταγωγής πακέτου (packet-switched service) με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 μία πρόταση εμφανίστηκε, η οποία ονομάζεται Ασύγχρονη Διαίρεση Χρόνου (Asynchronous Time Division-ATD). Αυτή η πρόταση εισήγαγε την ιδέα του πακέτου σταθερού μεγέθους και μετονομάστηκε σε ATM.

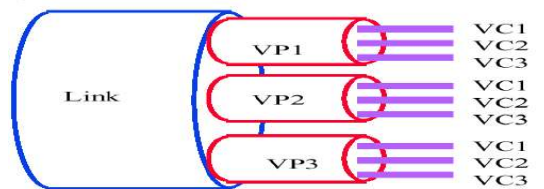
Το ATM είναι μία τεχνολογία μεταγωγής και πολυπλεξίας σε επίπεδο κυψελίδων. Χαρακτηρίζεται ως “Ασύγχρονη” λόγω του τρόπου μεταφοράς των κυψελίδων. Η θέση μιας κυψελίδας κατά την διαδικασία μεταφοράς δεν εξαρτάται από τον χρόνο όπως συμβαίνει στον Σύγχρονο Τρόπο Μεταφοράς (STM – Synchronous Transfer Mode). Πιο συγκεκριμένα, το εύρος ζώνης είναι διαιρεμένο σε σχισμές χρόνου (χρονοθυρίδες) καθορισμένου μήκους. Αυτές οι χρονοθυρίδες κατανέμονται ανάλογα με τις ανάγκες μεταφοράς πληροφορίας που υπάρχουν και για το λόγο αυτό δεν έχουν προκαθορισμένες χρονικές θέσεις. Έτσι, αντί της αναγνώρισης της σύνδεσης από την χρονική θέση, οι σχισμές του χρόνου αναγνωρίζονται με σαφείς προθεματικές ετικέτες.

Το ATM έχει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά :

- Η πληροφορία μεταδίδεται με την μορφή κυψελίδων. Η κυψελίδα αποτελεί την βασική μονάδα μεταφοράς και μεταγωγής, δηλαδή μεταδίδεται από άκρο σε άκρο χωρίς να απαιτούνται συμπληρωματικά δυαδικά ψηφία.
- Η επικεφαλίδα κάθε κυψελίδας περιέχει κωδικούς αναγνώρισης νοητού μονοπατιού (VPI – Virtual Path Identifier) και νοητού καναλιού (VCI – Virtual Channel Identifier). Αυτοί οι κωδικοί αναγνώρισης καθορίζουν την

διεύθυνση δρομολόγησης και χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της πολυπλεξίας.

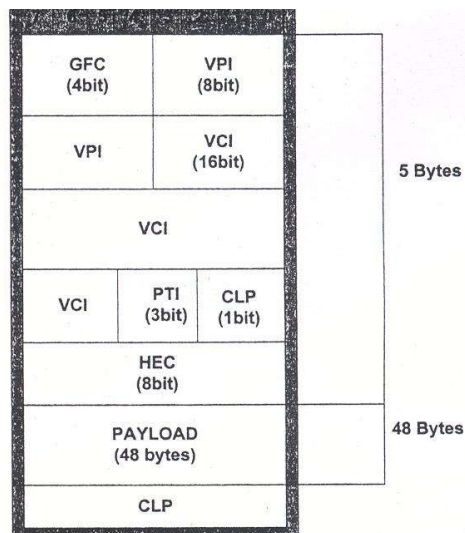
- Ο μεταγωγός ATM είναι ένα “self - routing” δίκτυο και η όλη διαδικασία μεταγωγής υλοποιείται χρησιμοποιώντας υλικό. Η τιμή των κωδικών αναγνώρισης αλλάζει με την έξοδο της κυψελίδας και παίρνει μια νέα τιμή που χρησιμοποιείται για την επόμενη διαδικασία μεταγωγής.
- Ο έλεγχος ροής και η αντιμετώπιση λαθών και δυσλειτουργιών γίνονται μεταξύ των άκρων που επικοινωνούν.



Σχ.3.1 VCs & VPs

Το ATM κελί είναι προκαθορισμένου μήκους των 53 bytes και το κάθε κελί χωρίζεται στα εξής βασικά μέρη [5] :

- Την επικεφαλίδα (header) μήκους 5 bytes και
- Το φορτίο (payload) μήκους 48 bytes που περιέχουν την ωφέλιμη πληροφορία.



Σχ.3.2 Σχηματική απεικόνιση ενός κελιού ATM

Τα δυαδικά ψηφία κάθε κυψελίδας μεταφέρονται από το μέσο μετάδοσης ως ένα συνεχές ρεύμα από τα αριστερά προς τα δεξιά. Η επικεφαλίδα μεταφέρει πληροφορίες για τα VC – VP πεδία, για τον έλεγχο λαθών της επικεφαλίδας καθώς και για το κομμάτι της μεταφερόμενης πληροφορίας (payload). Οι ATM μεταγωγείς χρησιμεύουν για τη δημιουργία και την εκπομπή στο δίκτυο κελιών.

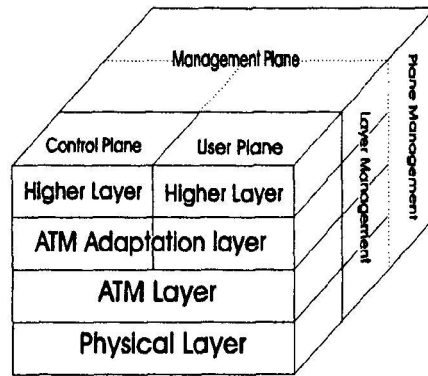
Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται σχηματικά ένα κελί. Περιέχει τα εξής πεδία :

- **Generic Flow Control (GFC).** Το συγκεκριμένο πεδίο έχει νόημα μόνο στο κομμάτι της εισόδου στο ATM δίκτυο (**User to Network Interface – UNI**) αφού χρησιμοποιείται για να ελέγχει την ύπαρξη περισσοτέρων του ενός χρηστών σε ένα σημείο πρόσβασης. Ελέγχει τη ροή της κίνησης μόνο στο συγκεκριμένο σημείο.

- **Virtual Path Identifier (VPI).** Το συγκεκριμένο πεδίο χρησιμοποιείται για την μεταφορά πολλαπλών εικονικών συνδέσεων, οι οποίες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, μέσω του ίδιου μονοπατιού.
- **Virtual Channel Identifier (VCI).** Το συγκεκριμένο πεδίο καθορίζει την διαφορετική για κάθε κελί διαδρομή την οποία θα ακολουθήσει εντός του ATM δικτύου.
- **Payload Type (PT).** Περιέχει την πληροφορία που ανταλλάσσουν οι χρήστες για τη διαχείριση του δικτύου.
- **Cell Loss Priority (CLP).** Είναι πεδίο που καθορίζει ποια κελιά και με ποιον τρόπο θα απορρίπτονται από τον ATM μεταγωγέα σε καταστάσεις συμφόρησης του δικτύου.
- **Header Error Control (HEC).** Παρέχει μηχανισμούς για την ανίχνευση και την πιθανή διόρθωση των λανθασμένων επικεφαλίδων. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να υπάρξει διόρθωση, το κελί απορρίπτεται.

3.1. Το μοντέλο Αναφοράς Πρωτοκόλλων για το ATM

Οι λειτουργίες του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου ATM είναι οι ίδιες για το Επίπεδο Ελέγχου και το Επίπεδο Χρήστη αφού και τα δύο επίπεδα μοιράζονται το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ATM. Διαφορετικές λειτουργίες μπορεί να εμφανιστούν στο επίπεδο Προσαρμογής καθώς και σε Ανώτερα Επίπεδα [14].



