



University of Macedonia

Master in Information Systems

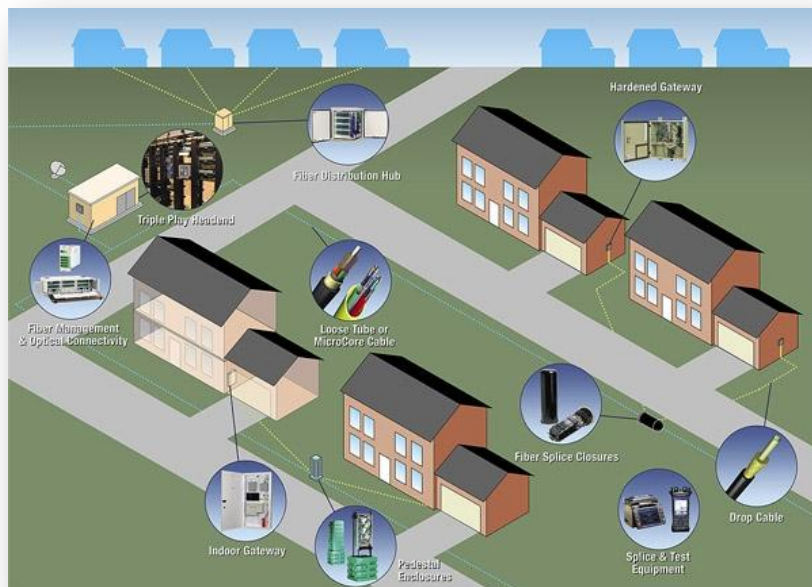
Techno-Economics and Strategies

for Informatics & Telecommunications

Professor: A. A. Economides

Techno-economic Valuation of FTTH.

A fast-growing network architecture.



Fotiadis Dimitrios M13/12

Thessaloniki, May 2013



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Τεχνο-Οικονομικά και Στρατηγικές

Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Τεχνο-οικονομική εκτίμηση της FTTH.

Μια ταχέως αναπτυσσόμενη αρχιτεκτονική δικτύου.



Φωτιάδης Δημήτριος M13/12

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2013

Περίληψη

Στην εποχή μας, η ζήτηση για πολύ γρήγορη μεταφορά δεδομένων έχει αυξηθεί με αποτέλεσμα οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών να αναρωτιούνται αν θα πρέπει να οδηγηθούμε σε οπτική ίνα μέχρι το σπίτι (FTTH). Η οπτική ίνα αφού κατέκτησε τον πυρήνα των δικτύων, τώρα διεισδύει και στον τομέα της πρόσβασης των δεδομένων. Στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια τεχνο-οικονομική ανάλυση που στηρίζεται στη μεθοδολογία και στα εργαλεία της ECOSYS.

Θα αναλύσουμε τις τρεις (3) αρχιτεκτονικές του δικτύου πρόσβασης μέσω οπτικής ίνας όπως είναι η σημείο προς σημείο, ενεργών αστέρων και παθητικών αστέρων, καθώς και τις μεθόδους πολυπλεξίας και πολλαπλής πρόσβασης.

Για να υπολογίσουμε το οικονομικό ρίσκο που σχετίζεται με την απόφαση για επένδυση σε μια πυκνή αστική ζώνη, χρησιμοποιούμε την ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών (DCF) και τη μεθοδολογία πραγματικών επιλογών (ROA).

Abstract

Nowadays, due to the increasing demand in data rates, telecom providers wonder if should upgrade to fiber-to-the-home (FTTH). After conquering the core networks, the fiber penetrates the access domain. On this paper, the techno-economical analysis based on ECOSYS tool and methodology.

We will analyze all three (3) fiber access network architectures , point-to-point, active star and passive star, as well as the multiple access and multiplex methods.

To estimate the economic risk associated with the decision to invest in a dense urban area, we have to use the discount cash flow (DCF) analysis and the real option analysis (ROA).

Abstract	3
Contents	4
Contents (Greek)	5
Introduction	6
1. Techno-economic Methodology and Tools	7
1.1 TONIC-ECOSYS	7
1.2 Crystal Ball Tool	8
1.3 Discounted Cash Flow Analysis	9
1.4 Real Options Methodology	10
2. Fiber Access Network Architecture	11
2.1 Point-to-Point Architecture	11
2.2 Active Star Architecture	12
2.3 Passive Star Architecture	13
3. Multiple- Access and Multiplexing Methods	14
3.1 Time-Division Multiple Access (TDMA).....	14
3.2 Wavelength-Division Multiple Access (WDMA).....	15
3.3 Subcarrier-Division Multiple Access (SDMA).....	16
3.4 Code-Division Multiple Access (CDMA).....	17
3.5 Multiplexing Methods for Downstream Data Transmission	18
Conclusions	20
References	21

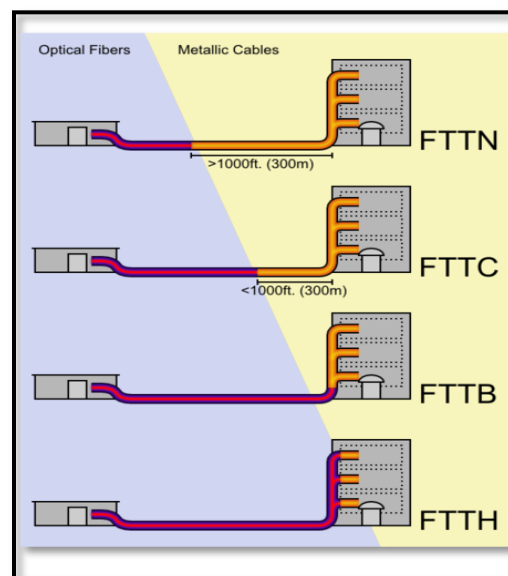
Περίληψη	3
Περιεχόμενα (Αγγλικά)	4
Περιεχόμενα	5
Εισαγωγή	6
1. Τεχνο-οικονομική μεθοδολογία και εργαλεία	7
1.1 TONIC-ECOSYS	7
1.2 Το Crystal Ball Εργαλείο.....	8
1.3 Ανάλυση Προεξοφλημένων Ταμειακών Ροών.....	9
1.4 Μεθοδολογία πραγματικών επιλογών	10
2. Αρχιτεκτονικές Δικτύων Πρόσβασης μέσω Οπτικής Ύψας.....	11
2.1 Από σημείο σε σημείο αρχιτεκτονική	11
2.2 Αρχιτεκτονική Ενεργών Αστέρων	12
2.3 Αρχιτεκτονική Παθητικών Αστέρων	13
3. Μέθοδοι πολυπλεξίας και πολλαπλής πρόσβασης	14
3.1 Διαχωρισμός Χρόνου για Πολλαπλή Πρόσβαση (TDMA).....	14
3.2 Διαχωρισμός Μήκους Κύματος για Πολλαπλή Πρόσβαση (WDMA).....	15
3.3 Διαχωρισμός Υποφορέα για Πολλαπλή Πρόσβαση (SCMA).....	16
3.4 Διαχωρισμός Κώδικα για Πολλαπλή Πρόσβαση (CDMA).....	17
3.5 Μέθοδοι Πολυπλεξίας για καθοδική Διαβίβαση Δεδομένων.....	18
Συμπεράσματα	20
Αναφορές	21

