

Μέθοδοι Πρόσβασης στον Συνδρομητικό Βρόχο στο Σύγχρονο Τηλεπικοινωνιακό Περιβάλλον

Περίληψη.

Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία τηλεπικοινωνιών, ωθούν στην ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, οι οποίες εμπλέκουν ανταλλαγή πληροφορίας με συνδυασμούς μέσων (υπηρεσίες πολυμέσων). Αυτές οι υπηρεσίες, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, σε σχέση με τις μέχρι τώρα, κυρίως, τηλεφωνικές υπηρεσίες. Το απαιτούμενο εύρος ζώνης, δεν είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί στα υπάρχοντα χάλκινα μέσα, αν και οι εξελίξεις στις τεχνικές συμπίεσης και στα modems (π.χ. ADSL), έχουν αυξήσει την αποδοτικότητα των μέσων που κυριαρχούν στον τοπικό βρόχο, δηλ. των δυσύρματων γραμμών και των ομοαξονικών καλωδίων.

Το πρόβλημα είναι πού έντονο στην πλευρά του χρήστη, εφόσον στο δίκτυο κορμού, χρησιμοποιούνται, κυρίως, οπτικές ίνες, κάτι που είναι και δύσκολο και ασύμφορο να γίνει στον τοπικό βρόχο. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως πρόβλημα του "τελευταίου μιλίου" (last mile problem). Για την επίλυσή του, έχει προταθεί, μια ποικιλία από τεχνικές και τεχνολογίες, για την παροχή αυξημένου εύρους ζώνης στους χρήστες, με το λιγότερο δυνατόν κόστος. Στην παρούσα εργασία, γίνεται μία ανασκόπηση των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων των τεχνικών αυτών.

Εισαγωγή.

Κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, η εισαγωγή της φωτονικής τεχνολογίας, έφερε επανάσταση στον πυρήνα των διεθνών επικοινωνιακών δικτύων, χωρίς να συμβαίνει το ίδιο και στην περιφέρεια των δικτύων. Το γεγονός αυτό, έχει αποτέλεσμα, οι τεχνολογικές εξελίξεις να μην φτάσουν ακόμη στην πλειοψηφία των πελατών, παρά μόνο σ' αυτούς που διαθέτουν πολύ μεγάλη επικοινωνιακή κίνηση δηλ. μεγάλες εταιρείες και οργανισμούς. Παρ' όλες τις βελιώσεις στην ποιότητα των υπηρεσιών, καθώς και τον εμπλουτισμό με νέες, ή πρόσδοος, όπως την αντλαβάνονται οι "μικροί" πελάτες (μικρές επιχει-

ρήσεις και οικιακοί χρήστες), δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι πραγματοποιήθηκε την εξαγγελθείσα επανάσταση. Πολλοί ειδικοί όμως, υποστηρίζουν ότι η βασική τεχνολογία και τα συστήματα για την επίτευξη ενός τεχνολογικού άλματος στον τοπικό βρόχο, είναι διαθέσιμα ακόμη και σήμερα. Η αύξηση της χωρητικότητας των ζευξών, η οποία καθιστά δυνατή την παροχή υπηρεσιών, που λίγα χρόνια πριν δεν θα μπορούσε κάποιος ούτε να φανταστεί, έχει επιδειχθεί, όχι μόνο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά και σε δοκιμές πεδίου. Παρ' όλες τις ώριμότητες εξελίξεις ωστόσο, ο τοπικός βρόχος έχει παραμείνει ο ίδιος, τη στιγμή μάλιστα που επιτελούνται κοσμογονικές αλλαγές από την άλλη πλευρά του Τοπικού Κέντρου, όπου οι οπτικές ίνες έχουν ουσιαστικά εξαλείψει τον χαλκό. Η άμεση συνέπεια των παραπάνω είναι, η μία απότομη διαίρεση της τεχνολογίας μετάδοσης στις δύο μεριές του Τοπικού Κέντρου, αφού ο χαλκός ακόμη κυριαρχεί προς τον βρόχο των συνδρομητών. Το μήκος των καλωδίων χαλκού που χρησιμοποιούνται στους τοπικούς βρόχους, έχει μήκος που αντιστοιχεί 1000 φορές στην απόσταση γης-σελήνης^[1].

Ο τοπικός βρόχος χαρακτηρίζεται από χαμηλό ρυθμό ανάκτησης της αρχικής επένδυσης, γεγονός το οποίο είναι ιδιαίτερα έντονο σε τοπολογίες όπως, ο αστέρας, όπου η χρήση του εξοπλισμού δεν διαμοιράζεται μεταξύ των πελατών. Οι συσκευές και το μέσο μεταφοράς είναι αφιερωμένα εξ'ολοκλήρου σε έναν και μοναδικό πελάτη, ο οποίος πρέπει να καλύψει το συνολικό κόστος. Αντίθετα, το κόστος μιάς ζεύξης μεταξύ κέντρων, καλύπτεται από τα έσοδα που αντιστοιχούν σε όλους τους πελάτες που την χρησιμοποιούν. Η περίπτωση είναι ανάλογη με αυτήν ενός ακριβού αυτοκινητόδρομου, η κατασκευή του οποίου είναι βιώσιμη από απόψεως κόστους, σε αντίθεση με την περίπτωση ενός δρόμου, προς ένα απομονωμένο σπίτι, όπου πολλές φορές, μόνο ένας χωματόδρομος είναι οικονομικά εφικτός. Σήμερα εκτιμάται ότι η εγκατάσταση μιάς οπτικής ίνας, είναι οικονομικά συμφέρουσα λύση, αν μεταφέρει,