Σχ.3.1.1. Μοντέλο αναφοράς ATM Πρωτοκόλλου

Πιο αναλυτικά, οι λειτουργίες του φυσικού επιπέδου, του επιπέδου ATM και του επιπέδου Προσαρμογής παρουσιάζονται παρακάτω:

Φυσικό Επίπεδο : παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο και είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των ATM κυψελίδων. Διαιρείται σε δύο υποεπίπεδα : το υποεπίπεδο που εξαρτάται από το μέσο (PMD – **Physical Medium Dependent**) που ασχολείται με τα ηλεκτρικά θέματα της φυσικής προσαρμογής που εμπλέκονται στη μετάδοση πάνω από το φυσικό μέσο και το υποεπίπεδο σύγκλισης μεταφοράς (TC – **Transport Convergence**) που περιλαμβάνει λειτουργίες μετάδοσης ανεξάρτητες από το φυσικό μέσο.

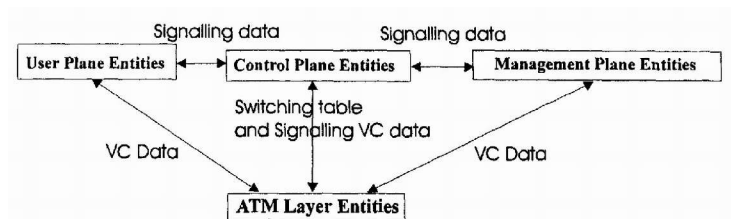
Επίπεδο ATM : αποτελεί την “καρδιά” της τεχνολογίας Ασύγχρονου Τρόπου Μεταφοράς. Είναι υπεύθυνο για λειτουργίες πολυπλεξίας και μεταγωγής. Επίσης μεταφέρει και προσθέτει την επικεφαλίδα στο φορτίο. Δέχεται δεδομένα από το επίπεδο Προσαρμογής στο ATM (AAL), έτοιμα για τη διαδικασία ενθυλάκωσης κυψελίδων και παραδίδει την πληροφορία στο επίπεδο Προσαρμογής στο ATM μετά την αποενθυλάκωση. Η πρωταρχική λειτουργία του επιπέδου ATM είναι η από άκρη – σε – άκρη (end – to – end) σειριακή μεταφορά των ATM κυψελίδων.

Επίπεδο Προσαρμογής ATM (AAL) : είναι το τρίτο επίπεδο μετά το φυσικό και το επίπεδο ATM. Το επίπεδο αυτό εκτελεί όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την

προσαρμογή των δυνατοτήτων που παρέχονται από το επίπεδο ATM στις ανάγκες των ανώτερων επιπέδων.

Επίσης υπάρχουν τέσσερα ακόμα επίπεδα τα οποία χρησιμεύουν για την προσαρμογή στο ATM πρωτόκολλο. Αυτά είναι τα : AAL 1, AAL 2, AAL 3/4 και AAL 5.

Η αρχιτεκτονική που απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα καθορίζει επίσης τρία ξεχωριστά επίπεδα : α) το επίπεδο χρήστη (user plane) το οποίο παρέχει για μετάδοση πληροφορίες χρηστών σχετικές με πληροφορίες ελέγχου (control information), β) το επίπεδο ελέγχου (control plane) το οποίο είναι υπεύθυνο για έλεγχο σχετικό με την διασύνδεση και γ) το επίπεδο management το οποίο είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό των επιπέδων και των σχετικών λειτουργιών με την λειτουργία των διαφόρων πρωτοκόλλων. Περιλαμβάνει τη Διαχείριση Επιπέδων (Plane Management) και τη Διαχείριση Στρωμάτων (Layer Management) [24].



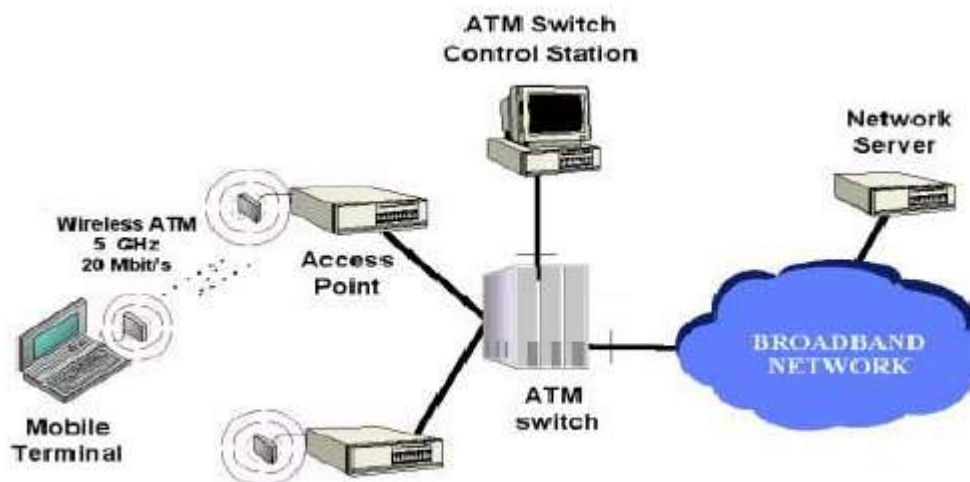
Σχ.3.1.2. Μοντέλο αλληλεπίδρασης ATM οντοτήτων

4. Γιατί τα WATM;

Το 1799 ο στρατός του Ναπολέον ανακάλυψε την πέτρα ‘Rosetta’ στην Αίγυπτο η οποία αποτέλεσε το κλειδί της μετάφρασης στο κρυπτογραφημένο Αιγυπτιακό ιερογλυφικό και λαϊκό γράψιμο. Το σημείο ‘κλειδί’ ήταν ότι η συγκεκριμένη πέτρα περιείχε το ίδιο μήνυμα στα γνωστά ελληνικά. Μπορεί η WATM τεχνολογία να αποτελέσει ένα όμοιο ρόλο στην μετάφραση των μυριάδων γλωσσών επικοινωνίας σε μία ‘μοντέρνα’ γλώσσα των τηλεπικοινωνιακών δεδομένων; Θα αποτελέσουν τα WATM δίκτυα την ‘Rosetta’ πέτρα για τη δημόσια αλληλεπίδραση πρωτοκόλλου δικτύων δεδομένων ;[3]

Η ιδέα του ATM είναι η από άκρη σε άκρη επικοινωνία δηλαδή σε ένα WAN (Wide Area Network) το πρωτόκολλο επικοινωνίας θα είναι το ίδιο και οι εταιρείες δεν θα χρειάζεται να αγοράζουν επιπλέον εξοπλισμό (όπως δρομολογητές ή πύλες) για να διασυνδέουν τα LANs (Local Area Networks). Επίσης η ATM τεχνολογία θεωρείται ότι θα μειώσει την πολυπλοκότητα του δικτύου και θα βελτιώσει την λειτουργικότητα ενώ θα παρέχει ταυτόχρονα έλεγχο στην κυκλοφορία (traffic performance). Γι' αυτό το λόγο οι ερευνητές δίνουν έμφαση στο γεγονός ότι ένα ATM cell-relay paradigm θα μπορούσε να υιοθετηθεί σαν μία βάση για τις ασύγχρονες αρχιτεκτονικές της επόμενης γενιάς [18].