Εισαγωγή

Ο όρος FTTH (Fiber to the home) ανήκει στην οικογένεια της FTTx αρχιτεκτονικής δικτύου, που βασίζεται στην αντικατάσταση του τοπικού βρόγχου στο τελευταίο μίλι (last-mile) με δίκτυα οπτικών ινών. Πιο συγκεκριμένα, οι τέσσερις (4) τεχνολογίες της προαναφερθείσας οικογένειας είναι: α) FTTN (Fiber to the Neighborhood), β) FTTC (Fiber to the Curb), γ) FTTB (Fiber to the Building) και τέλος δ) FTTH (Fiber to the home) (da Silva, 2005).

Στην **FTTN**, πρώτη απ' τις τέσσερις (4) αυτές τεχνολογίες, γίνεται χρήση οπτικών ινών που τερματίζεται σε κόμβους αρκετά μίλια μακριά από τον τελικό χρήστη και στη συνέχεια έχουμε δίκτυα χάλκινων καλωδίων μέχρι τον επιθυμητό τερματικό εξοπλισμό. Για αυτόν το λόγο την FTTN την ονομάζουν αλλιώς και Fiber to the Node (Οπτική ίνα μέχρι τον κόμβο). Στην **FTTC** από την άλλη πλευρά, οι οπτικές ίνες θα φτάσουν μέχρι τον υπαίθριο καταναμητή (ΚΑΦΑΟ) της γειτονιάς (περίπου 300 μέτρα από το χρήστη). Από εκεί θα συνδεθούν με χάλκινα καλώδια υψηλού εύρους ζώνης (ενσύρματο Ethernet, IEEE std 1901) μέχρι το τερματικό του χρήστη (da Silva, 2005).

Στην τρίτη (3) τεχνολογία την **FTTB**, οι οπτικές ίνες θα φτάσουν μέχρι την είσοδο του κτιρίου/επιχείρηση και από εκεί ο κάθε χρήστης μεμονωμένα θα συνδεθεί με τεχνολογίες χάλκινων καλωδίων. Τέλος, στην **FTTH** το δίκτυο των οπτικών ινών θα φτάσει μέχρι το σπίτι του χρήστη παρέχοντας του 3G υπηρεσίες (Third Generation), υψηλού εύρους ζώνης και τεράστιες ταχύτητες στη μεταφορά δεδομένων (da Silva, 2005).



Σχήμα 1

1. Τεχνο-οικονομική μεθοδολογία και εργαλεία

1.1 TONIC-ECOSYS

Η τεχνο-οικονομική μεθοδολογία που υιοθετήθηκε για την ανάπτυξη της FTTH βασίστηκε στο εργαλείο TONIC που χρησιμοποιήθηκαν από τα ευρωπαϊκά έργα IST-TONIC και CELTIC-ECOSYS. Το συγκεκριμένο εργαλείο (TONIC) αφού εμπλουτίστηκε με το εργαλείο ECOSYS χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια σε διάφορες μελέτες πανεπιστημίων αλλά και Ευρωπαϊκών φορέων (Monath, Elnegaard, Cadro, Katsianis and Varoutas, 2003).

Το εργαλείο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά case studies για την εκτίμηση ασύρματων και αλλά και ενσύρματων περιπτώσεων. Από τεχνικής πλευράς, το TONIC-ECOSYS εργαλείο εμπεριέχει γεωμετρικά μοντέλα που υπολογίζουν αυτόματα το μήκος των καλωδίων και των αγωγών που χρειάζεται να τοποθετηθούν. Το μοντέλα αυτά όμως είναι προαιρετικά για τη λειτουργία του εργαλείου αφού σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητα (ασύρματη πρόσβαση) (Olsen, Katsianis, Varoutas, Stordahl, Harno, Elnegaard, Welling, Loizillon, Monath and Cadro, 2006).

Ως λίστα αγορών ονομάζουμε το αποτέλεσμα της αρχιτεκτονικής αυτής της υπηρεσίας. Με τη χρήση υπηρεσιών πρόβλεψης της ζήτησης μπορούμε να υπολογίσουμε αυτή τη λίστα για κάθε χρόνο και μας δείχνει τον όγκο όλων των στοιχείων κόστους του δικτύου (καλώδια, εξοπλισμός, αγωγοί κτλ), καθώς και την κατανομή των στοιχείων αυτών σε διάφορα σημεία ευελιξίας και επιπέδων σύνδεσης (Rokkas, Katsianis, Varoutas, 2010).

Για να υπολογιστούν αυτά τα στοιχεία του δικτύου, πρέπει να γίνουν οι αναγκαίες προβλέψεις στη ζήτηση αλλά και στην τιμολόγηση με τις υπάρχουσες μεθοδολογίες ή με μελέτες της αγοράς που έχουν ενσωματωθεί σε διάφορα τεχνο-οικονομικά μοντέλα (Michalakelis, Varoutas and Sphicopoulos, 2008).

Η λειτουργία του παραπάνω μοντέλου στηρίζεται σε μια ενσωματωμένη βάση δεδομένων, η οποία αποθηκεύει και ενημερώνει αυτόματα όλα τα στοιχεία του κόστους των διαφόρων συστατικών του δικτύου, που συλλέγονται από μεγάλες Ευρωπαϊκές εταιρίες

τηλεπικοινωνιών (Katsianis, Welling, Ylonen, Varoutas, Sphicopoulos, Elnegaard, Olsen, and Budry, 2001).

Τα σενάρια αρχιτεκτονικής σε συνδυασμό με την παραπάνω βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ύψους των επενδύσεων κάθε χρόνο (Rokkas et al, 2010).