τουλάχιστον, το ισοδύναμο 100 τηλεφωνικών καναλιών^[2]. Επομένως, αν η μόνη προσφερόμενη υπηρεσία είναι η τηλεφωνία, οι προοπτικές περιορίζονται και η εισαγωγή εξελιγμένων τεχνολογιών στον τοπικό βρόχο, καθίσταται εξαιρετικά ασύμφορη. Η λύση έρχεται με την, ολοένα και αυξανόμενη, ζήτηση υπηρεσιών μεγάλου εύρους ζώνης, από οικιακούς συνδρομητές, όπως είναι ο υπηρεσίες πολυμέσων, που περιλαμβάνουν βίντεο. Για παράδειγμα, η υπηρεσία τηλε-εργασίας (teleworking), είναι δυνατόν να αποφέρει αρκετά έσοδα, αφού το κατά πολύ υψηλότερο κόστος επικοινωνίας, σε σχέση με την τηλεφωνία, μπορεί να αντισταθμιστεί από την οικονομία στα έξοδα μετακίνησης του συνδρομητή. Επίσης, θα ήταν πολύ χρήσιμο, εάν κάποιος, πριν κάνει μία κράτηση για τις διακοπές του, είχε την δυνατότητα να δει, για παράδειγμα, σε ένα πεντάλεπτο βίντεο, τα αξιοθέατα και το ξενοδοχείο, αντί απλώς να ρίξει μία ματιά, στις λιγοστές φωτογραφίες ενός διαφημιστικού φυλλαδίου.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι, οι υπηρεσίες ευρείας ζώνης, θεωρητικά τουλάχιστον, μπορούν να γείρουν την πλάστα για υπέρ της εισαγωγής εξελιγμένων τεχνολογιών στον συνδρομητικό βρόχο. Επίσης, εκτιμάται ότι, ως συνήθως η μαζική εισαγωγή των νέων τεχνολογιών, θα οδηγήσει σε σταδιακή μείωση του κόστους, λόγω αύξησης της παραγωγής.

Οι πού σημαντικές τεχνολογίες για χρήση πρόσβασης στον συνδρομητικό βρόχο, είναι οι ακόλουθες:

1) Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON). Αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη τεχνική γιατί επιτυγχάνει ικανοποιητικό μερισμό των δικτυακών πόρων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αφορά την καλωδίωση και τις σχετικές εργασίες εσκαφών.

2) Τεχνολογία Υβριδικού συστήματος Ινας- Ομοαξονικού (Hybrid Fiber Co-axial, HFC). Εγκαταλείπεται το εγκατεστημένο σύστημα της καλωδιακής τηλεόρασης (CATV) και γενικά, είναι πιο πρόσφορο λόγω της μεγαλύτερης χωρητικότητας των ομοαξονικών καλω-

των
Γεώργιου Θ.
Καρέτσου,
Δρ. Ηλεκτρολόγου
Μηχ/κού ΕΜΠ,
Ιωάννη Δ.
Αγγελόπουλου,
Δρ. Ηλεκτρολόγου
Μηχ/κού ΕΜΠ,
καθ. ΤΕΙ Πειραιά,
Χρήστου Κ.
Κοσσίδα,
Ηλεκτρολόγου
Μηχ/κού ΕΜΠ,
Εμμανουήλ Ν.
Πρωτονοτάριου,
καθηγητή ΕΜΠ

Τεχνολογία	Αριθμός Ζευγών	Ταχύτητα	Μέγιστη Απόσταση *	Εφαρμογές
ADSL/R-ADSL	1	8 Mbps downstream 1.5 Mbps upstream	3 Km	Internet/intranet access, VoD, Remote LAN access, VPNs, VoIP
		1.5 Mbps downstream 0.6 Mbps upstream	5.4 Km	
ADSL Lite	1	1 Mbps downstream 384 Kbps upstream	6.6 - 7.5 Km	Internet/intranet access, VoD, IP & video telephony
	2	1.5 Mbps full duplex (T1)	3.5 - 4.5 Km	
HDSL	3	2 Mbps full duplex (E1)		3.5 - 4.5 Km
	1	1.5 Mbps full duplex (T1) 2 Mbps full duplex (E1)	3 Km	
SDSL	1	1.5 Mbps full duplex (T1) 2 Mbps full duplex (E1)		3 Km
VDSL	1	13 - 52 Mbps downstream 1.5 - 2.3 Mbps upstream	0.3 - 1.4 km	Multimedia Internet access, HDTV program delivery

* 24 AWG (American Wire Gauge)

Πίνακας 1: Συγκριτικός πίνακας των xDSL τεχνολογιών.

διων, σε σχέση με την δισύρματη πρόσβαση.

3) Οι τεχνικές Ψηφιακού Συνδρομητικού Βρόχου (Digital Subscriber Loop - DSL), επιτρέπουν την μετάδοση με ρυθμό μερικών Mb/s για λίγα km, με ρυθμό λανθασμένων bit (BER) $10E-7$ ή μικρότερο.

4) Τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης (Broadband Wi-reless Access, BWA). Τέτοια συστήματα είναι τα MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services), LMDS (Local Multipoint Distribution Services) ή MVDS (Microwave Video Distribution Systems). Οι τεχνολογίες αυτές, παρουσιάζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της εύκολης και γρήγορης εγκατάστασης, σε σχέση με τις προηγούμενες αναφερθείσες τεχνικές. Οι τεχνολογίες αυτές αναλύονται στις επόμενες ενότητες διεξοδικά.

Τεχνολογίες πρόσβασης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εισαγωγή των υπηρεσιών βίντεο στους οικιακούς συνδρομητές και η ένταξή τους στο επαγγελματικό περιβάλλον ευρείας ζώνης, απαιτεί μία σημαντική αύξηση του εύρους ζώνης του τοπικού βρόχου. Ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών και συστημάτων, έχει ήδη διερευνηθεί, προσφέροντας διαφορετικές επιλογές, όσον αφορά τη σχέση κόστους-δυνατοτήτων. Στην συνέχεια, θα παρουσιαστούν οι πιο σημαντικές επιλογές δικτύου πρόσβασης, οι οποίες συγκεντρώνουν τις καλύτερες προοπτικές καθιέρωσης. Θα αναφερθούν πρώτα στις πρόσφατες τεχνολογίες αύξησης του εύρους ζώνης, του ήδη εγκατεστημένου χαλκού.

Τα συστήματα πρόσβασης xDSL.