Και το ATM και το WATM βρίσκονται σε ένα αρχικό στάδιο ενώ οι έρευνες συνεχίζονται. Για το λόγο αυτό αξίζει να αναφερθούν διάφορες ιδέες και πρωτόκολλα που στηρίζονται στις μελέτες ερευνητών. Εξάλλου, Η ιδέα της ανάπτυξης μιας τεχνολογίας για ευρείας ζώνης ασύρματη τοπική πρόσβαση, η οποία ολοκληρώνει τα χαρακτηριστικά του ATM με την κινητικότητα του τελικού χρήστη τα οποία θα υποστηρίζονται από την ραδιο-διασύνδεση, είναι πολύ ελκυστική [8].



Σχ.4. WATM Αρχιτεκτονική δικτύων

5. Υποστήριξη υπηρεσιών χωρίς σύνδεση από δίκτυα ATM

Το κύριο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά την μεταφορά δεδομένων, αναφέρεται στο πώς το ATM που είναι μία τεχνολογία

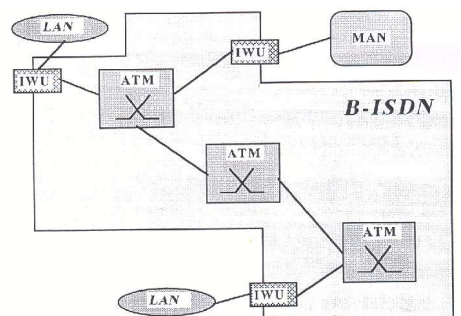
προσανατολισμένη προς τη σύνδεση (CO), θα παρέχει υπηρεσίες χωρίς σύνδεση (CL) έτσι ώστε να υποστηρίζεται η απαιτούμενη διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα δίκτυα και να γίνεται αξιοποίηση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων τους.

Η ITU-T (International Telecommunications Union) προτείνει δύο γενικές μεθόδους για την παροχή υπηρεσιών χωρίς σύνδεση :

- Η έμμεση προσέγγιση με παροχή της υπηρεσίας χωρίς σύνδεση στη διεπαφή χρήστη με δίκτυο (UNI).
- Η άμεση προσέγγιση που συνίσταται στην απευθείας αντιστοίχιση των λειτουργιών των χωρίς σύνδεση πρωτοκόλλων MAC (Medium Access Control) ή IP σε συνδέσεις ATM [4].

5.1 Η έμμεση προσέγγιση

Στην έμμεση προσέγγιση, μία χωρίς σύνδεση υπηρεσία υλοποιείται πάνω από ένα ATM δίκτυο χρησιμοποιώντας νοητές συνδέσεις που συνδέουν κάθε ζευγάρι Μονάδων Διασύνδεσης (**IWUs – Inter Working Units**) με το ATM. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως έμμεση υπό την έννοια ότι τα χωρίς σύνδεση πρωτόκολλα μεταφέρονται διαφανώς από το δίκτυο ATM και δεν αποτελούν αντικείμενο επεξεργασίας. Κάθε νοητή σύνδεση αποτελεί έναν αγωγό και οι συνδέσεις μεταξύ των Μονάδων Διασύνδεσης δημιουργούν ένα πλέγμα διασυνδεσιμότητας μέσα στο δίκτυο. Οι συνδέσεις μπορεί να είναι τόσο σταθερές ή ημισταθερές (PVCs), όσο και μεταγωγισιμες (SVCs). Η επιλογή του τύπου των συνδέσεων εξαρτάται κυρίως από την επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας (QoS).



Σχ 5.1.1. Έμμεση προσέγγιση στην παροχή υπηρεσιών χωρίς σύνδεση

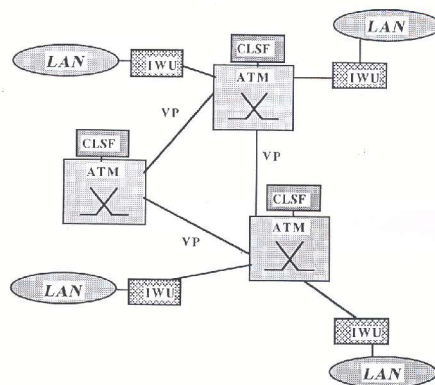
Η χρήση μεταγωγίμων συνδέσεων παρέχει ευελιξία και επεκτασιμότητα αφού οι συνδέσεις υπάρχουν όσο υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση. Οι επιβαρύνσεις όσον αφορά τις εγκαταστάσεις και απολύσεις συνδέσεων, η αύξηση των λειτουργικών απαιτήσεων από τις IWUs και οι αντίστοιχες καθυστερήσεις που προκύπτουν, θεωρούνται τα βασικά μειονεκτήματα της χρήσης μεταγωγίμων συνδέσεων. Όσον αφορά τη διασύνδεση συνδρομητικών ATM στοιχείων μεταγωγής με ημισταθερές συνδέσεις, οι χωρίς σύνδεση υπηρεσίες υποστηρίζονται από μεταγωγίμα νοητά κανάλια (VCs) τα οποία μεταφέρονται από ημισταθερά νοητά μονοπάτια (VPs). Η έμμεση μέθοδος παρουσιάζει μειονεκτήματα σε ό,τι αφορά την επεκτασιμότητά της και την βέλτιστη χρήση των πόρων του δικτύου. Η χρησιμοποίηση της μεθόδου “καλύτερης προσπάθειας” (Best Effort) ή της υπηρεσίας “Διαθέσιμου Ρυθμού Ψηφίων” (ABR – Available Bit Rate), αποτελεί μία βελτιωμένη λύση. Ο όρος “καλύτερη προσπάθεια” οφείλεται στη συμπεριφορά του δικτύου που προσπαθεί να εξυπηρετήσει την χωρίς σύνδεση υπηρεσία με όσο διαθέσιμο εύρος ζώνης έχει τη δεδομένη χρονική περίοδο. Ένας μηχανισμός ανάδρασης πληροφορεί τις IWUs για προβλήματα συμφόρησης και αυτές ως απάντηση προσαρμόζουν τους ρυθμούς εξόδων τους.

5.2 Η άμεση προσέγγιση

Στην άμεση προσέγγιση, η λειτουργία της υπηρεσίας χωρίς σύνδεση (CLSF – Connectionless Service Function) υλοποιείται από ειδικούς διαθέτες (CLSs – Connectionless Servers). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή :

- Οι μονάδες διασύνδεσης (IWUs) επικοινωνούν με τους διαθέτες.
- Μία μονάδα σύνδεσης τμηματοποιεί τα πλαίσια του τοπικού δικτύου μετατρέποντάς τα σε κυψελίδες τις οποίες στη συνέχεια προωθεί σε ένα διαθέτη.
- Τα πλαίσια – υπό μορφή πλέον ATM κυψελίδων – οδηγούνται στη μονάδα σύνδεσης προορισμού μέσω ενός ή περισσότερων διαθετών.
- Η μονάδα σύνδεσης προορισμού προχωρεί σε επανασύσταση των πλαισίων τα οποία και παραδίδει στο τοπικό δίκτυο προορισμού.

Κάθε διαθέτης υπηρεσίας χωρίς σύνδεση (CLS) είναι υπεύθυνος για τις αποφάσεις δρομολόγησης οι οποίες καθορίζουν τον επόμενο διαθέτη ή τη μονάδα σύνδεσης. Η μονάδα διασύνδεσης στο σημείο προορισμού είναι υπεύθυνη για την ανασύσταση των χωρίς σύνδεση πλαισίων και την παράδοσή τους στο τελικό σύστημα.