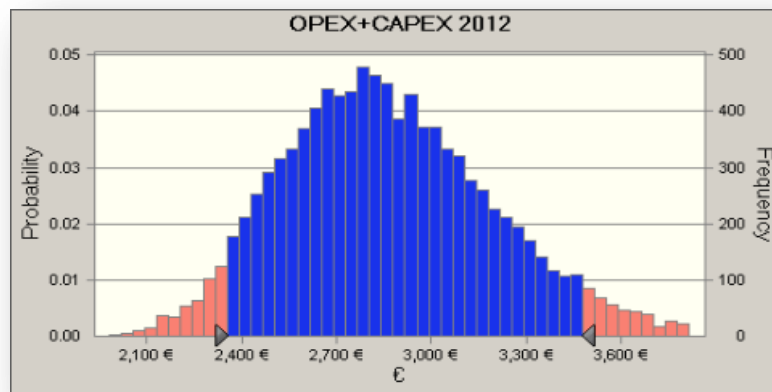
1.2 Το εργαλείο Crystal Ball

Το Crystal Ball είναι ένα γραφικό αναλυτικό εργαλείο που βασίζεται στο Microsoft Excel. Στόχος του είναι να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων προσομοιώνοντας τις σε λογιστικά φύλλα. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να δημιουργήσει χιλιάδες τιμές για κάθε αβέβαιη μεταβλητή και χρησιμοποιεί τις Monte Carlo ή Latin Hypercube μεθόδους δειγματοληψίας για να καθορίσει το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων και τα επίπεδα εμπιστοσύνης (Salminen, 2008).

Οι βασικές διαδικασίες του Crystal Ball ξεκινούν με τη δημιουργία του λογιστικού φύλλου για την περίπτωση που θέλουμε να εξετάσουμε και αφού τρέξουμε την προσομοίωση, αναλύουμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε.

Το εργαλείο τρέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό προσομοιώσεων που στηρίζονται σε προκαθορισμένες κατανομές πιθανοτήτων και υποθέσεων για κάθε μια μεταβλητή. Το αποτέλεσμα το οποίο παράγει το Crystal Ball είναι μια κατανομή από τα πολλά μεμονωμένα σενάρια για τη δεδομένη τιμή (Decisioneering 2006).

Τέλος, το Crystal Ball διαθέτει και ένα ακόμα εργαλείο, το tornado chart, το οποίο μετράει κάθε είσοδο μιας μεταβλητή του μοντέλου κάθε φορά και ανεξάρτητα απ' τον προβλεπόμενο στόχο. Η έξοδος του διαγράμματος είναι ένα tornado chart που μας δείχνει την ευαισθησία των μεταβλητών που επηρεάζουν την προσομοίωση περισσότερο, με τη χρήση μπαρών (σχήμα 2) (Decisioneering 2006).



Σχήμα 2.

1.3 Ανάλυση προεξοφλημένων Ταμειακών ροών

Η ανάλυση των προεξοφλημένων ταμειακών ροών μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την παρούσα αξία (present value PV), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη διαχρονική αξία του χρήματος, όσο και τους κινδύνους της επένδυσης για ένα έργο. Επιπλέον, κάνει εκτιμήσεις για τις προεξοφλημένες μελλοντικές ταμειακές ροές της επένδυσης. (Rokkas et al, 2010).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της DCF ανάλυσης (Discounted Cash Flow) είναι τα εξής:

- είναι μια απλή ποσοτική μέθοδος,
- είναι ευρέως αποδεκτή,
- παρέχει σαφείς και συνεπείς μετρήσεις για κάθε είδους έργο.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιεί η ανάλυση των προεξοφλημένων ταμειακών ροών είναι στατικά και ντετερμινιστικά και τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι καθορισμένα. Στην πραγματικότητα όμως οι συνθήκες του περιβάλλοντος μεταβάλλονται συνεχώς, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η ευελιξία στις αλλαγές.

Ο λόγος αυτός καθιστά αναγκαία την ανάλυση αβεβαιότητας, δημιουργούμε δηλαδή ένα DCF μοντέλο λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερους παράγοντες (ιδιαίτερα για σύνθετα έργα τηλεπικοινωνιών) και εκτελούμε ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση κινδύνων προκειμένου να συμπεριλάβουμε όλες τις αναμενόμενες (και όχι μόνο) εξελίξεις. (Rokkas et al, 2010).

1.4 Μεθοδολογία πραγματικών επιλογών

Για την τιμολόγηση με βάση τη ROA (Real options analysis) μεθοδολογία χρησιμοποιείται το μοντέλο τιμολόγησης Black-Scholes. Πιο συγκεκριμένα, το παραπάνω μοντέλο υποθέτει ότι οι υποκείμενες τιμές ακολουθούν τη γεωμετρική κίνηση Brown (τυχαία κίνηση των σωματιδίων σε υγρό ή αέριο περιβάλλον, εξαιτίας του βομβαρδισμού τους από τα ταχέως κινούμενα μόρια του υγρού/αέρα) με συνεχή μεταβλητότητα. Αυτή η υπόθεση είναι αρκετά αμφισβητήσιμη, παρ' όλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό μοντέλο για διάφορες περιπτώσεις επενδύσεων (Dixit & Pindyck, 1994).

Όσον αφορά την εφαρμογή της ROA μεθοδολογίας σε περιπτώσεις εγκατάστασης δικτύου οπτικής ίνας μέχρι το σπίτι (FTTH) θα πρέπει να χωρίσουμε αυτά τα έργα σε δυο (2) ξεχωριστές φάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την εγκατάσταση σε πυκνή αστική ζώνη, ενώ η δεύτερη σε μια τυπική αστική ζώνη.

Στην πρώτη φάση περιέχονται οι αρχικές επενδύσεις του έργου σε μια πυκνή αστική ζώνη με σκοπό να αποκτήσουμε μια βασική θέση στην αγορά. Με την προϋπόθεση τώρα ότι τα αποτελέσματα της πρώτης φάσης είναι ελπιδοφόρα θα περάσουμε στην επόμενη. Η δεύτερη φάση περιγράφεται ως μια κλήση για τις μελλοντικές ταμειακές ροές, όπου οι τιμές βασίζονται στις αρχικές επενδύσεις της πρώτης φάσης.

Η DCF ανάλυση μπορεί να αξιολογήσει κατάλληλα την πρώτη φάση του έργου, αλλά δεν είναι το ίδιο αποτελεσματική κατά τη δεύτερη φάση γι' αυτό και θα χρησιμοποιήσουμε την ROA μεθοδολογία που είναι πιο ευέλικτη. Ενώ τέλος, όλα τα οικονομικά αποτελέσματα που είναι απαραίτητα για την ROA μεθοδολογία (κόστος επένδυσης/λειτουργίας, έσοδα κ.α.), είναι διαθέσιμα (Rokkas et al, 2010).