Σε μία προσπάθεια παράτασης της ζωής των απλών δισύρματων γραμμών, δεδομένης της τεράστιας εγκατεστημένης βάσης τέτοιων γραμμών, αναπτύσσονται νέες τεχνικές που εκμεταλλεύονται τα προτερήματα της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Οι τεχνικές Ψηφιακού Συνδρομητικού Βρόχου (Digital Subscriber Loop - DSL), επιτρέπουν τη μετάδοση με ρυθμό μερικών Mb/s για λίγα km, με ρυθμό λανθασμένων bit (BER) $10E-7$ ή μικρότερο. Ειδικότερα, η υψηλής ταχύτητας DSL (High speed DSL - HDSL) (HDSL), υποστηρίζει μεταφορά δεδομένων διπλής κατεύθυνσης με ρυθμούς 1.5 - 2 Mb/s πάνω από 2 ή 3 δισύρματες γραμμές και προορίζεται για αντικατάσταση των γραμμών T1/E1 και των αναμεταδοτών τους, στο μέρος διανομής. Η ασύμμετρη γραμμή DSL (Asymmetric DSL - ADSL), προορίζεται για τοπικούς βρόχους οικιακών συνδρομητών. Προσφέρει ασύμμετρη χωρητικότητα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των υπηρεσιών των οικιακών χρηστών. Συγκεκριμένα, το εύρος ζώνης είναι μεγαλύτερο στην κατεύθυνση προς τους χρήστες (1.5 - 6 Mb/s) και μικρότερο στην κατεύθυνση προς το δίκτυο (16 - 640 Kb/s). Η παραπάνω κατανομή εύρους, ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών βίντεο με αλληλεπίδραση του χρήστη (interactive video), στις οποίες η κίνηση βίντεο μεταφέρεται προς τους χρήστες, ενώ η άλλη κατεύθυνση χρησιμοποιείται μόνο για πληροφορίες ελέγχου (π.χ αλλαγή καναλιού). Τέλος, υπάρχει και τρίτη λύση, που ονομάζεται πολύ υψηλής

ταχύτητας DSL (VHDSL), η οποία προσφέρει ρυθμούς μεγαλύτερους από 10Mb/s για αποστάσεις ως 1 km.

Οι δισύρματες γραμμές είναι ένα άστατο μέσο μετάδοσης με ασταθή χαρακτηριστικά. Το πιο σοβαρό πρόβλημα είναι η διαφωνία μεταξύ ζευγών του ίδιου περιβλήματος ή μεταξύ κοντανών ζευγών. Επίσης, η εξαρτώμενη από την συχνότητα απόσβεση και διασπορά, προκαλεί διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference). Οι αλλαγές διατομής, συχνά, προκαλούν ανακλάσεις και παραμορφώσεις. Επιπρόσθετα, οι βρόχοι χαλκού υποφέρουν από κρουστικό θόρυβο. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, υιοθετούνται τεχνικές εκπομπής υψηλής προσαρμοστικότητας. Τα συστήματα ADSL χρησιμοποιούν διακριτούς πολλαπλούς τόνους (Discrete Multi-Tone) [διαθέτουν έναν αριθμό τόνων, καθένας από τους οποίους διαμορφώνεται σε ένα διαφορετικό φέρον με διαμόρφωση QAM (Quadrature Amplitude Modulation)]. Τα φέροντα είναι πολλαπλάσια του 4.3125 KHz και δημιουργούν ένα φάσμα από 20KHz ως 1.104 MHz. Διαφορετικοί και λιγότεροι τόνοι χρησιμοποιούνται στην κατεύθυνση προς το δίκτυο. Είναι δυνατή η χρήση τόνων στις δύο κατευθύνσεις, αλλά σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να γίνεται παρεμπόδιση της ηχούς.

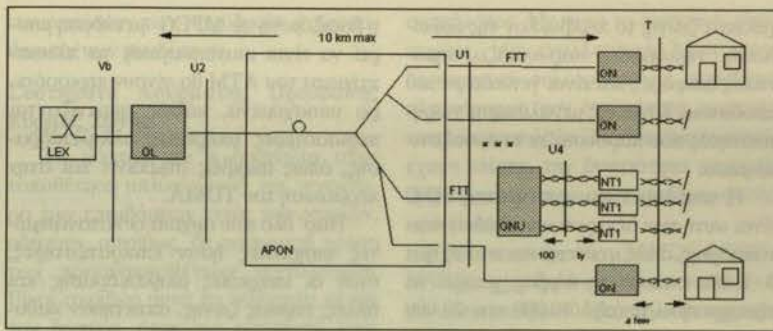
Ο ρυθμός λανθασμένων bit που πετυχαίνεται με την τεχνική ADSL βελτιώνεται περισσότερο με τεχνικές FEC (Forward Error Correction) που συνήθως βασίζονται σε κώδικες Reed-Solomon. Η κωδικοποίηση Trellis μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για βελτίωση του BER και ελάττωση του λόγου σήματος προς θόρυβο.

Ο παρακάτω πίνακας, αναφέρεται σε μία συγκριτική παρουσίαση των xDSL τεχνολογιών.

Παρατηρούμε ότι με την τεχνολογία VDSL, επιτυγχάνονται υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης, αλλά για μικρότερες αποστάσεις.

Το Σύστημα Πρόσβασης Παθητικού Οπτικού Δικτύου (Passive Optical Network, PON).

Η ευαισθησία του τοπικού βρόχου είναι τόσο, ώστε η εξέλιξη πρέπει να επέλθει με προσεκτικά, οικονομικά συμπερόντα και κερδοφόρα βήματα. Τα



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική αναφοράς PON / Διυρίσματος Γραμμής.

PONs μπορούν να περιορίσουν το κόστος σχεδόν στο μισό, συγκριτικά με έναν αστέρα με αποκλειστική αφιέρωση των οπτικών ινών^[3]. Αυτό μπορεί αρχικά να γίνει στην περίπτωση του FTTC (Fiber to the Curb), διατηρώντας τον χαλκό από το πεζοδρόμιο ως τα σπίτια, για οικονομικούς λόγους. Μία βραχυπρόθεσμη δυνατότητα αναβάθμισης, στην περίπτωση όπου ένας πελάτης απαιτήσει περισσότερο εύρος ζώνης, είναι η υιοθέτηση του ADSL από το πεζοδρόμιο μέχρι τον πελάτη. Σε αποστάσεις μέχρι 200 περίπου μέτρα, το ADSL μπορεί να καλύψει τις βραχυπρόθεσμες απαιτήσεις των πελατών. Σε ένα επόμενο βήμα, θα μπορούσε κανείς να προχωρήσει στην αντικατάσταση της Οπτικής Μονάδας Δικτύου (Optical Network Unit - ONU) στο πεζοδρόμιο με διαχωριστή και την τοποθέτηση οπτικής ίνας ως τα σπίτια, φτάνοντας έτσι στην περίπτωση FTTH (Fiber to the home).