Σχ 5.2.1. Άμεση προσέγγιση στην παροχή υπηρεσιών χωρίς σύνδεση

5.2.1. Φιλοσοφίες για την υλοποίηση του μηχανισμού της άμεσης προσέγγισης

Για την υλοποίηση του μηχανισμού της άμεσης προσέγγισης υπάρχουν δύο σχεδιαστικές φιλοσοφίες :

- Υλοποίηση του διαθέτη CLS ως ενός ανεξάρτητου διακοπτικού στοιχείου μεταγωγής πακέτων και προσάρτησά του στη συνέχεια σε ένα ATM διακοπτικό στοιχείο. Η λύση αυτή χαρακτηρίζεται ως ανεξάρτητη ή B επιλογή. Οι διαθέτες συνδέονται με νοητά μονοπάτια μέσω των ATM διακοπτικών στοιχείων δημιουργώντας ένα νοητό δίκτυο και υποστηρίζουν όλα τα κανάλια που μεταφέρουν κίνηση που απαιτεί μεταγωγίμη χωρίς σύνδεση υπηρεσία.

Ως βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής θεωρούνται :

- Ο περιορισμός σε διαθέσιμο εύρος ζώνης για μεταγωγίμες χωρίς σύνδεση υπηρεσίες
 - Η απουσία ενός ολοκληρωμένου μηχανισμού μεταγωγής
-
- Ενσωμάτωση των διαθέτων CLS στις κάρτες των θυρών εισόδου των ATM διακοπτικών στοιχείων. Η λύση αυτή χαρακτηρίζεται ως ολοκληρωμένη ή A επιλογή. Κάθε είσοδος ανιχνεύει τα νοητά κανάλια που μεταφέρουν κίνηση που αντιστοιχεί σε υπηρεσίες χωρίς σύνδεση και ακολουθεί η διαδικασία δρομολόγησης. Ως βασικά μειονεκτήματα θεωρούνται :
 - Η ανάγκη για πιο γρήγορη ανάλυση των πληροφοριών δρομολόγησης και για ταχεία απόδοση ενός ελεύθερου “τυποποιητή μηνύματος” (MID – **M**essage **I**dentifier) ανά θύρα εξόδου σε κάθε πρώτη κυψελίδα ενός μηνύματος.

- Η ανάγκη για επιπλέον υλικό.

6. Αρχιτεκτονική Wireless ATM (WATM) Πρωτοκόλλου

Ένα μοντέλο ασύρματου δικτύου ATM αποτελείται από ένα σταθερό δίκτυο ATM και από ένα ραδιοφωνικό τμήμα πρόσβασης. Στο σταθερό δίκτυο ATM οι διακόπτες, που επικοινωνούν άμεσα με τον ασύρματο σταθμό ή τις ασύρματες συσκευές τελικών χρηστών, είναι ενισχυμένοι κινητοί ATM διακόπτες. Οι διακόπτες αυτοί εγκαθιστούν τη σύνδεση εξ ονόματος των ασύρματων συσκευών. Χρησιμοποιούν σαν 'είσοδος' στην υποδομή των ενσύρματων ATM δικτύων. Τα υπόλοιπα στοιχεία μετατροπής του ATM παραμένουν αμετάβλητα [10].

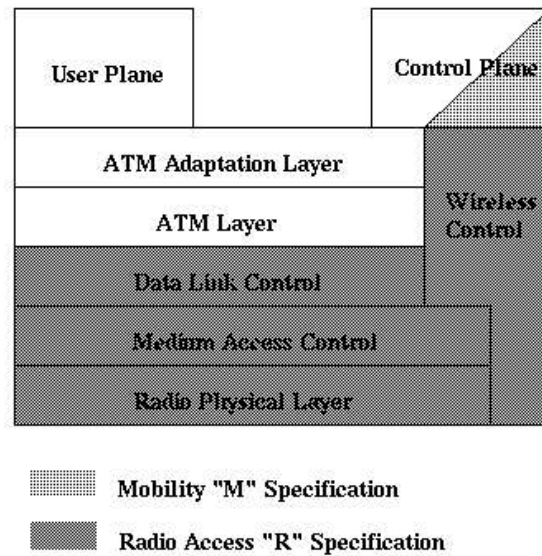
Το πρωτόκολλο που προτάθηκε από το ATM Forum απεικονίζεται στο σχήμα 6.1. Τα τμήματα ενός WATM χωρίζονται σε δύο μέρη :

- το **Radio Access Layer**
- το **Mobile ATM Management Layer**

Το **Radio Access Layer** είναι υπεύθυνο για τα πρωτόκολλα ραδιο-σύνδεσης για την ασύρματη ATM πρόσβαση. Το Radio Access Layer αποτελείται από το PHY (Radio Physical Layer), το MAC (Media Access Control), το DLC (Data Link Control) και το WC (Wireless Control).

Το **Mobile ATM** διαχειρίζεται τις λειτουργίες ελέγχου/σηματοδοσίας υψηλού επιπέδου, οι οποίες είναι απαραίτητες για να υποστηρίξουν την κινητικότητα. Αυτές οι λειτουργίες ελέγχου/σηματοδοσίας περιλαμβάνουν το handover, το location management, το routing, το addressing και το traffic management.

WATM Protocol Architecture



Σχ.6.1 Αρχιτεκτονική WATM πρωτοκόλλου

6.1. Radio Access Layer

Το Radio Access Layer χωρίζεται [17]:

- στο υψηλής ταχύτητας **Radio Physical Layer (PHY)** : Το φυσικό επίπεδο ασχολείται με την πραγματική μετάδοση των δεδομένων μέσα από το φυσικό μέσο. Εξασφαλίζει αξιόπιστη και υψηλής ταχύτητας μετάδοση με ρυθμό δεδομένων στα 25 Mbps στην μπάντα συχνοτήτων των 5 GHz (Low Speed Wireless PHY) και προτεινόμενα τα 155/622 Mbps στην μπάντα συχνοτήτων 60 GHz (High Speed Wireless PHY). Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του μέσου μετάδοσης και το σήμα που χρησιμοποιείται.
- στο **Medium Access Control layer (MAC)** : Βασική υποχρέωση του MAC επιπέδου είναι η υποστήριξη πολλαπλών PHY επιπέδων. Το Medium Access Control (MAC) ελέγχει την κοινή χρήση ενός ασύρματου καναλιού από πολλούς χρήστες. Το MAC επίπεδο πρέπει να είναι διάφανο στα διαφορετικά φυσικά επίπεδα και να υποστηρίζει πρότυπες ATM υπηρεσίες με εγγύηση QoS ενώ να διατηρεί λογικά υψηλή αποδοτικότητα του ραδιοφωνικού καναλιού. Γενικά, τα MAC πρωτόκολλα

ομαδοποιούνται σε πέντε τάξεις: σταθερή ανάθεση (TDMA,FDMA), τυχαία πρόσβαση (ALOHA,CSMA), κεντρικά ελεγχόμενη ανάθεση απαίτησης, ανάθεση απαίτησης με διανεμημένο έλεγχο και προσαρμοστικές στρατηγικές και μικτά μοντέλα..