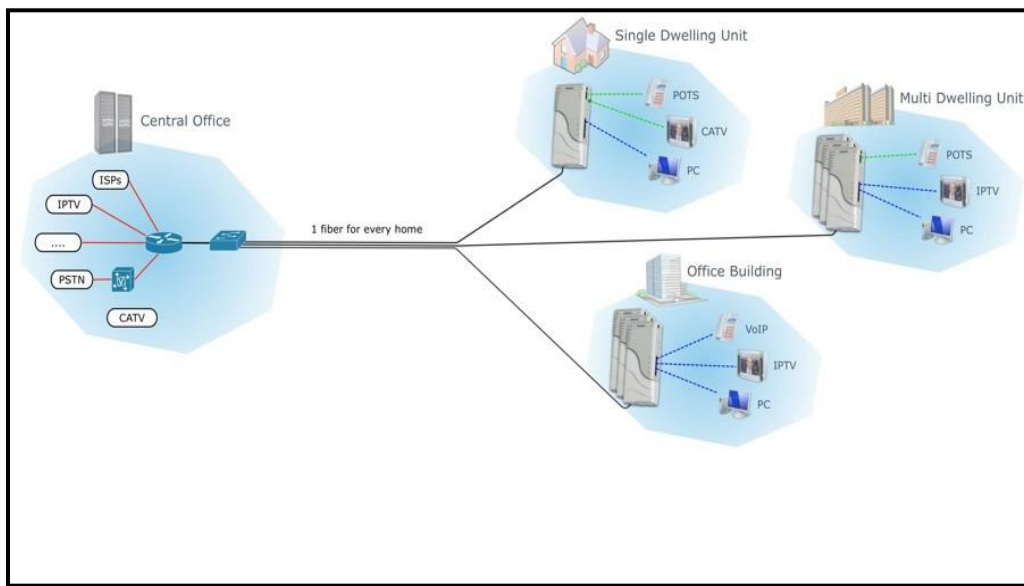
2. Αρχιτεκτονικές Δικτύων Πρόσβασης μέσω Οπτικής Ίνας

2.1 Από σημείο σε σημείο αρχιτεκτονική

Στη αρχιτεκτονική από σημείο σε σημείο (point-to-point) έχουμε μεμονωμένες οπτικές ίνες που ξεκινούν από ένα τοπικό κέντρο τηλεπικοινωνιών και οδηγούνται σε κάθε σπίτι ξεχωριστά.

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική βεβαίως απαιτεί την εγκατάσταση πολλών οπτικών ινών και άρα υψηλό αρχικό κόστος . Από την άλλη πλευρά προσφέρει μεγάλη ευελιξία για αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών και πολύ μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων. Το τοπικό κέντρο τηλεπικοινωνιών έχει μεγάλη ανάγκη για ενέργεια αλλά και χώρο, ανάλογα βεβαίως και με τον αριθμό των οπτικών ινών που οδηγούνται από αυτό στα σπίτια (Koonen, 2006).

Η συνήθης τεχνολογία καλωδίων που χρησιμοποιείται είναι τύπου Ethernet και προσφέρει υψηλού ρυθμού συνδεσιμότητα στους τελικούς χρήστες. Βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3) τον τρόπο σύνδεσης του παροχέα υπηρεσιών με τους τελικούς χρήστες σε ένα PTP (point to point) δίκτυο FTTH (Genexis, 2011).

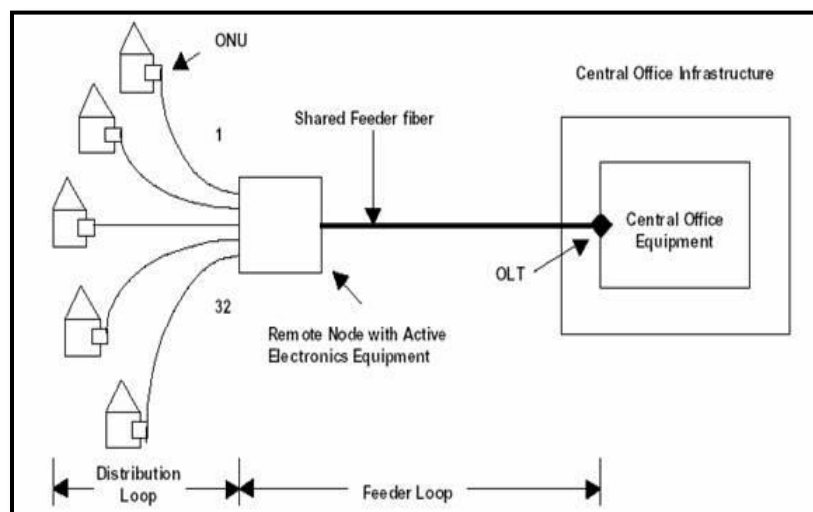


Σχήμα 3.

2.2 Αρχιτεκτονική Ενεργών Αστέρων

Στην αρχιτεκτονική των ενεργών αστέρων έχουμε τη μεταφορά ολόκληρης της ροής από μια ενιαία ίνα σε έναν ενεργό κόμβο κοντά στους τελικούς χρήστες. Από εκεί μεμονωμένες ίνες φτάνουν σε κάθε σπίτι/γραφείο/επιχείρηση. Παρ' όλο που ο ενεργειακός κόμβος χρειάζεται συχνή συντήρηση και έχει μεγάλη ανάγκη για τροφοδοσία, η χρήση μιας μεμονωμένης ίνας και μερικών βραχέων ινών διακλάδωσης μειώνουν πολύ το κόστος της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής. (Koonen, 2006).

Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να έχουμε συνδυασμό οπτικής ίνας με άλλους τύπους καλωδίων στον ενεργό κόμβο. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν σενάρια αναβάθμισης του δικτύου με γραμμές χάλκινου συνεστραμμένου ζεύγους (ADSL ταχύτητες των 6Mbit/s για αποστάσεις 4χιλιομέτρων και VDSL των 50Mbit/s για 500 μέτρα), ενώ επίσης η οπτική ίνα μπορεί να συνδυαστεί με γραμμές ομοαξονικών καλωδίων (ευρυζωνικό δίκτυο HFC [Hybrid fiber-coaxial] υβριδικό ίνα-ομοαξονικό, που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την καλωδιακή τηλεόραση στις αρχές της δεκαετίας του 90), καθώς επίσης και με ασύρματες συνδέσεις με τον τελικό χρήστη (fixed wireless Access [FWA]) (Koonen, 2006).