Η κύρια αποστολή των PONs είναι να φέρουν το κόστος ανά Mb/s για τον οικιακό χρήστη, στα ίδια επίπεδα με αυτό που ισχύει για τις μεγάλες επιχειρήσεις. Η εκμετάλλευση της συγκέντρωσης της επικοινωνιακής κίνησης και το κέρδος πολυπλεξίας, μπορούν να οδηγήσουν στην επίτευξη του στόχου. Οι μεγάλες επιχειρήσεις πραγματοποιούν συγκέντρωση κίνησης δια μέσου των ιδιωτικών τους δικτύων. Τέτοια δίκτυα δεν μπορεί να εγκατασταθούν στην περίπτωση οικιακών, λόγω έλλειψης οργανωτικής μονάδας και τεχνικής εμπειρίας αλλά και λόγω της μικρής τοπικής κίνησης. Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση της κίνησης των οικιακών συνδρομητών, αποτελεί καθήκον του τηλεπικοινωνιακού οργανισμού και το PON είναι ένας καλός τρόπος να επιτευχθεί αυτός ο στόχος. Το

κέρδος πολυπλεξίας είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα και όπως έχει δείχθει, ο μόνος προφανής τρόπος επίτευξής του, είναι όταν ο μέγιστος ρυθμός των συνδέσεων που πρόκειται να πολυπλεχθούν, αποτελεί ένα μικρό ποσοστό (5%) του συνολικού εύρους ζώνης της γραμμής. Αυτό έρχεται σε ευτυχή συμφωνία με την κατάσταση της κίνησης στα PON, όπου μεγάλος αριθμός συνεισφορών μικρής κίνησης, συγκλίνει στον κοινό τροφοδότη της οπτικής ίνας. Έτσι, τα βασικά στοιχεία τα οποία μειώνουν το κόστος και κάνουν ελκυστικό το B-ISDN, είναι διαθέσιμα.

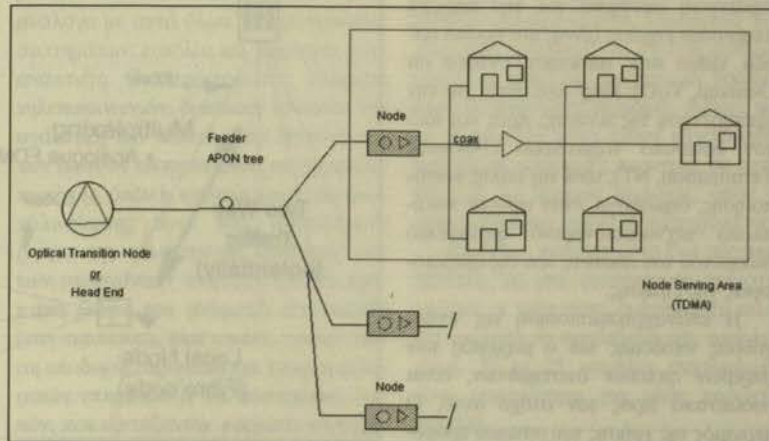
Υπάρχει όμως ένα ακόμα σοβαρό εμπόδιο στο δρόμο για την επιτυχή πολυπλεξία στα APONs και αυτό είναι η διακίμανση της καθυστέρησης πακέτου, ευρύτερα γνωστή ως CDV (Cell Delay Variation). Η στρατηγική ελέγχου και αποτροπής καταστάσεων συμφόρησης του ATM, βασίζεται στην λειτουργία αστυνόμευσης, στην οποία ελέγχεται εάν η σύνδεση του χρήστη βρίσκεται σε συμ-

φωνία με τις παραμέτρους κίνησης που δήλωσε ο χρήστης κατά την εγκατάσταση της κλήσης του^[4]. Όταν αστυνόμευεται ο μέγιστος ρυθμός της σύνδεσης, οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται, δεν μπορούν να ξεχωρίσουν ποιές παραβιάσεις προέρχονται από τον χρήστη και ποιές οφείλονται στην πολυπλεξία. Λόγω της κατανεμημένης τους φύσης, η πολυπλεξία στα PON γίνεται χωρίς πραγματική επίγνωση της ακολουθίας αφίξεων των πακέτων, με αποτέλεσμα να εισάγεται υπερβολικό CDV. Για την αποφυγή άδικων απορρίψεων στη συσκευή αστυνόμευσης, πρέπει να υπάρχει μεγάλη ανοχή, που αναγκαστικά οδηγεί σε χαμηλή αξιοποίηση του συστήματος^[5].

Δεδομένης της σπουδαιότητας που έχει για τον τοπικό βρόχο το κόστος, το πρωτόκολλο διατήσις της πρόσβασης στο κοινό μέσο (Medium Access Control - MAC) στην κατεύθυνση από τους χρήστες προς το δίκτυο, είναι ιδιαίτερα μεγάλο και ο σχεδιασμός του απαιτεί πολύ προσοχή. Το MAC πρέπει να εγγυάται πολυπλεξία με μικρό CDV, ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη διέλευση της κίνησης από τις συσκευές αστυνόμευσης, χωρίς να απαιτείται η εισαγωγή πολυπλοκών συσκευών εξομάλυνσης της κίνησης (αποστασιοδότες πακέτων), οι οποίες αυξάνουν το κόστος.

Συνοψίζοντας, οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να δρουν, σε συνέργεια, για να επιτευχθεί ολοκληρωτική εγκατάσταση οπτικών ινών στον τοπικό βρόχο:

- Οικονομία κλίμακας, δηλ. η καθο-



Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική αναφοράς PON / Ομοαξονικού καλωδίου.

λική χρήση της οπτικής ίνας που θα οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής μέχρι το σημείο εκείνο που θα επιτρέψει την σημαντική μείωση του κόστους.

- Οικονομία εφαρμογών, δηλ. η ευρείας κλίμακας εισαγωγή μίας ή δύο υπηρεσιών ευρείας ζώνης (Video on Demand - VoD), η οποία ωθεί τους συνδρομητές να ξοδεύουν περισσότερο εύρος ζώνης αλλά σε χαμηλότερη τιμή ανά μονάδα εύρους ζώνης, σε σχέση με την σημερινή τηλεφωνία.

- Η πτώση του κόστους από κοινό-χρηστη πρόσβαση με πιθανή επαναχρησιμοποίηση τμήματος της υπάρχουσας υποδομής χαλκού.