- στο *Data Link Control Layer (DLC)* : Το Data Link Control είναι υπεύθυνο να εξυπηρετεί το ATM επίπεδο. Πριν τα κελιά αποσταλούν στο ATM επίπεδο πρέπει σ' αυτό το επίπεδο (το DLC) να απαλειφθούν από την επίδραση των σφαλμάτων (mitigates the effect of radio channel errors). Ένα από τα κύρια θέματα που αφορούν το DLC επίπεδο είναι η εξομάλυνση των συνεπειών των λαθών των ραδιοφωνικών καναλιών. Οι τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να χειριστούν αυτό το πρόβλημα είναι οι: Automatic Repeat Request (ARQ) και Forward Error Correction (FEC) ή συνδυασμός και των δύο.
- στο *Wireless Control layer (WC)* : υποστηρίζει τον έλεγχο ραδιοφωνικής πηγής και τις λειτουργίες διαχείρισης στο radio access επίπεδο και επιπρόσθετα περιλαμβάνει metasignalling δυνατότητες, οι οποίες συμπληρώνουν το μονοπάτι ελέγχου (control path) ανάμεσα στον ραδιο-σύνδεσμο (radio link) και στο παραδοσιακό ATM signalling/control επίπεδο.

6.2. Mobile ATM Management Layer

Το Mobile ATM Management Layer παρέχει ένα μηχανισμό για [22] :

- **handover έλεγχος**: για δυναμική επαναδρομολόγηση των ιδεατών κυκλωμάτων (virtual circuits-VCs) κατά την διάρκεια μετακίνησης του κινητού χρήστη
- **location tracking management** : εντοπισμός της τοποθεσίας για χαρτογράφηση των κινητών usernames στην τρέχουσα τοποθεσία
- **routing & QoS control** : δρομολόγηση & έλεγχος QoS.

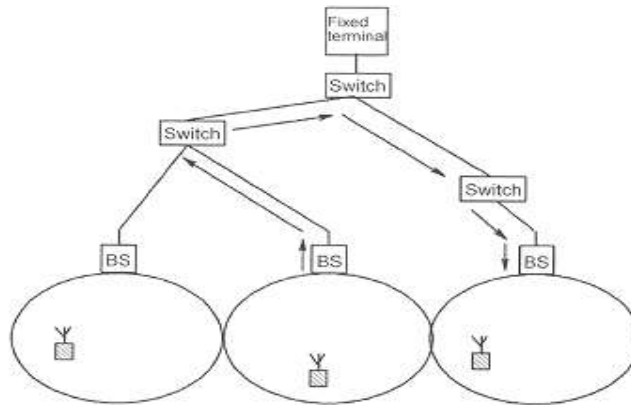
Ο handover έλεγχος είναι μία βασική κινητή δικτυακή δυνατότητα για δυναμική υποστήριξη της μετακίνησης των προσωπικών H/Y, cellular ή ευρείας

περιοχής (WAN) backbone και end-to-end WATM. Αυτή η δυνατότητα απαιτεί σηματοδότηση (signalling) και επεκτάσεις του δικτυακού ελέγχου για δυναμική επαναδρομολόγηση ενός συνόλου ιδεατών κυκλωμάτων (VCs) από την μία ραδιοφωνική θύρα (port) στην άλλη. Η υιοθετημένη handover στρατηγική σε ένα WATM έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά της κίνησης και συνεπώς, στο προσφερόμενο QoS.

Ο μηχανισμός εντοπισμού τοποθεσίας παρέχει μία χαρτογράφηση (mapping) ανάμεσα στον μοναδικό κινητό username και σε ένα routing-id η οποία χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί το τρέχον κελί, όπου βρίσκεται ο κινητός χρήστης. Ο εντοπισμός της τοποθεσίας μπορεί να βασιστεί στην ιδέα της τοποθεσίας του σπιτιού (home location)/της τοποθεσίας του επισκέπτη (visitor location), η οποία χρησιμοποιεί βάσεις δεδομένων για να κρατάει το σπίτι (home) και την προσωρινή διεύθυνση του κινητού χρήστη.

Η δρομολόγηση (routing) και ο QoS έλεγχος απαιτούνται για να αντιμετωπίσουν αλλαγές και βελτιστοποιήσεις που σχετίζονται με το handover. Ένα handover γεγονός μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μία σημαντική αλλαγή στην βέλτιστη διαδρομή κάθε ιδεατού κυκλώματος (VC) που σχετίζεται με τον κινητό χρήστη. Αυτό σημαίνει ένα μέρος του ιδεατού κυκλώματος πρέπει να επανεγκατασταθεί σύμφωνα με τα κριτήρια της εγγύησης QoS. Η δρομολόγηση είναι στενά συνδεδεμένη με την υπηρεσία ελέγχου του QoS, έτσι ώστε να διατηρηθούν οι επιλεγθείσες παράμετροι της εξυπηρέτησης κατά την διάρκεια της κινητής σύνδεσης.

7. Αρχιτεκτονική των WATM networks



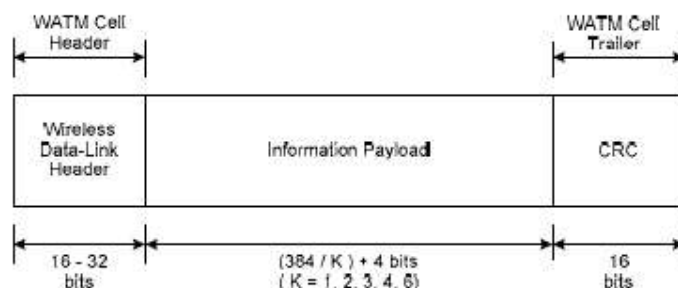
Σχ.7.1 WATM Αρχιτεκτονική δικτύων

Μία απλή απεικόνιση φαίνεται στο σχήμα 7.1. Αποτελείται από έναν αριθμό από μικρά κελιά (κυψέλες) καθένα από τα οποία περιλαμβάνει ένα σταθμό βάσης (Base Station). Ο βασικός ρόλος του σταθμού βάσης είναι η διασύνδεση των ασύρματων και ενσύρματων τμημάτων του δικτύου. Κάθε κελί περιλαμβάνει έναν αριθμό από τερματικούς σταθμούς. Όλοι οι τερματικοί σταθμοί μέσα σε ένα κελί επικοινωνούν μόνο με τον σταθμό βάσης του κελιού και όχι μεταξύ τους. Για την υποστήριξη των τερματικών σταθμών, οι κεντρικοί σταθμοί είναι συνδεδεμένοι σε ευκίνητους ATM μεταγωγείς (switches) οι οποίοι με τη σειρά τους είναι διασυνδεδεμένοι με κανονικούς μεταγωγείς στο ATM δίκτυο. Οι τερματικοί σταθμοί μπορούν να μετακινούνται μεταξύ των κελιών και αυτό οδηγεί στην ανάγκη εύρεσης τεχνικών για αποδοτικό location management και handoff [9] [1].

Υπάρχουν προτάσεις για για δύο διαφορετικά σενάρια αν λάβουμε υπόψη την λειτουργικότητα των BS στην παραπάνω αρχιτεκτονική. Το πρώτο αναφέρει την διακοπή σύνδεσης του ATM AAL στον σταθμό βάσης. Σε αυτή την περίπτωση, η κυκλοφορία που μεταδίδεται από το ασύρματο μέσο δεν είναι σε μορφή ATM κυψελίδων. Χρησιμοποιείται ένα συνηθισμένο ασύρματο MAC το οποίο ενθυλακώνει ένα ή περισσότερα κελιά σε ένα πακέτο. Με αυτή την διαδικασία ομαδοποίησης, το φορτίο (overhead) που χρειάζεται για την ασύρματη μετάδοση, είναι μικρότερο από

ό,τι θα ήταν στην ασύρματη μετάδοση μεμονομένων ATM κελιών. Σύμφωνα με το δεύτερο, ο σταθμός βάσης αναμεταδίδει τα ATM κελιά από τον σταθμό βάσης προς το ενσύρματο κομμάτι του δικτύου αλλά και προς τους κινητούς τερματικούς σταθμούς (mobile terminals).