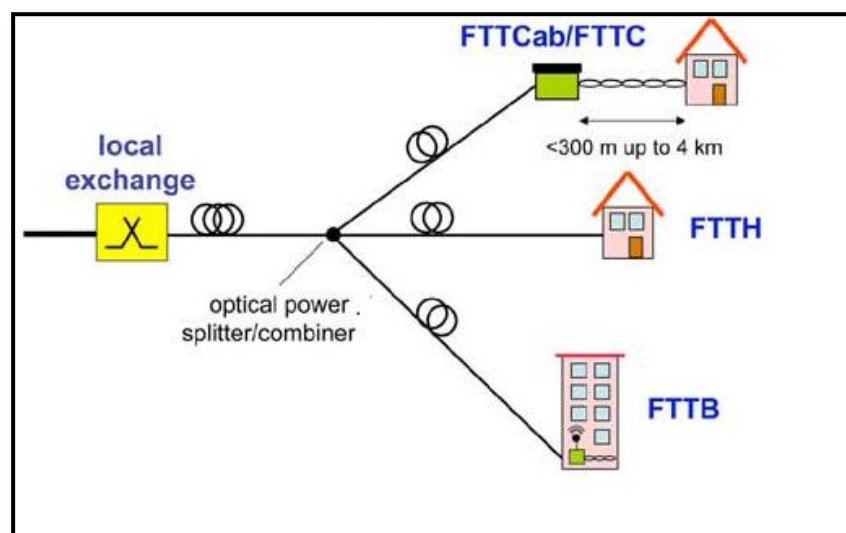
Σχήμα 4.

Όπως φαίνεται και στο *σχήμα 4*, μεταξύ του κεντρικού γραφείου (Central Office) και των εγκαταστάσεων των συνδρομητών, υπάρχει ο απομακρυσμένος κόμβος που περιέχει ενεργές συσκευές (όπως πολυπλέκτες/αποπολυπλέκτες, διακόπτες). Εξαιτίας της ανάγκης του απομακρυσμένου κόμβου για τροφοδοσία, η αρχιτεκτονική αυτή ονομάζεται ενεργός αστέρας.

2.3 Αρχιτεκτονική Παθητικών Αστέρων

Στην αρχιτεκτονική των παθητικών αστέρων έχουμε αντικατάσταση του ενεργού κόμβου μ' έναν παθητικό οπτικό τροφοδότη/διαχωριστή, ο οποίος ενισχύει τις μεμονωμένες οπτικές ίνες διακλάδωσης ώστε να μπορέσει να φτάσει το σήμα στον τελικό χρήστη (*σχήμα 5*).

Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει ακόμα μικρότερο κόστος από αυτή του ενεργού αστέρα, καθώς ο κόμβος δεν έχει ανάγκη τροφοδοσίας, ενεργών συσκευών και συντήρησης. Για αυτόν το λόγο έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής και τα δίκτυά της είναι ευρέως γνωστά ως παθητικά οπτικά δίκτυα (PON Passive Optical Network). (Koonen, 2006).



Σχήμα 5.

3. Μέθοδοι Πολυπλεξίας και πολλαπλής Πρόσβασης

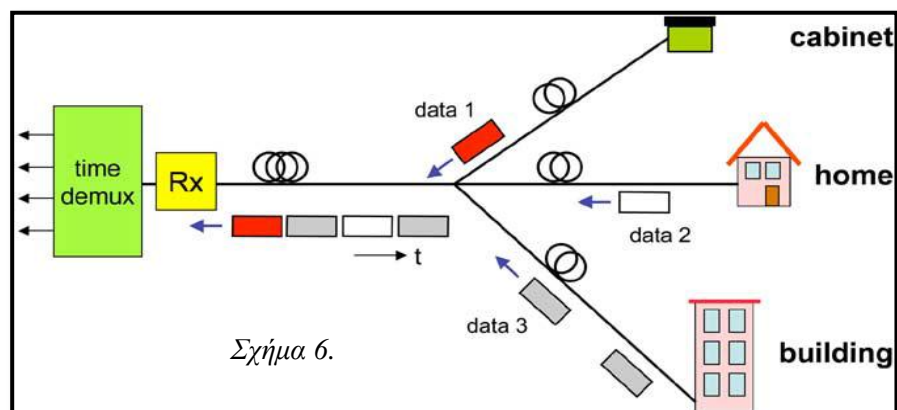
3.1 Διαχωρισμός Χρόνου για πολλαπλή Πρόσβαση (TDMA)

Η πολυπλεξία του διαχωρισμού χρόνου για πολλαπλή πρόσβαση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την ανάπτυξη μιας PON υποδομής. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ανάθεση συγκεκριμένου χρόνου (χρονοθυρίδες) για κάθε συνδρομητή ξεχωριστά που είναι συνδεδεμένος στο PON δίκτυο. Ο κάθε συνδρομητής στο χρόνο που έχει στη διάθεση του μπορεί να χρησιμοποιήσει όλο το εύρος ζώνης της γραμμής για ανέβασμα δεδομένων (Lee, Sorin, Yoon Kim, 2006).

Συνήθως, η χωρητικότητα του καναλιού είναι πολύ μεγαλύτερη από τις ανάγκες των συνδρομητών, αφού ένα τυπικό PON δίκτυο μπορεί να εξυπηρετήσει 32 ή περισσότερους συνδρομητές ($N = 32$) και ο καθένας χρησιμοποιεί μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό από το σύνολο.

Από τεχνικής πλευράς, όταν θέλουμε να συνδέσουμε πολλαπλούς συνδρομητές σε μια μεμονωμένη ίνα χρησιμοποιείται ένας παθητικός οπτικός διαχωριστής ισχύος στο RN (remote node). Αυτή η συσκευή συγχωνεύει την $1/N$ ισχύ του κάθε συνδρομητή μέσα στην μεμονωμένη οπτική ίνα ώστε να τη μεταδώσει στον ακροδέκτη της γραμμής (οπτικό τερματικό της γραμμής OLT) (Smith & Personick, 1982).

Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να καταχωρηθούν οι χρονοθυρίδες κάθε συνδρομητή στο τερματικό της γραμμής ώστε να αποφευχθούν πιθανές συγκρούσεις κατά το ανέβασμα των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε επικοινωνία μεταξύ του τερματικού γραμμής με το τερματικό δικτύου (ONT) για να αποφασίσουν πότε να στείλουμε δεδομένα, όπως βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα.



3.2 Διαχωρισμός Μήκους Κύματος για Πολλαπλή Πρόσβαση (WDMA)

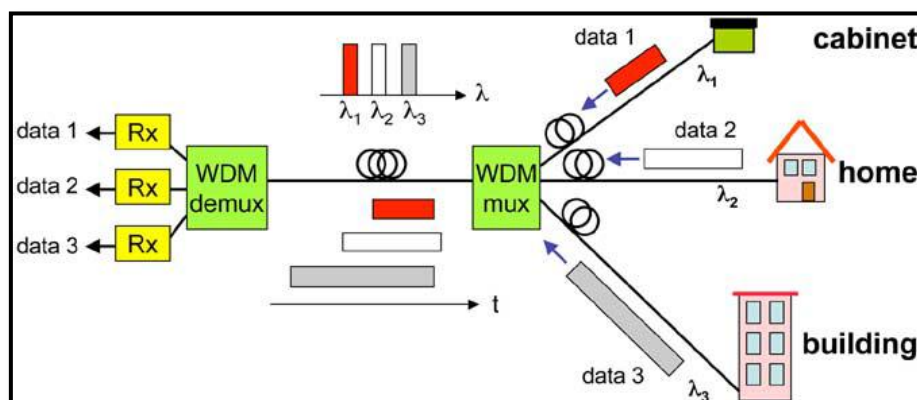
Μια πιο αποδοτική μέθοδος πολυπλεξίας για PON αρχιτεκτονική είναι ο διαχωρισμός με βάση το μήκος κύματος της γραμμής. Έχουμε δηλαδή εκχώρηση ενός ειδικού ζεύγους μήκος κύματος σε κάθε συνδρομητή, ενώ αντίθετα στην TDMA όλοι οι συνδρομητές μοιράζονται το ίδιο μήκος κύματος.