Η τεχνολογία πρόσβασης HFC.

Η υβριδική τεχνολογία HFC (Hybrid Fiber/Coaxial), στην οποία γίνεται χρήση οπτικών ινών μέχρι κάποιο σημείο διανομής και κατόπιν χρήση της ομοαξονικής καλωδίωσης με τοπολογία bus για την διασύνδεση των χρηστών, αποτελεί μετεξέλιξη της τεχνολογίας CATV (Cable TV). Στα πλεονεκτήματα της HFC τεχνολογίας, συμπεριλαμβάνονται η αύξηση της ακτίνας κάλυψης από τον κεντρικό κόμβο (μέχρι και 100 Km), η πολύ καλύτερη ποιότητα του σήματος, αφού δεν απαιτούνται πλέον διαδοχικές ενισχύσεις και φυσικά το μεγαλύτερο εύρος ζώνης⁶¹.

Η τεχνολογία HFC δεν είναι αποκλειστικά φωτονική αλλά αποτελεί ένα καλό εξελεκτικό στάδιο σε περιοχές με παρουσία καλωδιακής τηλεόρασης. Η διαθεσιμότητα των CATV συστημάτων με την εκτεταμένη εγκατεστημένη βάση από ομοαξονικά καλώδια, αποτελεί μία σημαντική αφετηρία για την παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης και πρώτα απ' όλα video κατ' απαίτηση (Video on Demand, VoD). Παρ' όλα αυτά, για την εξυπηρέτηση της κίνησης, προς και από τον δικτυακό τερματισμό (Network Termination, NT), αντί της ατλής κοινοποίησης, δημιουργεί έναν αρκετά πολύπλοκο τεχνο-οικονομικό συνδυασμό δεδομένου του κόστους και της αβεβαιότητας της ζήτησης.

Η επαναχρησιμοποίηση της υπάρχουσας υποδομής και ο μερισμός των ακριβών οπτικών συστημάτων, είναι ουσιαστικά προς τον στόχο αυτό. Ο μερισμός της χρήσης του οπτικού τροφοδότη, οδηγεί σε ένα υβριδικό σύστημα ίνας - ομοαξονικού. Σε σύγκριση με τα

χάλκινα ζεύγη, το περιβάλλον της καλωδιακής τηλεόρασης παρουσιάζει σημαντικές διαφορές και είναι γενικότερα πιο αποδοτικό, λόγω της μεγαλύτερης χωρητικότητας που παρουσιάζει το ομοαξονικό μέσο.

Η τοπολογία των συστημάτων HFC είναι αυτή των δέντρων και κλάδων κοινοποίησης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3. Κάθε επικεφαλής κόμβος, μπορεί να εξυπηρετήσει μεταξύ 10.000 και 20.000 συνδρομητών, στον ίδιο κλάδο. Η παροχή ενός καναλιού επιστροφής, της τάξεως των 64 Kbits/s σε κάθε σπίτι, θα απαιτούσε χωρητικότητα καναλιού, της τάξης των Gbits/s. Είναι φανερό ότι απαιτείται μείωση της περιοχής εξυπηρέτησης κάθε κόμβου. Στα περισσότερα εμπορικά HFC συστήματα, κάθε κόμβος εξυπηρετεί περίπου 500 κατοικίες, αλλά αριθμοί μικρότεροι από 100, μπορεί να χρειαστούν ως απαίτηση για αύξηση της ανοδικής κίνησης, με την διάδοση των υπηρεσιών ευρείας ζώνης. Για την διαμόρφωση της HFC αρχιτεκτονικής, προβλέπεται μία οπτική ίνα, για την σύνδεση κάθε κόμβου. Στο σχήμα 3, παρατίθεται η τυπική διάρθρωση ενός συστήματος HFC.

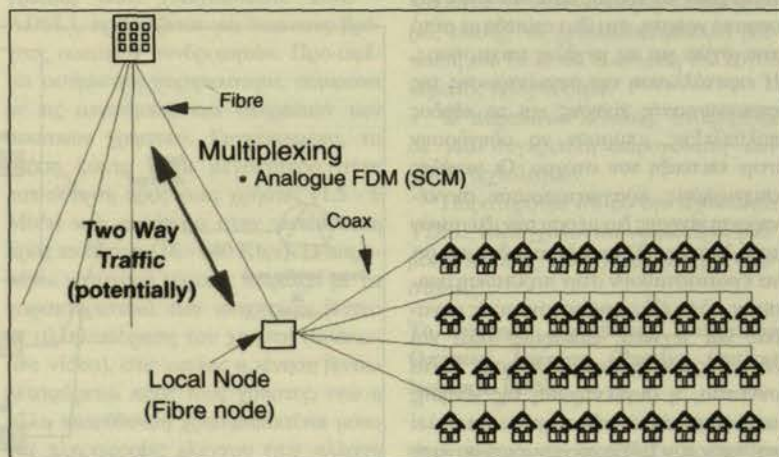
Η εκρηκτική φύση των νέων υπηρεσιών ευρείας ζώνης, σε συνδυασμό με το αυστηρό κόστος καθεστώ του δικτύου πρόσβασης κατοικίας, κάνουν την επιλογή του TDMA αρκετά κατάλληλη. Επιπρόσθετα, η βασισμένη σε ATM μετάδοση, προσφέρει δυνατότητες δρομολόγησης και μακροπρόθεσμη συμβατότητα με το B-ISDN δημόσιο δίκτυο. Για τον λόγο αυτό, παρά το γεγονός ότι

η βασισμένη σε MPEG μετάδοση μπορεί να είναι ικανοποιητική, τα πλεονεκτήματα του ATM θα γίνουν περισσότερο υποσχόμενα, καθώς εμφανίζονται περισσότερες υπηρεσίες αλληλεπίδρασης, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση του TDMA.

Παρ' όλο που αρχικά οι κατανεμημένες υπηρεσίες ήταν επικρατέστερες, όταν οι υπηρεσίες αλληλεπίδρασης και άλλες, ευρείας ζώνης, απέκτησαν καθοριστικό ρόλο, τα ίδια ζητήματα που διερευνήθηκαν στην ATM κίνηση, θα γίνουν εξ ίσου σημαντικά και για τα CATV συστήματα, στην προσπάθεια να καταστούν πλατφόρμες πρόσβασης για το B-ISDN.

Θα πρέπει να ενσωματώσουν από την αρχή στην πορεία αλλαγής, τις απαιτούμενες προοπτικές, για να συγκλίνουν σε κατάλληλες λύσεις. Η εμπειρία και τα συμπεράσματα από την έρευνα της ATM κίνησης, δεν μπορούν να αγνοηθούν σε ένα τέτοιο σύστημα πρόσβασης, ακόμη και αν αρχικά προτιμήθηκε η πιο πολύπλοκη παραδοσιακή πολυπλεξία. Η έμφαση στις δυνατές τεχνολογίες και στις προοπτικές της αγοράς, αποτελούν τα κύρια θέματα της φάσης εισαγωγής και οι αποτελεσματικές λύσεις είναι ακόμη πολυτέλεια, καθώς η CBR κίνηση επικρατεί.

Εξαιτίας της μικρής ακόμη ανοδικής κίνησης και της αδράνειας, οι παλαιότερες προσεγγίσεις, θα είναι πιο συνήθεις για κάποιο διάστημα και θα παίζουν πάντα σημαντικό ρόλο. Εν τούτοις, για αποτελεσματικότητα, πολύ σύντομα θα απαιτηθεί, οι συνδέσεις μεταγωγής να



Σχήμα 3: Διάρθρωση ενός συστήματος πρόσβασης HFC.

επακρατήσουν των παροδικών ή προκαθορισμένων συνδέσεων.

Συστήματα Ασύρματης Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης.

Το κόστος και η δυσκολία στην τοποθέτησή οπτικών ινών και γενικότερα των επεμβάσεων εντός των κτιρίων, οδηγούν, συνήθως, σε ασύμφορη χρήση των προαναφερθέντων τεχνολογιών. Είναι ακριβώς αυτά τα τελευταία μέτρα του δικτύου, όπου μία ασύρματη πρόσβαση χαμηλού κόστους και υψηλής χωρητικότητας θα είναι ελκυστική για τους μελλοντικούς χρήστες ευρείας ζώνης, εφόσον το κόστος μπορεί να διατηρηθεί χαμηλά. Σήμερα, τα διαθέσιμα κυψελωτά δίκτυα, δεν έχουν επαρκές εύρος ζώνης για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών και είναι προσανατολισμένα, κυρίως, στην υποστήριξη υψηλού αριθμού χρηστών, με ευρεία και συνήθως γρήγορη κινητικότητα και μέτριες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, σε αντίθεση με τους εντοπισμένους χρήστες, που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, για αμφίδρομη τηλεόραση και υπηρεσίες ευρείας ζώνης.

Οι εκπομπείς ραδιοηλεκτρικού περιεχομένου με τη σειρά τους και ιδίως, ο τομέας της καλωδιακής τηλεόρασης και των συνδρομητικών υπηρεσιών, έχουν κάνει κάποιες κινήσεις, τα τελευταία χρόνια, για την διανομή ασύρματης κυψελωτής τηλεόρασης, μέσω των συστημάτων MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services), LMDS (Local Multipoint Distribution Services) ή MVDS (Mi-crowave Video Distribution Systems). Η προσπάθεια αυτή, ξεκίνησε με την παροχή τηλεοπτικών εκπομπών, μέσω αναλογικών μεθόδων διαμόρφωσης, συνήθως στην περιοχή των 2.5 GHz, ενώ πρόσφατες έρευνες γίνονται σε υψηλότερες συχνότητες (5 GHz, 27 GHz, 40 GHz).

Τα συστήματα αυτά, είτε λέγονται MMDS είτε LMDS είτε MVDS, είναι ευρύτερα γνωστά με το οξύμωρο "wireless cable", και είναι ουσιαστικά μία εναλλακτική ασύρματη λύση στην διανομή καλωδιακής τηλεόρασης. Μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε αγροτικές περιοχές, διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναμετάδοση αρκετών τηλεοπτικών καναλιών, σε περιοχές που δεν υπάρχει ούτε τοπική εκπομπή ούτε ικανοποιητική πληθυσμιακή πυκνότητα, για την υποστήριξη ενός καλωδιακού

συστήματος. Με αυτό το σκεπτικό, είναι κυρίως, μία εναλλακτική λύση στην δορυφορική τηλεόραση, με πρόσθετο πλεονέκτημα, την δυνατότητα παροχής τοπικών καναλιών. Τα συστήματα αυτά, έχουν επίσης, την δυνατότητα παροχής αμφίδρομων υπηρεσιών συνδρομητικής πρόσβασης.

Τα συστήματα MMDS-LMDS-MVDS, χρησιμεύουν ουσιαστικά, για την κυψελωτή μετάδοση τηλεόρασης και υπηρεσιών ευρείας ζώνης και μπορούν να παρέχουν τον ίδιο αριθμό καναλιών, με τα συστήματα καλωδιακής τηλεόρασης, με σημαντικό χαμηλότερο κόστος ανάπτυξης, γιατί δεν υπάρχει σε κάθε νοικοκυριό ανάγκη κατασκευής δικτύου με κόμβους τοπικής πρόσβασης.

Η αρχή έγινε στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communications Commission, FCC), παραχώρησε εύρος ζώνης στην περιοχή 2.150 - 2.682 GHz για τις νέες ασύρματες συνδρομητικές υπηρεσίες. Δέκα τρία τηλεοπτικά κανάλια παραχωρήθηκαν προς χρήση από τους αδειούχους. Πρόσθετο φάσμα για την παροχή άλλων 20 τηλεοπτικών καναλιών, που είχε κρατηθεί αρχικά για εκπαιδευτική τηλεόραση, έγινε διαθέσιμο στους παροχείς MMDS, με αποτέλεσμα την προσφορά 33 καναλιών συνολικά. Η FCC έχει δεσμεύσει από τότε κάποιο γειτονικό εύρος ζώνης, για "κανάλια επιστροφής", προκειμένου να εξυπηρετηθούν μελλοντικές υπηρεσίες αλληλοδραστικής μορφής.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων MMDS-LMDS-MVDS, είναι ανάλογα με αυτά όλων των ασύρματων συστημάτων: ευκολία και ταχύτητα στην ανάπτυξη. Οι περιφερειακές εταιρείες τηλεπικοινωνιών, βρίσκουν δύσκολη την ανάπτυξη των καλωδιακών δικτύων και των δικτύων οπτικών ινών, σε ορισμένες περιοχές, όπου η εγκατάσταση υπόγειας καλωδίωσης είναι είτε ανεπιθύμητη (λόγω της υφιστάμενης υποδομής και των υπαρχόντων κτιρίων) είτε μη πρακτική (λόγω του εδάφους) είτε ακριβή (εάν απαιτείται εκτεταμένη εγκατάσταση υποδομής, πριν από την έναρξη εμπορικών υπηρεσιών). Τα συστήματα, λοιπόν, που εξετάζονται, μπορούν να παρέχουν παρόμοιο συνδρομητικό εύρος ζώνης και αμφίδρομη επικοινωνία, χωρίς

την ανάγκη να σκαφτούν δρόμοι και αulές.

Αρκετοί κατασκευαστές, παρέχουν κεραιές, ενισχυτές και αποκωδικοποιητές-δέκτες, για τηλεοπτική λήψη. Επειδή το σήμα εκπέμπεται στον αέρα, δεν υπάρχει ο κίνδυνος βλάβης που παρατηρείται συχνά στα καλωδιακά συστήματα. Εντούτοις, ο εξοπλισμός στη λήψη είναι κάπως πιο πολύπλοκος από αυτόν για τα παραδοσιακά καλωδιακά συστήματα. Ένας σημαντικός περιορισμός των συστημάτων MMDS-LMDS-MVDS είναι ότι, πρόκειται στην ουσία, για συστήματα που απαιτούν οπτική επαφή μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψης. Στις αγροτικές περιοχές, η παρουσία βλάστησης, λόφων και άλλων εμποδίων, μπορεί να εμποδίσει τη λήψη του σήματος. Επιπλέον, το σήμα που εκπέμπεται, βρίσκεται σε μία περιοχή συχνοτήτων όπου παρατηρείται σημαντική εξασθένηση, λόγω βροχής. Υπάρχει, επίσης, κάποιος κίνδυνος παρεμβολών από φούρνους μικροκυμάτων, που λειτουργούν στην περιοχή των 2450 MHz.

Παρ' όσα το MMDS έχει μια διάχροια ζωής περί τα 15 χρόνια, οι αλλαγές στους κανονισμούς της FCC το 1990, επέτρεψαν, σε μεμονωμένους παροχείς τηλεοπτικών υπηρεσιών, να πάρουν άδεια για μεγαλύτερους αριθμούς καναλιών και να τα εκπέμπουν μέσα από το ίδιο σύστημα, γεγονός που έκανε το MMDS περισσότερο ανταγωνιστικό από οικονομικής άποψης. Ένας απρόβλεπτα μεγάλος αριθμός τηλεοπτικών παροχέων, κατέληξε σε 24.000 αιτήσεις για άδεια στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στο τέλος του 1995, περίπου 170 συστήματα MMDS βρίσκονταν σε λειτουργία και παρείχαν υπηρεσίες σε 700.000 συνδρομητές, οι μισοί εκ των οποίων βρίσκονταν σε αγροτικές περιοχές. Άδειες για τα συστήματα αυτά έχουν κατανεμηθεί ευρέως σε αγροτικές περιοχές, σε αντίθεση με τις αστικές περιοχές, όπου οι άδειες είναι πιο πυκνά συγκεντρωμένες.

Συνήθως, υπάρχει μόνο ένα σύστημα MMDS, σε μια γεωγραφική περιοχή, εφόσον οι τρέχουσες οικονομικές μελέτες φράνεται να προτείνουν ότι, τουλάχιστον, 20 με 25 κανάλια συχνοτήτων, είναι απαραίτητα για κάθε παροχέα MMDS.

Έτσι, παρ' όσα ένα σύνολο 33 καναλιών μπορεί να είναι διαθέσιμο σε μία

περιοχή, αυτό δεν είναι εντελώς απαραίτητο για την υποστήριξη περισσότερων του ενός παροχέων MMDS (ειδικά εφόσον κάποια κανάλια μπορεί να είναι ήδη σε χρήση από ειδικούς πελάτες). Αυτό δεν θα είναι, ενδεχομένως, σημαντικό ζήτημα για τις αγροτικές περιοχές, όπου το σοβαρό ερώτημα είναι αν υπάρχει αρκετή ζήτηση πελατών για την υποστήριξη έστω και ενός παροχέα MMDS. Δεν είναι ακόμη γνωστό, με ποιόν τρόπο ο αυξανόμενος αριθμός των καναλιών, που γίνονται διαθέσιμα χάρη στις τεχνικές ψηφιακής συμπίεσης, θα επηρεάσει τα οικονομικά των αρχιτεκτονικών ελαχίστου μεγέθους.

Όπως και στην βιομηχανία της καλωδιακής τηλεόρασης, η βιομηχανία των συστημάτων MMDS-LMDS-MVDS πειραματίζεται με τεχνικές ψηφιακής συμπίεσης. Για παράδειγμα, ένα πειραματικό σύστημα, μπορεί να βάλει 10 τηλεοπτικά κανάλια σε εύρος ζώνης 6 MHz. Άλλα συστήματα παρέχουν συμπίεση 4:1. Η προοπτική εκπομπής 200-300 τηλεοπτικών καναλιών από το ίδιο σύστημα, αλλάζει τελείως τα οικονομικά μεγέθη στην παροχή τέτοιου είδους υπηρεσιών. Επιπλέον, τα κανάλια επιστροφής παραμένουν αχρησιμοποίητα επί μεγάλο χρόνο. Η χρήση καναλιών επιστροφής, μπορεί να επιτρέψει την εισαγωγή αμφίδρομων υπηρεσιών, όπως τηλεαγορές, βίντεο κατά παραγγελία, ακόμη και γενικές τηλεπικοινωνίες αμφίδρομης μορφής.

Η τεράστια αύξηση της χωρητικότητας που επιτρέπει η ψηφιακή συμπίεση, έχει προσελκύσει τεράστιο βιομηχανικό ενδιαφέρον. Επιπρόσθετα, ενώ είναι προφανές ότι η ψηφιακή συμπίεση θα αυξήσει τις ευκαιρίες για παροχή MMDS, θα αυξήσει επίσης τις ευκαιρίες για την ανάπτυξη της δορυφορικής και καλωδιακής τηλεόρασης. Κατά συνέπεια, τα υπο εξέταση συστήματα MMDS-LMDS-MVDS μπορεί να μην επιτύχουν κατ' ανάγκη αλλά το δυναμικό υπάρχει.

Τα συστήματα LMDS είναι ακόμα πιο πρόσφατα από τα MMDS για την παροχή ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης. Τα συστήματα LMDS με ακτίνες κάλυψης μικρότερες των 10 km, μπορούν να μεταδώσουν στις κατοικημένες περιοχές τηλεοπτικά κανάλια, βίντεο κατά παραγγελία, αμφίδρομα δεδομένα ψη-

λής ταχύτητας και τηλεφωνία. Η προτεινόμενη εκχώρηση φάσματος για το LMDS είναι μεταξύ 27.5 GHz και 28.35 GHz, με περισσότερο διαθέσιμο φάσμα στα 29.10-29.25 GHz, για περιοχές που διαθέτουν σταθερές δορυφορικές ζεύξεις στην περιοχή 27-30 GHz. Τα συστήματα LMDS μπορούν να προσφέρουν αμφίδρομες υπηρεσίες, σε αντίθεση με τα συστήματα MMDS και τα δορυφορικά συστήματα, που απαιτούν ενσύρματο κανάλι επιστροφής για την επιλογή προγραμμάτων τηλεθέασης και βίντεο κατά παραγγελία.

Στη Ευρώπη το LMDS λειτουργεί με διαφορετικό όνομα και σε διαφορετικές συχνότητες. Αυτή την εποχή βρίσκεται υπό εξέλιξη στη Μεγάλη Βρετανία το σύστημα MVDS (Microwave Video Distribution System) που έχει πάρει έγκριση για λειτουργία στην περιοχή 40.5-42.5 GHz.

Η δέσμευση φάσματος, σε συνεχώς υψηλότερες συχνότητες, παρουσιάζει μία τάση, που γίνεται οικεία τώρα τελευταία, λόγω των υψηλών επιπέδων συμφόρησης φάσματος. Αν και δεν έχουν καθοριστεί όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του, οι προδιαγραφές του MVDS, έχουν καθοριστεί από την Υπηρεσία Ραδιοεπικοινωνιών του Υπουργείου Εμπορίου της Μεγάλης Βρετανίας.

Η εκχώρηση για κάθε κανάλι, καθορίζεται σ' αυτές τις προδιαγραφές, στα 26 MHz, με διαχωρισμό καναλιών 29.5 MHz. Στα κανάλια αυτά παρεμβάλλονται κανάλια ορθογώνιας πόλωσης, από άλλες ομάδες καναλιών στα 14.75 MHz. Η συγκεκριμένη εκχώρηση καναλιών, παρέχει λοιπόν, την συντηραρχή δύο ομάδων καναλιών οριζόντιας πόλωσης και δύο ομάδων καναλιών κατακόρυφης πόλωσης, κάθε μία από τις οποίες, αποτελείται από 32 κανάλια.

Συμπεράσματα.

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι, υπάρχει σημαντικό οικονομικό συμφέρον των συστημάτων MMDS-LMDS-MVDS σε αραιοκατοικημένες ή μέτρια κατοικημένες περιοχές, ενώ η χρήση της ίνας, είναι ίσως, πιο συμφέρουσα στα αστικά κέντρα, λόγω των δυνατοτήτων μερισμού της ακριβής υποδομής.

Η εγκατάσταση καλωδιακής υποδομής, κοστίζει τέσσερις φορές περισσότερο από την αντίστοιχη εγκατάσταση ενός ασύρματου συστήματος διανομής.

Αν και θα υπάρξουν αναπόφευκτα αναρτήσεις, σχετικά με την λεπτομερή διαστασιολόγηση των συστημάτων, η αρχή είναι προφανής. Σχεδόν όλο το κόστος υλοποίησης του σταθερού καλωδιακού δικτύου, που πρέπει να υλοποιηθεί πριν από την έναρξη της υπηρεσίας, μετατοπίζεται στο κόστος εγκατάστασης στο σπίτι κάθε συνδρομητή χωριστά. Το πλεονέκτημα είναι ότι το τελευταίο κόστος εισέρχεται λίγες ημέρες πριν από την έναρξη λήψης της αντίστοιχης συνδρομής. Δημοσιεύεται έτσι, μία σημαντική βελτίωση στα οικονομικά κέρδη και τις απαιτήσεις χρηματοδότησης, ενός επίδοξου παροχέα υπηρεσιών ευρείας ζώνης.

Ανακεφαλαιώνοντας, πρέπει να τονισθεί ότι, η επιτυχής εισαγωγή υπηρεσιών ευρείας ζώνης, απαιτεί πολύ υψηλότερη χωρητικότητα από την σημερινή.

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των υποψηφίων τεχνολογιών, που θα αποτελέσουν την υποδομή για να φτάσουν οι υπηρεσίες ευρείας ζώνης στον οικιακό συνδρομητή. Από την μελέτη, προκύπτει ότι η χρήση είτε οπτικών ινών είτε ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης, είναι αναπόφευκτη για χρήση και στον τοπικό βρόχο, με κάποιο σχετικό πλεονέκτημα της δεύτερης τεχνολογίας.

Βιβλιογραφία

- [1] A.S. Tanenbaum, "Computer Networks", Prentice-Hall International, second edition, p 71.
- [2] Ikutaro Kobayashi, "The Dawn of Fiber-Optic Access Networks", IEEE Communication Magazine, guest editorial, Feb. 1994, Vol. 32 No.2 p 33.
- [3] W.Verbiest, G.Van der Plas, D.Mestdagh, "FITL and BISDN: A Marriage with a Future", IEEE Communications Mag., Vol 31, No. 6, June 1993.
- [4] ITU-T Rec. I.371, "Traffic Control and Congestion Control in BISDN," Geneva, June 1992.
- [5] P.E. Boyer, F.M. Guillemin, M.J. Serval, and J-P. Coudreuse, "Spacing Cells Protects and Enhances Utilization of ATM Network Links, IEEE Networks Magazine, Vol. 6, No 5, Sep. 1992.
- [6] A.Paff, "Hybrid Fiber/Coax in the Public Telecommunications Infrastructure", IEEE Communications Mag. Vol. 33, No.4, April 1995.