Εξίσου σημαντική είναι η δομή κυψελίδας που προτείνεται από τους ερευνητές. Από την στιγμή που το WATM δεν έχει διεθνή standards, υπάρχουν πολλές προτεινόμενες δομές κυψελίδων μία από τις οποίες παρουσιάζεται στο σχήμα 7.2. και χρειάζεται μερικές βελτιώσεις ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα. Όπως φαίνεται παρακάτω, η κυψελίδα WATM αποτελείται από τρία πεδία : την Wireless Data-Link επικεφαλίδα (16 – 32 bits), την ωφέλιμη πληροφορία (Payload Information, 68– 388 bits) και το CRC (Code Rate Suit, 16 bits). Για κάθε τύπο δεδομένων, υπάρχει ένα ζευγάρι από κωδικοποιημένους ρυθμούς πχ ένα High Code Rate και ένα Low Code Rate, και κάθε ζευγάρι ονομάζεται Code Rate Suit (CRS) το οποίο εξαρτάται από την κατάσταση του καναλιού και ένα από τα δύο θα χρησιμοποιηθεί από τον αποστολέα για να κωδικοποιήσει το μεταδιδόμενο μήνυμα. Ο κωδικοποιητής πρέπει να είναι ευέλικτος ώστε να επιτρέπει την κωδικοποίηση διαφορετικών code rates. Τα Low code rates έχουν περισσότερες διορθωτικές ικανότητες από τα high code rates. Έχει καθοριστεί ένα σύνολο από 15 CRSs στα οποία το υψηλότερο code rate που χρησιμοποιείται είναι $\frac{1}{2}$ και το χαμηλότερο είναι $\frac{5}{6}$. Ο αποκωδικοποιητής θα προσαρμοστεί ώστε να κωδικοποιήσει το μήνυμα σύμφωνα με το code rate που χρησιμοποιεί ο αποστολέας.



Σχ.7.2 WATM δομή κυψελίδας

Ωστόσο, πρέπει να αναφέρουμε ότι στην υλοποίηση της WATM αρχιτεκτονικής εμφανίζονται κάποια προβλήματα όπως :

- το θορυβώδες περιβάλλον.
- οι οι περιορισμοί του εύρους ζώνης (bandwidth), εξαιτίας της έλλειψης του ραδιοφάσματος.

Άλλα θέματα, τα οποία είναι ανοιχτά, αφορούν την διαχείριση της κινητικότητας (mobility management), τον έλεγχο πολλαπλής πρόσβασης (multiple access control) και την διασύνδεση (internetworking).

8. Το ασύρματο πρότυπο SWAN

Ένας αριθμός από WATM πρωτότυπα έχουν προταθεί μέχρι σήμερα. Το Seamless Wireless ATM Network (SWAN) έχει προταθεί από τα AT&T Bell Εργαστήρια. Το SWAN υποστηρίζει end-to-end ATM σύνδεση στους κινητούς χρήστες. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για pico-cellular ασύρματο περιβάλλον, όπου οι κινητοί hosts κινούνται συχνά ανάμεσα στα κελιά [11].

Σχ.8.1. SWAN system architecture

Το σύστημα SWAN (Seamless Wireless ATM Network) χρησιμοποιείται σαν ένα ‘περιβάλλον’ έρευνας για τα ασύρματα δίκτυα. Αποτελείται από ασύρματες μονάδες (mobile units) όπως για παράδειγμα laptops και base stations τα οποία είναι συνδεδεμένα σε ένα backbone δίκτυο. Και οι κεντρικοί σταθμοί και τα laptops είναι εξοπλισμένα με μία ραδιο-διασύνδεση (radio interface) γνωστή ως FAWN κάρτα (Flexible Adapter for Wireless Networking) η οποία τους επιτρέπει να επικοινωνούν

μεταξύ τους ασύρματα. Κάθε base station έχει ένα εύρος 100 ποδιών μέσα σε ένα κτίριο, παρέχοντας πρόσβαση σε ένα LAN. Τα mobiles επικοινωνούν με τους base stations και μεταξύ τους, επιτρέποντας να δημιουργήσουν ad-hoc δίκτυα τα οποία διαρκώς αλλάζουν καθώς τα mobiles κινούνται [23].

9. Προτυποποίηση

Η έρευνα για τα ασύρματα ATM δίκτυα πραγματοποιείται εδώ και πολύ καιρό. Έχουν γραφτεί πολλά άρθρα για το θέμα και έχουν ανακοινωθεί και μερικά πρωτότυπα. Όμως ακόμα, το πιο σημαντικό μέρος της δραστηριότητας λείπει από την σκηνή των ασύρματων ATM δικτύων. Για τις επιχειρήσεις, που έχουν επαγγελματικό ενδιαφέρον, ο κύριος σκοπός είναι συχνά να θέσουν σε εφαρμογή υλικό και συστήματα, τα οποία συμμορφώνονται με κάποια πρότυπα.

Έτσι, ο Οκτώβριος του 1995 υπήρξε ένα σημαντικό ορόσημο για τα ασύρματα ATM δίκτυα. Τον Οκτώβριο, το θέμα των ασύρματων ATM δικτύων προέκυψε σε δύο διαφορετικά forums προτυποποίησης, τα οποία ονομάζονται ETSI STC RES10 και ATM Forum.

Υπάρχουν τρία πρότυπα, τα οποία έχουν ορίσει το φυσικό επίπεδο υπέρ του ATM: ANSI, CCITT/ITU-T και το ATM Forum. Κανένα από αυτά δεν έλαβε υπόψη του την ασύρματη ATM εναέρια διασύνδεση. Το ETSI RES10, υποτεχνική επιτροπή είναι η πρώτη, η οποία ασχολήθηκε με την προτυποποίηση σε ασύρματα πολυμέσα, συμβατά με το ATM. Η RES10 επιτροπή είχε ήδη ασχοληθεί με την προτυποποίηση του HIPERLAN και η ομάδα του ασύρματου ATM άρχισε να δουλεύει σ.αυτό το θέμα. Η αρχική δουλειά θα επικεντρωθεί στην χρήση πιθανών σεναρίων και με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Επίσης, η έρευνα για διαθέσιμο spectrum στα 5.2 GHz για το σύστημα του ασύρματου ATM είναι κρίσιμη και γι.αυτό μία από τις εργασίες του RES10.

Ο οργανισμός ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunications standardization sector) περιγράφει πέντε γενικές κλάσεις υπηρεσιών στον χώρο των ευρυζωνικών ψηφιακών δικτύων ενοποιημένων υπηρεσιών:

- υπηρεσίες επικοινωνίας
 - υπηρεσίες εκπομπής/διαανομής
-

- υπηρεσίες συνδυάλεξης
- υπηρεσίες ανταλλαγής μηνυμάτων
- υπηρεσίες ανάκτησης δεδομένων

Το πρότυπο του ITU-T I.150 περιγράφει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ATM στρώματος και το I.361 δίνει τις τεχνικές προδιαγραφές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εκτός από τον ITU-T (πρώην CCITT – Consultive Committee on International Telephony and Telegraphy), συμβάλλουν τόσο ο οργανισμός ANSI (American National Standards Institute) όσο και το ATM Forum [15].