Πιο συγκεκριμένα, ο κάθε συνδρομητής μπορεί να στείλει δεδομένα στο τερματικό της γραμμής όποτε αυτός επιθυμεί χωρίς να επηρεάζονται οι άλλοι συνδρομητές. Επίσης, ο κάθε συνδρομητής παίρνει ένα PTP (από σημείο σε σημείο) οπτικό κανάλι στο τερματικό της γραμμής και δεν έχουμε αλληλεπίδραση με κανέναν άλλον συνδρομητή, εξαλείφοντας τυχόν προβλήματα στο θέμα διαχείρισης της γραμμής. (Lee et al, 2006).

Όπως παρατηρούμε και στο *σχήμα 7*, χρησιμοποιείται αντίστοιχα ένας WDM πολυπλέκτης και αποπολυπλέκτης (αντίθετα απ' τον παθητικό οπτικό διαχωριστή της TDMA) στο RN και CO της γραμμής, ο οποίος διαχωρίζει τα πολλαπλά μήκη κύματος των σημάτων στο τερματικό (OLT). Η πολυπλεξία/αποπολυπλεξία γίνεται με τη χρήση διηλεκτρικών φίλτρων λεπτής μεμβράνης καθώς και με AWG (Arrayed Waveguide Grating) συσκευές οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν ένα μεγάλο αριθμό μήκους κύματος σε μια ενιαία οπτική ίνα.

Εάν χρησιμοποιήσουμε τεχνολογία πυκνού διαχωρισμού του μήκους κύματος (Dense WDM), μπορούμε να στενέψουμε την απόσταση μεταξύ των καναλιών για κάθε μήκος κύματος σε 50 με 100GHz. (Lee et al, 2006).

Σχήμα 7.



3.3 Διαχωρισμός Υποφορέα για Πολλαπλή Πρόσβαση (SCMA)

Στην SCMA έχουμε πρόσβαση από σημείο σε σημείο (PTP) σε μια PON αρχιτεκτονική χορηγώντας διαφορετική RF συχνότητα σε κάθε συνδρομητή. Πιο συγκεκριμένα, ο κάθε συνδρομητής χρησιμοποιεί διαφορετική RF συχνότητα για την κωδικοποίηση των δεδομένων του, αλλά στο ίδιο μήκος κύματος. Ένας δέκτης στο τερματικό της γραμμής (OLT) ανιχνεύει αυτές τις διαφορετικές συχνότητες και τις αποπολυπλέκει σε πεδίο ηλεκτρικής συχνότητας (Lee et al, 2006).

Η παραπάνω αρχιτεκτονική επιτρέπει σε N χρήστες να μοιράζονται ένα αποκλειστικό και αποδεδειγμένο κανάλι επικοινωνίας του ίδιου μήκους κύματος. Ο κύριος φορέας είναι το μεταδιδόμενο οπτικό upstream μήκος κύματος, ενώ η RF συχνότητα είναι ο υποφορέας.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου έγκειται στο μέγεθος του ηλεκτρικού εύρους ζώνης του δέκτη στο τερματικό της γραμμής, αφού πρέπει να είναι διπλάσιο απ' το άθροισμα των N ρυθμών μεταφοράς δεδομένων στο κανάλι. Για παράδειγμα, για την παροχή 75Mb/s ρυθμού μεταφοράς δεδομένων για κάθε πάροχο, χρειάζεται τουλάχιστον 5GHz εύρος ζώνης στον δέκτη ενώ στην πράξη μπορεί να φτάνει μέχρι και τα 10GHz, αφού στον υποφορέας θα εκχωρηθεί μια οκτάβα συχνότητας για να αποφευχθούν πιθανές στρεβλώσεις στον δέκτη (Lee et al, 2006).

Το πιο κρίσιμο μειονέκτημα όμως της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο θόρυβος απ' τον οπτικό παλμό παρέμβασης (OBI, Optical-Beat-Interference) που προκαλείται από την ανάμιξη των N διαφορετικών μηκών κύματος laser σε έναν μόνο ανιχνευτή. Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη μείωση του OBI θορύβου, η πιο διαδεδομένη είναι η χρήση οπτικών πηγών με ευρύ πλάτος γραμμής, ώστε να εξαπλώσει το μεγαλύτερο μέρος του θορύβου έξω απ' το ηλεκτρικό εύρος ζώνης του δέκτη (Mestgagh, 1995).

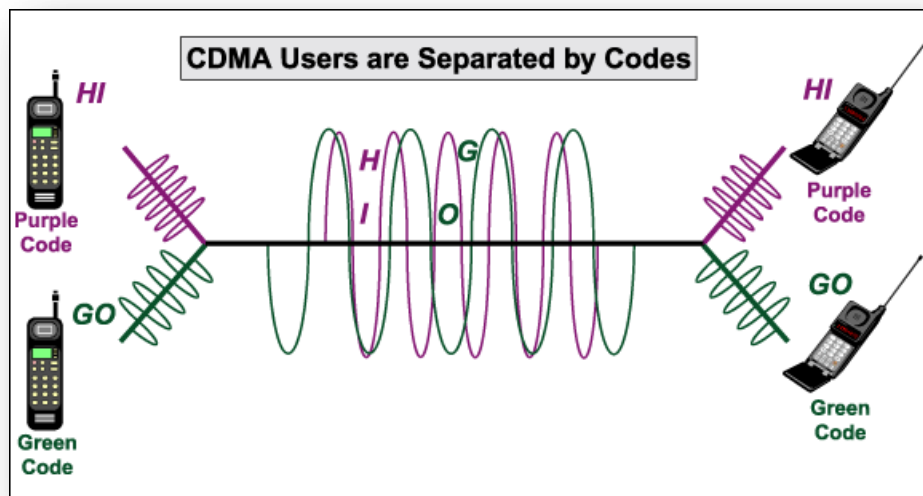
Από την άλλη πλευρά, το κύριο πλεονέκτημα της SCMA σε σχέση με την TDMA είναι ότι το εύρος ζώνης του θορύβου του δέκτη είναι διπλάσιο απ' το ρυθμό δεδομένων, ενώ στην TDMA είναι N φορές μεγαλύτερο.

3.4 Διαχωρισμός Κώδικα για Πολλαπλή Πρόσβαση (CDMA)

Η τελευταία μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης που θα αναλύσουμε είναι αυτή με βάση το διαχωρισμό κώδικα. Πιο συγκεκριμένα, η CDMA χρησιμοποιείται για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπου έχουμε πολλούς χρήστες που μοιράζονται ταυτόχρονα ένα κανάλι της ίδιας συχνότητας και αποστέλλουν με τη χρήση ορθογώνιων κωδικών δεδομένα σε δυαδική μορφή (0, 1 data bits) (Lee et al, 2006).

Παρόμοια, μπορεί να έχουμε CDMA και σε οπτικά δίκτυα καθώς πολλαπλοί χρήστες μοιράζονται ταυτόχρονα το ίδιο μήκους κύματος κανάλι για τη μεταφορά δεδομένων. Στον κάθε συνδρομητή έχει δοθεί ένας μοναδικός ορθογώνιος κώδικας που του επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων στο κανάλι ανεξάρτητα των άλλων συνδρομητών. Στο τερματικό της γραμμής (OLT) γίνεται ο απαραίτητος έλεγχος στους κώδικες με τη χρήση ενός μόνο δέκτη, που επιτρέπει την ταυτόχρονη και ανεξάρτητη μεταφορά δεδομένων.

Το βασικό πλεονέκτημα της CDMA είναι ότι μπορεί να υποστηρίξει έναν αυξανόμενο αριθμό χρηστών στο σύστημα σε αντίθεση με άλλες τεχνικές που δίνουν συγκεκριμένες συχνότητες ή χρονοθυρίδες και είναι περιορισμένες (Hitman, Chung, Galvan, 2011). Στο σχήμα 8, παρατηρούμε τον τρόπο που διαχωρίζονται τα δεδομένα με βάση τη χρήση των ορθογώνιων κωδικών.



Σχήμα 8.

3.5 Μέθοδοι Πολυπλεξίας για καθοδική Διαβίβαση Δεδομένων

Οι παραπάνω μέθοδοι περιέγραφαν αρχιτεκτονικές PTP (από σημείο σε σημείο) για PON δίκτυα όσον αφορά το ανέβασμα (upstream) δεδομένων. Η μέθοδος πολυπλεξίας για το κατέβασμα (downstream) δεδομένων θεωρείται μια πιο απλή διαδικασία.

Πιο συγκεκριμένα, στην TDM (time-division multiple) πρόσβαση χρησιμοποιείται ένα σχήμα μετάδοσης (broadcasting scheme), το οποίο διανέμει σε κάθε τερματικό του δικτύου ένα μεμονωμένο σήμα υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων. Το κάθε τερματικό στη συνέχεια, επιλέγει πιο τμήμα από τα δεδομένα θα μεταδοθεί, είτε από μια διεύθυνση στην αρχή του πακέτου των δεδομένων, είτε επιλέγοντας συγκεκριμένες χρονοθυρίδες (Lee et al, 2006).

Το κύριο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι επιτρέπει την εκχώρηση ξεχωριστού εύρους ζώνης σε κάθε χρήστη, δεδομένου ότι το τερματικό του δικτύου έχει τον έλεγχο για το μέγεθος του πακέτου των δεδομένων που πρόκειται να αποσταλούν. Τα βασικά μειονεκτήματα εντοπίζονται κυρίως σε θέματα ασφαλείας, αφού το τερματικό του δικτύου (ONT) έχει πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα που αποστέλλονται. Γι' αυτόν το λόγο είναι απαραίτητη η κωδικοποίηση των δεδομένων για την προστασία των χρηστών. (Lee et al, 2006).

Στη WDM (wavelength-division multiple) πρόσβαση χρησιμοποιείται ένα αποκλειστικό μήκος κύματος για downstream μετάδοση από κάθε συνδρομητή. Πιο συγκεκριμένα, το τερματικό ONT πρέπει να έχει μια ξεχωριστή πηγή laser για κάθε συνδρομητή στο PON δίκτυο. Η φυσική αρχιτεκτονική του δικτύου εγγυάται την ασφάλεια στη μεταβίβαση των δεδομένων, αφού ο αποπολυπλέκτης στο RN διευθύνει το ξεχωριστό μήκος κύματος του κάθε συνδρομητή και δεν του επιτρέπει έτσι την πρόσβαση σε άλλα κανάλια διαφορετικού μήκους κύματος. Ενώ τέλος, προσφέρει μια αποκλειστική PTP συνδεσιμότητα για κάθε συνδρομητή, απαλλαγμένη από τα μειονεκτήματα που αφορούν τη χρήση ενός καναλιού για downstream μετάδοση δεδομένων από πολλαπλούς χρήστες (Lee et al, 2006).

Όσον αφορά την SCM πρόσβαση, τα μεμονωμένα σήματα όλων των συνδρομητών πολυπλέκονται σε ένα ηλεκτρικής συχνότητας σήμα και στη συνέχεια μετατρέπονται σ' ένα single-laser μήκος κύματος για downstream μετάδοση δεδομένων.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το απαιτούμενο εύρος ζώνης για τη διαμόρφωση του σήματος είναι πολύ μεγάλο επειδή το ηλεκτρικού εύρος ζώνης του δέκτη στο τερματικό της γραμμής πρέπει να είναι διπλάσιο απ' το άθροισμα των N ρυθμών μεταφοράς δεδομένων στο κανάλι (Daly J.C.,1982).

Επιπλέον, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε να αποφευχθούν πιθανοί θόρυβοι αποκοπής που προκαλούνται από τα χαρακτηριστικά όρια του πομπού laser (Darcie, 1990). Επίσης, εξαιτίας της απαίτησης για υψηλή-γραμμικότητα (high-linearity), κάθε ξεχωριστό RF σήμα που λαμβάνεται από το τερματικό του δικτύου πρέπει να μειωθεί κατ' αντιστοιχία με τον αριθμό των σημάτων που πολυπλέκονται από τον οπτικό υποφορέα της καθοδικής ζεύξης. Το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την τοποθέτηση ενός οπτικού ενισχυτή για την τόνωση του εκπεμπόμενου σήματος (Agrawal, 2001).

Ενώ τέλος, η CDM πρόσβαση για καθοδική ζεύξη (downstream) έχει πολλές ομοιότητες με τη SCM, πιο συγκεκριμένα αντί για διαφορετικές συχνότητες η CDM έχει διαφορετικούς κώδικες. Επίσης, το απαιτούμενο εύρος ζώνης του πομπού, είναι N φορές μεγαλύτερο από αυτό που προσφέρεται στο χρήστη (Lee et al, 2006).

Συμπεράσματα

Αυτή η εργασία παρουσιάζει τα διαφορετικά θέματα και μεθοδολογίες της τεχνοοικονομικής ανάλυσης για τη δικτυακή μετάβαση σε οπτική ίνα μέχρι το σπίτι. Επίσης, παραθέτει τις αρχιτεκτονικές πρόσβασης και τις διαφορετικές μεθόδους πολυπλεξίας για πολλαπλή πρόσβαση.

Όπως μπορούμε να κατανοήσουμε από την παραπάνω εργασία, οι δαπάνες για δίκτυα οπτικής ίνας ως το σπίτι είναι πολύ μεγάλες και οι τεχνολογικοί/επιχειρηματικοί κίνδυνοι μπορούν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία της αγοράς.

Για την αντιμετώπιση αυτών των τεχνο-οικονομικών προκλήσεων και της επομένης γενιάς δικτύωση με οπτική ίνα μέχρι το σπίτι, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά οι οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές. Η ανάλυση αυτών των ζητημάτων πρέπει να επεκταθεί από τα δίκτυα πρόσβασης στα δίκτυα διανομής και στον τροφοδότη, που χρησιμοποιούνται από τις FTTH αναπτύξεις.

Κατά την προσωπική μου γνώμη, πιστεύω πως ένα FTTH δίκτυο δεν είναι εφικτά υλοποιήσιμο στον Ελλαδικό χώρο εξαιτίας του απαγορευτικού του κόστους με δεδομένη την οικονομική κατάσταση που κυριαρχεί στην χώρα. Επίσης, η δυσκολία συνεννόησης μεταξύ των αρχών που είναι υπεύθυνες για μια τέτοια υλοποίηση είναι ένα επιπρόσθετο βαρίδιο για ένα τέτοιο έργο. Ίσως στο μέλλον, με βελτιωμένη την οικονομική και κοινωνική κατάσταση στην χώρα να μπορέσει να προχωρήσει μια τέτοια ενέργεια.

Αναφορές

- [1] da Silva H. (2005). *Instituto de Telecomunicações* [Media Kit]. Retrieved from www.co.it.pt/seminarios/webcasting/itcbr_09_03_05.pdf
- [2] Rokkas T., Katsianis D., Varoutas D. (2010). Techno-economic Evaluation of FTTC/VDSL and FTTH Roll-Out Scenarios: Discounted Cash Flows and Real Option Valuation. *Journal of Optical Communications and Networking*. Vol.2, No 9, September 2010, pp 760-772.
- [3] Koonen T. (2006). Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When? The solution may be direct fiber to each home, or shared multiplexed fiber links, or hybrid fiber-copper, -coax, or, perhaps, radio-over-fiber. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 94, No 5, May 2006. pp 911-934.
- [4] Genexis B.V. (2011). *Genexis FTTH Network Architecture An introduction to the Genexis FTTH Network Architecture*. [White Paper]. Retrieved from <http://www.genexis.eu/medialib/323/whitepaper-ftthnetworks.pdf>
- [5] Lee C., Sorin W., Yoon Kim B. (2006). Fiber to the Home Using a PON Infrastructure. , *Journal Of Lightwave Technology*, Vol. 24, No. 12, December 2006., pp 4568-4583.
- [6] Mestgagh D. J. G. (1995). *Fundamentals of Multiple Access Optical Fiber Networks*. Norwood, MA: Artech House.
- [7] Hitman A., Chung E., Galvan A. (2011). *CDMA Background*. [White Paper]. Retrieved from <http://cnx.org/content/m41832/1.1/>
- [8] Daly J.C. (1982). Fiber optic intermodulation distortion. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 30, No. 8, pp. 1954–1958.
- [9] Darcie T.E., (1990). Subcarrier multiplexing for lightwave networks and video distribution system, *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 8, No. 7, Sep. 1990, pp. 1240–1248.
- [10] Agrawal G. (2001). *Nonlinear Fiber Optics*. New York: Academic.

- [11] Katsianis D, Welling I., Ylonen M., Varoutas D., Spicopoulos T., Elnegaard N.K., Olsen B.T., and Budry L. (2001). The financial perspective of the mobile networks in Europe, *IEEE Pers. Commun.*, Vol. 8, No. 6, Dec. 2001, pp. 58–64.
- [12] Michalakelis C, Varoutas D., and Spicopoulos T., (2008). Diffusion models of mobile telephony in Greece, *Telecommun. Policy*, Vol. 32, No. 3–4, Apr.–May. 2008, pp. 234–245.
- [13] Monath T., Elnegaard N.K., Cadro P., Katsianis D. & Varoutas D., (2003). Economics of Fixed Broadband Access Network Strategies. *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 41, No. 9, September 2003, pp. 132–139.
- [14] Olsen B.T., Katsianis D., Varoutas D., Stordahl K., Harno J., Elnegaard N.K., Welling I., Loizillon F., Monath T. and Cadro P. (2006). Technoeconomic evaluation of the major telecommunication investment options for European players, *IEEE Network*, Vol. 20, No. 4, July 2006, pp. 6–15.
- [15] Smith R.G. and Personick S.D. (1982). Receiver design for optical fiber communication systems in. *Semiconductor Devices for Optical Communication*, H. Kressel, Ed. New York: Springer-Verlag.
- [16] Salminen L. (2008). *Scenario-Based Techno-Economic Analysis of Digital Homes*. Helsinki University of Technology, Faculty of Electronics, Communication and Automation, Helsinki.
- [17] Decisioneering (2006). *Crystal Ball® 7.2.2 User Manual*. Retrieved from:
http://www.decisioneering.com/crystal_ball/index.html
- [18] Dixit A. & Pindyck R. (1994). *Investment under Uncertainty*. New Jersey: Princeton University Press.

Σχήματα

Σχήμα 1. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:FTTX.png>

Σχήμα 2 Decisioneering (2006). *Crystal Ball® 7.2.2 User Manual*. Retrieved from:
http://www.decisioneering.com/crystal_ball/index.html

Σχήμα 3. <http://www.genexis.eu/medialib/323/whitepaper-ftthnetworks.pdf>

Σχήμα 4. <http://moxdfendu0.tripod.com/Fiber%20to%20the%20home%20architecture.htm>

Σχήμα 5, 6, 7. Koonen T. (2006). Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When? The solution may be direct fiber to each home, or shared multiplexed fiber links, or hybrid fiber-copper, -coax, or, perhaps, radio-over-fiber. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 94, No 5., May 2006. pp 911-934.

Σχήμα 8. <http://cnx.org/content/m41832/latest/?collection=col11388/latest>