10. Επισκόπηση

Πρόσφατα, πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν γίνει για να ενοποιηθούν τα ευρέως ενσύρματα ATM με τις ασύρματες τεχνολογίες. Τα WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode) συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ενσύρματων δικτύων ATM και των ασύρματων δικτύων. Παρέχουν έναν “ευπροσάρμοστο” καταμερισμό εύρους ζώνης που προσφέρεται από την δυνατότητα πολυπλεξίας των ATM και από την ελευθερία της κίνησης των τελικών σταθμών η οποία προσφέρεται από τα ασύρματα δίκτυα. Αυτός ο συνδυασμός θα διευκολυνεί την υλοποίηση των εφαρμογών Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) πάνω στα ασύρματα περιβάλλοντα. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι τα WATM δίκτυα είναι πολύ ακριβά για να είναι αποδεκτά από το σύνολο της αγοράς και είναι αναμφισβήτητο ότι χρειάζονται περαιτέρω έρευνες πάνω στα WATM έτσι ώστε να καταστήσουν εφικτή την “διασύνδεση” (interwork) των ασύρματων τεχνολογιών με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα [13].

Βέβαια εξαιτίας της αυξανόμενης αποδοχής των ATM ως πρότυπο για τα μελλοντικά Ευρυζωνικά Ψηφιακά Δίκτυα Ενοποιημένων Υπηρεσιών (B-ISDN), τα WATM αποδέχονται όλο και μεγαλύτερη προσοχή. Παρόλα αυτά, προκειμένου τα ATM να έχουν την καλύτερη δυνατή απόδοση και λειτουργικότητα, πρέπει να παρέχουν μία ασύρματη υπηρεσία, διαφορετικά δεν θα μπορέσουν να συμμετάσχουν στο συνεχώς εξελισσόμενο πεδίο των ασύρματων επικοινωνιών (mobile communications) [19].

11. Συμπεράσματα

Το ασύρματο ATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode) μπορεί να εμφανιστεί ως η λύση για την τέταρτη γενιά προσωπικών δικτύων επικοινωνίας ή ως μια ασύρματη επέκταση των B-ISDN δικτύων, τα οποία θα υποστηρίζουν μετάδοση ολοκληρωμένων δεδομένων με εγγυημένη QoS όπως:

- Φωνή
- Πακέτα Δεδομένων
- Video
- Εφαρμογές εικόνας (imaging)
- Εξομοίωση κυκλωμάτων (circuit emulation)

Τα δίκτυα ATM αποτελούν μία εξέλιξη των αρχιτεκτονικών διασύνδεσης τοπικών δικτύων με σκοπό την αποφυγή των στενωπών που συνεπάγονται οι γνωστές αρχιτεκτονικές μοιραζόμενου μέσου (shared-media) παρέχοντας δυνατότητες κλιμάκωσης του εύρους ζώνης, δημιουργίας "νοητών αυτόνομων δικτύων" (virtual networking) και δυνατότητα υποστήριξης μικτών δικτύων φωνής - δεδομένων και εικόνας.

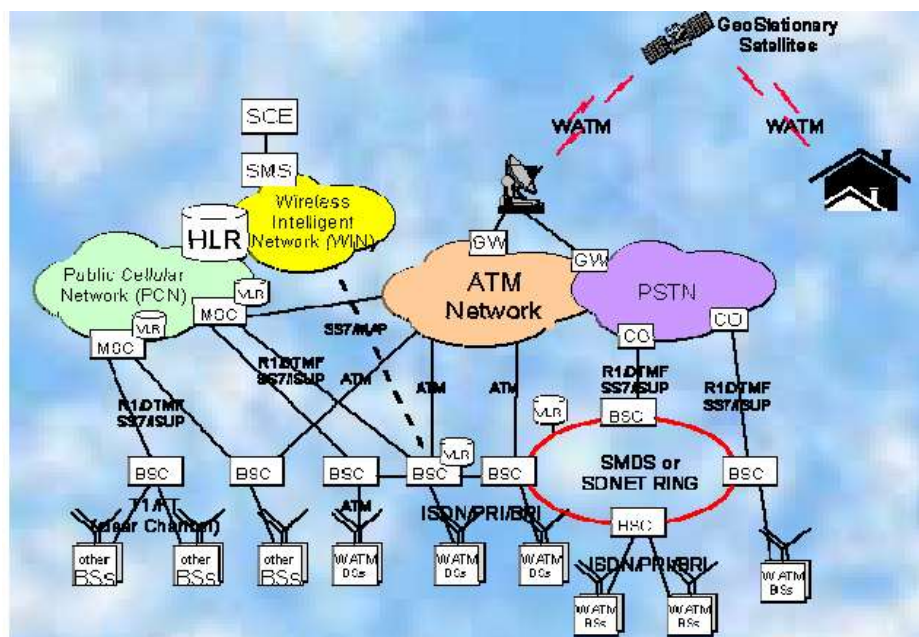
Τα ασύρματα ATM είναι μία αναδυόμενη τεχνολογία, η οποία δείχνει να κατέχει όλες τις δυνατότητες, οι οποίες απαιτούνται για να παρέχουν επιτυχώς μία πλατφόρμα διασύνδεσης με τα ασύρματα broadband συστήματα. Τα ασύρματα ATM θα πρέπει να ορίζονται στενά ενοποιημένα σε ένα σταθερό ATM για να μπορεί να παρέχει μία πραγματική ενοποιημένη υποστήριξη δικτύου το ίδιο καλά και στους κινητούς και στους σταθερούς χρήστες. Τα WATM χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενός συστήματος με ευρύ φάσμα καλύπτοντας έτσι διάφορα σενάρια δικτύων όπως ιδιωτική και δημόσια, τοπική και διευρυμένη, κινητή και ασύρματη πρόσβαση. Άλλες ασύρματες τεχνολογίες δεν παρέχουν τόσες παραμέτρους QoS όσες τα WATM τα οποία μπορούν να προσφέρουν QoS για επαρκή υποστήριξη των πολυμεσικών ροών δεδομένων. Παρόλα αυτά πρέπει να αναφέρουμε ότι τα WATM είναι πιο πολύπλοκα από τις περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες. Ωστόσο υπάρχουν πολλά ανοιχτά ζητήματα τα οποία πρέπει να τονιστούν και τα οποία επιζητούν λύση όπως τα παρακάτω:

- Λειτουργικές απαιτήσεις (διαθεσιμότητα – μέσος χρόνος λειτουργίας, ακρίβεια υπηρεσιών, απόδοτικότερη χρήση πόρων, αξιοπιστία).

- Κόστος (μειωμένο λειτουργικό κόστος)
- Θέματα Management (flexibility)

Δεδομένου ότι οι επιχειρήσεις γύρω από τον κόσμο στηρίζονται όλο και περισσότερο στις τηλεπικοινωνίες για να κερδίσουν μια ανταγωνιστική θέση στην αγορά, τα ευφυή δίκτυα που διασυνδέουν συνολικά τις επιχειρήσεις και τις οικονομικές κοινότητες αυξάνονται στο μέγεθος και τον αριθμό, καθώς επίσης και στον αριθμό νέων εφαρμογών. Η τιμή, που αφορά το κόστος δικτύων, και η αξιοπιστία, που αφορά την ικανότητα επιβίωσης δικτύων, είναι κυρίαρχα κριτήρια των επιχειρησιακών πελατών στην επιλογή ενός προμηθευτή υπηρεσίας τηλεπικοινωνιών. Αν και η τιμή είναι η αρχική ανησυχία, η αξιοπιστία κερδίζει γρήγορα την περισσότερη σημασία.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε ότι αξιόλογες έρευνες γίνονται στα Πανεπιστήμια του Kansas και του Ohio και εξετάζονται πολλές λύσεις. Παρόλα αυτά, δεν έχουν διατυπωθεί επίσημα standards. Η επιτυχία των WATM βασίζεται στην επιτυχία των ATM. Ένα πιθανό δίκτυο του μέλλοντος απεικονίζεται στο σχήμα 11.1. - Integrated services platform for voice, data and multimedia applications in a seamless network interworking (PCS, Cellular, PSTN, Internet, Intranet, ATM, Satellite) environment.[16]



Σχ.11.1 Πιθανό μελλοντικό δίκτυο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΣΥΝΕΔΡΙΑ

- [1] P. Nicopolitidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis.
WIRELESS NETWORKS, John Wiley & Sons LTD, UK 2003
- [2] Daniel Minoli, Golway W.Thomas, Norris P.Smith.
Planning & managing ATM Networks,Manning Publications Co,Greenwich 1997
- [3] David E. McDysan, Darren L. Spohn.
ATM Theory and Application, McGraw – Hill, USA 1995
- [4] Ανδρέας Πομπόρτσης
Εισαγωγή στις νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών, Α.Τζιόλα Ε. Θεσ/νίκη 1997
- [5] Γιώργος Διακονικολάου, Αθανασία Αγιακάτσικα, Ηλίας Μπούρας
Επιχειρησιακή Διαδικτύωση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2004
- [6] D. Raychaundhuri
Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping, Personal Communications, Vol.3, No.4, August 1996.
- [7] Tanenbaum, A., S., Computer Networks, 3rd Edition, 1996.
- [8] C. Chrysostomou, A. Pitsillides, F.-N. Pavlidou
A Survey of Wireless ATM Handover Issues
INTERNATIONAL SYMPOSIUM 3G INFRASTRUCTURE AND SERVICE
2- 3 July 2001 Athens, Greece
- [9] Muhammed Salamah and Waseem Khalil

IEEE Computer Society, A Novel Error Control Technique for Wireless ATM

[10] Fan Jiang, Timo Käkölä
Microcellular Handover in Wireless ATM, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences - 1999

[11] E.Hyden, J. Trotter, P. Krzyzanowski, M.Srivastava, P.Agrawal
SWAN : An Indoor Wireless ATM Network. International conference on Universal Personal Communications, Tokyo, Japan 1995, AT& T Bell Laboratories

ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ WEB

[12] <http://www.atmforum.com>

Διάφορα pdf αρχεία τα οποία περιέχουν πληροφορίες για ό,τι έχει σχέση με τα ATM δίκτυα. π.χ. για τα πρωτόκολλα και τις κυψελίδες, χαρακτηριστικά του Ασύρματου ATM, ανάπτυξη των ATM και WATM, τα εμπόδια και οι προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν και η σημασία τους.

[13] <http://www.computer.org/students/looking/summer97/ieee802.htm>.

Ιστοσελίδα της IEEE Computer Society. Αναφορά στα WATM τα οποία συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ενσύρματων δικτύων ATM και των ασύρματων δικτύων, στην υλοποίηση των εφαρμογών Ποιότητας Υπηρεσιών (QoS) πάνω στα ασύρματα περιβάλλοντα και σε περαιτέρω έρευνες πάνω στα WATM.

[14] <http://www.portal.acm.org3>

Danai Patiyooot, Security issues for WATM networks. Περιγράφονται οι λειτουργίες του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου ATM οι οποίες είναι οι ίδιες για το Επίπεδο Ελέγχου και το Επίπεδο Χρήστη αφού και τα δύο επίπεδα μοιράζονται το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ATM.

[15] http://www.iec.org/online/tutorials/atm_fund/topic01.html

Ορισμός του ATM και αναφορά σε δύο διαφορετικά forums προτυποποίησης, τα ETSI STC RES10 και ATM Forum. Αναφορές στον ITU-T (πρώην CCITT – Consultive Committee on International Telephony and Telegraphy), στον οργανισμό ANSI (American National Standards Institute) και στο ATM Forum.

[16] <http://dessr2m.adm-eu.uvsq.fr/watm>

Project με θέμα τα WATM από τους Paracha Asad, Bentabet Faroudja , Versailles January 2001. Έρευνες γίνονται στα Πανεπιστήμια του Kansas και του Ohio. Η

επιτυχία των WATM βασίζεται στην επιτυχία των ATM και παρουσιάζεται ένα πιθανό δίκτυο του μέλλοντος.

[17] <http://www.comsoc.org>

Handovers in WATM, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 1, January 2002. Απεικονίζεται το πρωτόκολλο που προτάθηκε από το ATM Forum και αναφέρονται τα δύο τμήματα ενός WATM : το **Radio Access Layer** και το **Mobile ATM Management Layer**.

[18] http://www.prz.tu-berlin.de/~herbert/ATM_Heute/sld023.htm

Διαφάνεια από παρουσίαση του Herbert Almus όπου αναφέρεται ότι η ιδέα του ATM είναι η από άκρη σε άκρη επικοινωνία δηλαδή σε ένα WAN (Wide Area Network) το πρωτόκολλο επικοινωνίας θα είναι το ίδιο. Επίσης η ATM τεχνολογία θεωρείται ότι θα μειώσει την πολυπλοκότητα του δικτύου και θα βελτιώσει την λειτουργικότητα.

[19] http://www.npac.syr.edu/users/mahesh/homepage/atm_tutorial/

Asynchronous Transfer Mode Tutorial. Σε αυτό το tutorial παρουσιάζεται μία περίληψη των ATM and Gigabit Δικτύων ξεκινώντας με μία επισκόπηση των Δικτύων Υψηλής Ταχύτητας (High Speed Networks) και τις εφαρμογές τους. Στη συνέχεια εξετάζονται οι λεπτομέρειες των ATM πρωτοκόλλων και εφαρμογών, των ATM-adaptation layers (AAL) και του τρόπου με τον οποίο οι ATM κυψελίδες μεταδίδονται.

[20] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ip_over_atm/index.htm.

Δικτυακός τόπος του τμήματος Computer and Information Science του πανεπιστημίου Ohio State University και στη συγκεκριμένη σελίδα εκτίθενται εργασίες φοιτητών του καθηγητή Raj Jain

[21] <http://www.webopedia.com> Online λεξικό και μηχανή αναζήτησης σχετικά με την Πληροφορική και τεχνολογίες Internet.

[22] http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/wireless_atm/index.htm

project με θέμα τις βασικές αρχές των WATM και την αρχιτεκτονική τους. Ειδικότερα, το Mobile ATM Management Layer παρέχει ένα μηχανισμό για handover έλεγχο, location tracking management routing & QoS control.

[23] <http://www.citeseer.ist.psu.edu>

project με θέμα A VC-based API for Renegotiable QoS in WATM. Ένας αριθμός από WATM πρωτότυπα έχουν προταθεί μέχρι σήμερα. Το Seamless Wireless ATM Network (SWAN) έχει προταθεί από τα AT&T Bell Εργαστήρια. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για pico-cellular ασύρματο περιβάλλον, όπου οι κινητοί hosts κινούνται συχνά ανάμεσα στα κελιά.

[24] http://meru.cecs.missouri.edu/workshop/atm_video.ppt

Jozsef Vass ,Video Communications over Wireline and Wireless ATM Networks

Overview of ATM, ATM cell structure, ATM Protocol stack, Header, Πολυμεσικές επικοινωνίες όσον αφορά τα ATM, επίπεδα στα WATM, πλεονεκτήματα, δίκτυα πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς.