

ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ



Χρήστος Βασιλόπουλος
Διαμαντής Κωτούλας

Δημήτριος Ξενικός
Πέτρος Βούδδας

Γιώργος Χελιώτης
Γιώργος Αγαπίου
Τηλέμαχος Δούκογλου

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
Χρήστος Βασιλόπουλος

ΜΕΡΟΣ Α: Ενσύρματη Πρόσβαση
ΜΕΡΟΣ Β: Ασύρματη Πρόσβαση
ΜΕΡΟΣ Γ: Μελλοντικές Εξελίξεις



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	11
------------------	----

Εισαγωγή.....	13
---------------	----

Μέρος Α

Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Χρ. Βασιλόπουλος, Δ. Κωτούλας	19
-------------------------------------	----

Περίληψη	21
1.1 Εισαγωγή	22
1.2 Ορισμοί – Η παραδοσιακή δομή του Δικτύου Πρόσβασης	24
1.3 Δικτυακές Υπηρεσίες.....	34
1.4 Τεχνολογίες Δικτύου Πρόσβασης.....	38
1.4.1 FTTC	38
1.4.2 FTTB	48
1.4.3 FTTN	53
1.5 Τεχνολογίες Πρόσβασης.....	59
1.5.1 Τεχνολογίες xDSL	59
1.5.2 Τεχνολογίες Ethernet	69
1.5.3 Τεχνολογίες PON	71
1.6 Καλωδιακές Επιλογές	77
1.6.1 Οπτικές Ίνες	79
1.6.2 Καλώδια Οπτικών Ινών, Μικροκαλώδια και Ινο-ομάδες	82
1.6.3 Σωληνώσεις – Φρεάτια – Τάφροι	88
1.6.4 Υλικό Τερματισμού και Συναρμογής Καλωδίων Οπτικών Ινών	94
1.7 Σχεδιασμός και Υλοποιήσεις Δικτύων NGA	105
1.7.1 Έργα της περιόδου 1990-2000	105
1.7.2 Νεότερα έργα και προοπτικές υλοποίησης δικτύων FTTx	108
1.7.3 Αρχιτεκτονικές υλοποίησης δικτύων FTTx	116

1.7.4	Έργα FTTC	117
1.7.5	Σχεδιασμός και έργα FTTB και FTTH	125
1.8	Στρατηγικές Υλοποίησης Δικτύων NGA	147
1.8.1	Εμπλεκόμενοι φορείς	147
1.8.2	Στρατηγική Κυρίαρχου Τηλεπικοινωνιακού Φορέα	151
1.8.3	Στρατηγικές Εναλλακτικών Τηλεπικοινωνιακών Φορέων	155
	Συμπεράσματα	158
	Βιβλιογραφία.....	160

Μέρος Β

Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Δ. Ξενικός, Π. Βουδδας 163

	Περίληψη	165
2.1	Η πορεία προς τα Κυψελωτά Δίκτυα NGN	166
2.1.1	Ταξινόμηση Κυψελωτών Τεχνολογιών σε Γενεές	166
2.1.2	Υπηρεσίες	173
2.1.3	Δίκτυα IP στις Κυψελωτές Επικοινωνίες	182
2.1.4	Πρόσβαση χρηστών στο Ραδιοδίαυλο	185
2.1.5	Εξασφάλιση Φάσματος Ραδιοσυχνοτήτων – Παγκόσμια Περιοχή	192
2.2	Πρότυπα Ασύρματων Δικτύων	198
2.2.1	Οικογένεια Κυψελωτών Δικτύων GSM	198
2.2.2	Συγκαναλικές Επικοινωνίες TETRA	205
2.2.3	Συστήματα Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης	216
2.2.4	Φεμτοκυψέλες	222
2.2.5	Δίκτυα Wi-Fi	224
2.3	Η Οικογένεια Προτύπων WiMAX	231
2.3.1	Κατηγοριοποίηση Δικτύων Πρόσβασης	231
2.3.2	Τα Πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN	234
2.3.3	WiMAX Forum - Η Εξέλιξη του WiMAX	236
2.3.4	Η τεχνολογία WiMAX	240
2.3.5	Τοπολογίες και Αρχιτεκτονική Δικτύου	284
2.3.6	Υλικοτεχνικός Εξοπλισμός WiMAX	293
	Συμπεράσματα	300
	Βιβλιογραφία.....	301
	Ιστορία τεχνολογιών 0G, 1G, 2G	301
	TETRA	301
	Φεμτοκυψέλες	302
	Οικογένεια προτύπων 3GPP	302

Οικογένεια προτύπων Wi-Fi	303
Οικογένεια προτύπων WiMAX	303

Μέρος Γ

Μελλοντικές Υλοποιήσεις Δικτύων Πρόσβασης

Γ. Χελιώτης, Γ. Αγαπίου, Τ. Δούκογλου309

Περίληψη	311
3.1 Τεχνολογικές Εξελίξεις Δικτύων PON	312
3.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία οπτικών δικτύων πρόσβασης	312
3.1.2 Σημερινά Πρότυπα PON με Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (TDM-PONs)	314
3.1.5 Αρχιτεκτονικές Προστασίας	329
3.2 Εξελίξεις της Τεχνολογίας FTTC/B+VDSL2	334
3.2.1 Δίκτυα πρόσβασης FTTC/B-VDSL2	334
3.2.2 Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας VDSL2	335
3.2.3 Φαινόμενα Διαφωνίας (Crosstalk)	338
3.2.4 Τεχνικές Αποφυγής Θορύβου	340
3.3 Τεχνολογία LTE	342
3.3.1 Εισαγωγή	342
3.3.2 Βασικά Χαρακτηριστικά της Τεχνολογίας LTE	349
3.4 Αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα τεχνολογίας LTE	354
3.4.1 Αρχιτεκτονική τεχνολογίας LTE	354
3.4.2 Πρωτόκολλα τεχνολογίας LTE	358
3.4.3 Ζώνες συχνοτήτων και Φασματική ευελιξία	374
3.4.4 Παρεχόμενες Υπηρεσίες LTE	375
3.4.5 Μελλοντικές Εξελίξεις: LTE Advanced	376
Συμπεράσματα	378
Βιβλιογραφία.....	379

Ακρωνύμια381

Εισαγωγή

Ως δίκτυο πρόσβασης ορίζεται το ακραίο χάλκινο τμήμα του ενσύρματου δικτύου, που συνδέει τους συνδρομητές με τα παλαιά τηλεφωνικά κέντρα, μέσω του οποίου παρέχεται το σύνολο των υπηρεσιών σταθερής τηλεφωνίας και το μεγαλύτερο μέρος των ευρυζωνικών υπηρεσιών. Το δίκτυο πρόσβασης ακολουθούσε την ιστορική εξέλιξη της τηλεφωνίας από τις αρχές του εικοστού αιώνα μέχρι σήμερα, και συνεχίζει ακόμη να αναπτύσσεται για την τηλεφωνοδότηση νέων οικιστικών περιοχών, αφού τα βασικά διαθέσιμα τηλεπικοινωνιακά εμπορικά προϊόντα τηλεφωνίας και ευρυζωνικότητας παρέχονται μόνο μέσω του δικτύου χαλκού.

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες καθώς και στην Ελλάδα, υπάρχει μια συνεχής διαβούλευση στον ακαδημαϊκό, τεχνικό και πολιτικό κόσμο για την ανάγκη ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς, που βασίζονται στην εκτεταμένη χρήση οπτικών ινών μέχρι και το συνδρομητή, και εξασφαλίζουν ένα ουσιαστικά απεριόριστο εύρος ζώνης, ικανό να καλύψει το σύνολο των μελλοντικών αναγκών του σε ταχύτητες πρόσβασης. Παράλληλα, οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών με τη σύγκλιση των τεχνολογιών 3,5G και WiMAX και τη διαμόρφωση του LTE, προβάλλουν σαν μια εναλλακτική πρόταση δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς με συγκριτικά χαμηλότερες ταχύτητες αλλά σημαντικά μικρότερο κόστος υλοποίησης.

Τα δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς, που αποτελούν τη μελλοντική εξέλιξη των αστικών δικτύων (ενσύρματων και ασύρματων), αναμένεται να βασιστούν σε τεχνολογίες που αφορούν FITL (Fibre In The Loop) και RITL (Radio In The Loop). Η τεχνολογία FITL εισάγει την εκτεταμένη χρήση των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης, σε αντικατάσταση (μερική ή ολική) των παραδοσιακών δικτύων χαλκού, ενώ οι τεχνολογίες RITL αξιοποιούν με τον πλέον αποδοτικό τρόπο το διαθέσιμο ραδιοφάσμα, προκειμένου να παρέχονται αξιόπιστες ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Από κοινού, οι τεχνολογίες αυτές, έχουν σαν

στόχο τη δημιουργία της μελλοντικής δικτυακής υποδομής των επόμενων τριάντα ετών, με δυνατότητα παροχής στους συνδρομητές του δικτύου ταχυτήτων πρόσβασης από 100 Mb/s έως 1Gb/s για σταθερή σύνδεση και από 10 Mb/s έως 100 Mb/s για κινητή σύνδεση.

Το παρόν βιβλίο δομείται σε τρία μέρη.

Το πρώτο μέρος αναφέρεται σε ενσύρματα δίκτυα νέας γενιάς (NGA), τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία FTTx, και είναι ιδιαίτερα επίκαιρο, με δεδομένες τις κυβερνητικές εξαγγελίες για ανάπτυξη δικτύου FTTN κάλυψης 2 εκατομμυρίων νοικοκυριών στις μεγάλες ελληνικές πόλεις (πρωτεύουσες νομών) μέχρι το 2017, μέσω διαδικασιών σύμπραξης δημόσιου και ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ). Η περιγραφή ξεκινά με μια σύντομη αναφορά στην υφιστάμενη μορφή του «παραδοσιακού» ενσύρματου δικτύου πρόσβασης και των περιορισμών που θέτει στην παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών. Ακολουθεί πλήρης αναφορά στις διαθέσιμες τεχνολογίες, που βασίζονται στη χρήση οπτικής ίνας (FTTx), στις τεχνολογίες πρόσβασης (xDSL, Ethernet και PON) και στις διαθέσιμες επιλογές καλωδιακής υποδομής (είδη οπτικών ινών, καλώδια και μικροκαλώδια, πολυσωλήνια και ομάδες μικροσωληνίσκων), που χρησιμοποιούνται για σημείο-σημειακές (P2P) και σημείο-πολυσημειακές (P2MP) υλοποιήσεις. Εξετάζονται επίσης η προοπτική και οι στρατηγικές ανάπτυξης ενός δικτύου πρόσβασης νέας γενιάς, υπό το πρίσμα ενός πολύπλοκου, μεταβλητού τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος, στο οποίο συμμετέχουν ανταγωνιστικά εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (παραδοσιακές και νεοσύστατες), ρυθμιστικές αρχές (εθνικές και υπερεθνικές), κατασκευαστές και προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού υλικού, εργολάβοι «δημόσιων» έργων και διάφορες ομάδες συμφερόντων, όλοι επιδιώκοντας την προώθηση και προάσπιση των αλληλοσυγκρουόμενων οικονομικών συμφερόντων τους. Το πρώτο μέρος του βιβλίου ολοκληρώνεται με την περιγραφή προτεινόμενων στρατηγικών ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης NGA για εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Το δεύτερο μέρος του βιβλίου αναφέρεται σε ασύρματα δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς, περιγράφοντας τις εξελίξεις τόσο στα ασύρματα δίκτυα σταθερής πρόσβασης, που αναπτύσσονται από εταιρίες σταθερής τηλεφωνίας για την παροχή υπηρεσιών σε διεσπαρμένους συνδρομητές δυσπρόσιτων ή απομονωμένων περιοχών, όσο και στα ασύρματα δίκτυα κινητής πρόσβασης, που ανέπτυξαν εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, για τις ανάγκες των χρηστών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Εξετάζονται τα βασικά πρότυπα των κυψελωτών δικτύων, όπου συμπεριλαμβάνονται οι τεχνολογίες 2G/2,5G (GSM/GPRS/EDGE) και 3G/3,5G (UMTS/HSPA), η τεχνολογία πρόσβασης TETRA, τα Συνδρομητικά

Αγροτικά Ραδιοδίκτυα (ΣΑΡ), η τεχνολογία των φεμτοκυψελών, η τεχνολογία WiFi και η οικογένεια των προτύπων WiMAX σταθερής (IEEE 802.16d) και κινητής (IEEE 802.16e) ασύρματης πρόσβασης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην τεχνολογία WiMAX και στα βασικά λειτουργικά της χαρακτηριστικά, γιατί θεωρούμε ότι η εξέλιξή της, από κοινού με την τεχνολογία HSPA+ και LTE, θα οδηγήσει, μέσω της αναμενόμενης σύγκλισης υπηρεσιών, στα δίκτυα σταθερής και κινητής ασύρματης πρόσβασης τέταρτης γενιάς (4G).

Το τρίτο μέρος του βιβλίου αναφέρεται σε τρία θέματα τεχνολογίας αιχμής, στο χώρο τόσο της ενσύρματης όσο και της ασύρματης πρόσβασης, που αναμένεται να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς. Το πρώτο θέμα αναφέρεται στο WDM-PON, η εξέλιξη του οποίου θα μετατρέψει ένα FTTH δίκτυο πρόσβασης φυσικής τοπολογίας P2MP σε αντίστοιχο λογικής τοπολογίας P2P, παρέχοντας την δυνατότητα για ταχύτητες πρόσβασης 1 Gb/s ανά συνδρομητή. Το δεύτερο αναφέρεται στις εξελίξεις της τεχνολογίας VDSL2, στα προβλήματα αύξησης των παρεμβολών, που θα προκύψουν από την εκτεταμένη χρήση της και τους ενδεδειγμένους τρόπους αντιμετώπισής τους. Τέλος, το τρίτο θέμα αναφέρεται στην τεχνολογία LTE που θα προκύψει από τη σύγκλιση των τεχνολογιών κυψελωτών δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

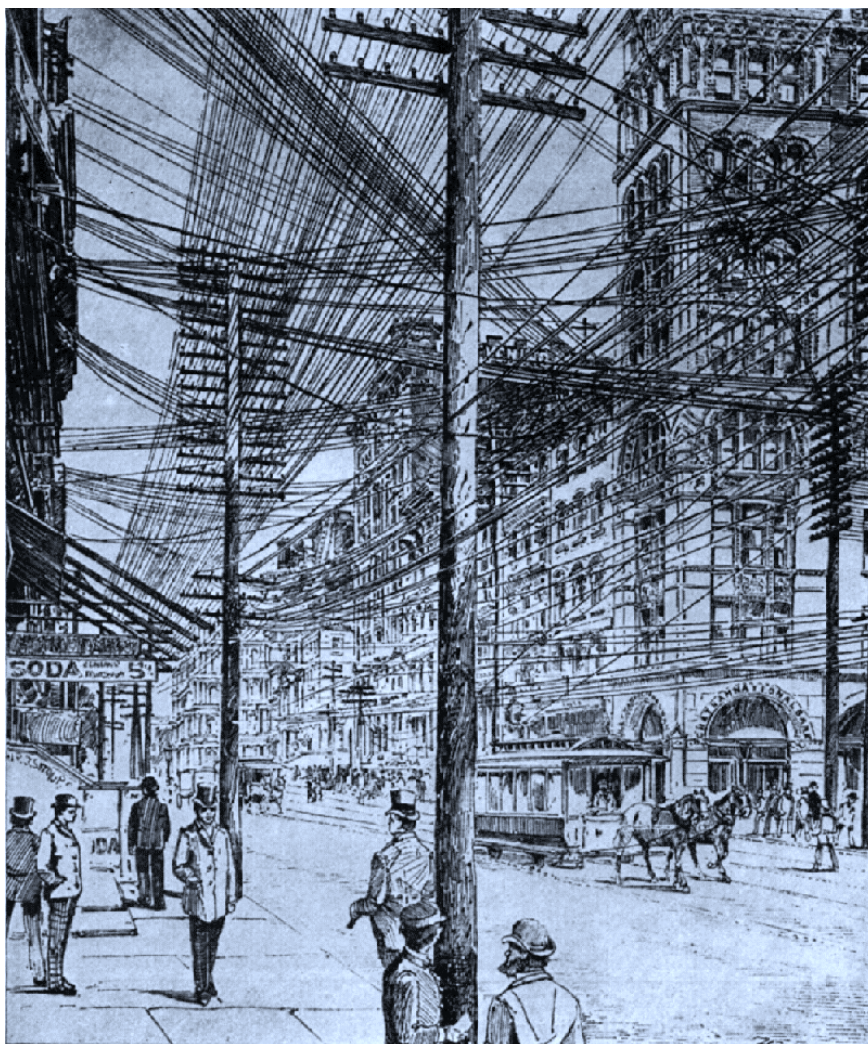
Οι συγγραφείς του βιβλίου είναι όλοι στελέχη της Γενικής Διεύθυνσης Τεχνολογιών του ΟΤΕ, υπηρεσιακά αρμόδιοι για τα αντικείμενα που πραγματεύονται, και συνδυάζουν αξιόλογα ακαδημαϊκά προσόντα και πολυετή υπηρεσιακή εμπειρία. Ειδικότερα:

Ο Χρήστος Βασιλόπουλος έχει πτυχίο τηλεπικοινωνιακού μηχανικού (BSc+M.Sc./ 1983) του Πανεπιστημίου του Λονδίνου και διδακτορικό δίπλωμα (Ph.D/1987) από το Imperial College of Science and Technology με αντικείμενο την τεχνολογία οπτικών επικοινωνιών. Εργάστηκε: την περίοδο 1989-92 στο Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών και Πληροφορικής του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος ως Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, την περίοδο 1992-94 ως ειδικός επιστήμονας σε θέματα δικτύων στο ΚΗΥΚΥ (ΝΠΔΔ του Υπουργείου Υγείας) και την περίοδο 1994-96 ως στέλεχος της εταιρίας ΕΛ.ΑΝ.ΕΤ. υπεύθυνος για την τεχνική πιστοποίηση έργων του προγράμματος ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ – Έργα Ιδιωτικού Τομέα. Στον ΟΤΕ εργάζεται από το 1996 ως εξειδικευμένος μηχανικός, ενώ από το 2005 είναι προϊστάμενος της Υποδιεύθυνσης Δικτύων Πρόσβασης της Διεύθυνσης Τεχνολογιών Δικτύων. Διαθέτει πολυετή διδακτική εμπειρία στη ΣΜΑ, στα ΤΕΙ Πειραιά και στις σχολές του ΟΤΕ. Έχει 18 δημοσιεύσεις σε διεθνή τεχνικά περιοδικά, 20 παρουσίες σε συνέδρια, ενώ έχει συμμετάσχει και στη συγγραφή τεσσάρων βιβλίων. Για την προσφορά του στον ΟΤΕ δύο φορές του

Μέρος Α

Ενσύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Χρ. Βασιλόπουλος, Δ. Κωτούλας



Manhattan 1890

Περίληψη

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μια ποιοτική προσέγγιση στην ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς, βασισμένη σε υλοποιήσεις FTTx. Αρχίζει με μια σύντομη περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του «παραδοσιακού» δικτύου πρόσβασης και έναν υπολογισμό των αναμενόμενων μελλοντικών απαιτήσεων σε ταχύτητες πρόσβασης κάθε νοικοκυριού ανά υπηρεσία. Ακολουθεί πλήρης αναφορά στις διαθέσιμες τεχνολογίες, που βασίζονται στη χρήση οπτικής ίνας (FTTx), στις τεχνολογίες πρόσβασης (xDSL, Ethernet και PON) και στις επιλογές καλωδιακής υποδομής, που χρησιμοποιούνται για σημείο-σημειακές (P2P) και σημείο-πολυσημειακές (P2MP) υλοποιήσεις. Τέλος, εξετάζονται η προοπτική και οι στρατηγικές ανάπτυξης ενός δικτύου πρόσβασης νέας γενιάς υπό το πρίσμα ενός πολύπλοκου, μεταβλητού τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος, στο οποίο συμμετέχουν ενεργά και ανταγωνιστικά εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (παραδοσιακές και νεοσύστατες), ρυθμιστικές αρχές (εθνικές και υπερεθνικές), κατασκευαστές και προμηθευτές τηλεπικοινωνιακού υλικού, εργολάβοι «δημόσιων» έργων και διάφορες ομάδες συμφερόντων, όλοι επιδιώκοντας την προώθηση και προάσπιση των αλληλοσυγκρουόμενων οικονομικών συμφερόντων τους. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την περιγραφή διαφορετικών στρατηγικών ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης NGA για εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

1.1 Εισαγωγή

Ο όρος NGA (New Generation Access) αναφέρεται σε Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς, μια νέα προσέγγιση στην αρχιτεκτονική ενός «μελλοντικού» δικτύου πρόσβασης, που θα άρει τους περιορισμούς του παραδοσιακού χάλκινου δικτύου σε εύρος ζώνης, προσφέροντας στους συνδρομητές του τη δυνατότητα για ταχύτητες αρκετά υψηλές, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες τους για τα επόμενα πενήντα έτη. Σχετίζεται στενά με τον όρο NGN (New Generation Network), που αναφέρεται στη γενική δομή του Δικτύου Νέας Γενιάς, και αναμένεται, μελλοντικά, να μετατρέψει την πολύπλοκη δικτυακή δομή του υφιστάμενου παραδοσιακού TDM δικτύου (Time Division Multiplexing, Πολυπλεξία με Διάρθρωση Χρόνου), σε ένα ενιαίο δίκτυο βασισμένο στο πρωτόκολλο IP (Internet Protocol).

Όλοι συμφωνούν ότι το μελλοντικό δίκτυο πρόσβασης θα βασίζεται εξ ολοκλήρου στη χρήση οπτικής ίνας, που θα φθάνει τελικά σε κάθε σπίτι (αρχιτεκτονική Fibre To The Home – FTTH), αν και είναι δύσκολο να δεχθεί κανείς, επί του παρόντος, με τεchnο-οικονομικά κριτήρια, την παροχή αποκλειστικά υπηρεσιών τηλεφωνίας (POTS) πάνω από οπτική ίνα, λόγω του πολύ υψηλότερου κόστους σε σύγκριση με την παραδοσιακή τηλεφωνία μέσω του δικτύου χαλκού. Οι περισσότερες εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιών υπηρεσιών (Telco – Telecommunication Companies) έχουν ήδη αποφασίσει να υιοθετήσουν την επιλογή FTTH σε περιβάλλοντα «Greenfield»¹, ενώ σε πολλές χώρες επιβάλλονται νέοι κανονισμοί εσωτερικής τηλεπικοινωνιακής καλωδίωσης κτιρίων², με στόχο να βοηθηθεί η μελλοντική εγκατάσταση οπτικών ινών σε οικιστικά συγκροτήματα μέχρι τα διαμερίσματα των συνδρομητών.

Αυτό που παραμένει ακόμη υπό ισχυρή αμφισβήτηση και συζήτηση στον τηλεπικοινωνιακό και ακαδημαϊκό χώρο³, δεν είναι τόσο το τελικό αποτέλεσμα της προοδευτικής εξέλιξης του δικτύου πρόσβασης από χάλκινο σε εξ ολοκλήρου οπτικό, όσο τα εξελικτικά στάδια και η διάρκειά τους. Εάν ανατρέξουμε στην ιστορία ανάπτυξης του χάλκινου αστικού δικτύου σε ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ, γίνεται φανερό ότι η όλη διαδικασία υπήρξε μακρά, ενώ οι επενδύσεις που χρειάστηκαν, ήταν τεράστιες και καλύφθηκαν αποκλειστικά από δαπάνες των Εθνικών Οργανισμών Τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να παρέχε-

¹ Ανάπτυξη αστικού δικτύου σε εξ ολοκλήρου νέες οικιστικές περιοχές, πρότυπους οικισμούς κλπ. Εταιρίες όπως η BT, η FT και η Telefonica έχουν ανακοινώσει υλοποιήσεις FTTH σε περιβάλλοντα Greenfield.

² Στην Ελλάδα, το Υπουργείο Μεταφορών έθεσε σε δημόσια διαβούλευση τον Οκτώβριο του 2008 το νέο κανονισμό για την εσωτερική καλωδίωση κτιρίων, που αναμένεται να ισχύσει από το 2009.

³ Στην Ελλάδα, οι ακαδημαϊκοί κύκλοι διαθέτουν μεγαλύτερη επιρροή από άλλες ευρωπαϊκές χώρες λόγω της συχνής συμμετοχής τους στην άσκηση πολιτικής μέσω της κεντρικής εξουσίας.

ται στους πολίτες η τηλεφωνία ως δημόσιο αγαθό. Το όλο εγχείρημα διήρκεσε πάνω από πενήντα έτη, η ανάπτυξη του δικτύου ξεκίνησε από τα μεγάλα αστικά κέντρα και επεκτάθηκε βαθμιαία προς την περιφέρεια ακολουθώντας την οικιστική ανάπτυξη, ενώ το συνολικό κόστος υπήρξε τεράστιο. Η αντικατάσταση του υφιστάμενου χάλκινου δικτύου, σε αστικές και ημιαστικές περιοχές, από ένα νέο επάλληλο οπτικό δίκτυο, σε διάρκεια δέκα ετών, αποτελεί αφ' εαυτού μια σημαντική πρόκληση, ενώ απαιτείται μια τεράστια οικονομική επένδυση, που δεν θα μπορούσε εύκολα να δικαιολογηθεί στα επιχειρηματικά σχέδια των εταιρειών τηλεπικοινωνίας, υπό τις παρούσες δύσκολες οικονομικές συνθήκες του ανταγωνιστικού τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος.

Μια εναλλακτική προσέγγιση, που βασίζεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο με χρήση FTTC (Fibre To The Cabinet) και VDSL2, εμφανίζεται περισσότερο οικονομική, αφού αξιοποιεί το μικρότερο μήκους απερχόμενο καλωδιακό δίκτυο χαλκού (απόσταση μέχρι το συνδρομητή <500m), προσφέροντας τη δυνατότητα για ταχύτητες πρόσβασης μεγαλύτερες από 50 Mbit/s με κόστος σημαντικά μικρότερο⁴ από εκείνο του FTTH.

Από οικονομικής άποψης, είναι εμφανές ότι η συνδυασμένη χρήση του FTTC με την τεχνολογία πρόσβασης VDSL2 αποτελούν μια περισσότερο ρεαλιστική προσέγγιση στην ανάπτυξη του δικτύου NGA, ιδιαίτερα σε περιοχές που το υφιστάμενο απερχόμενο δίκτυο χαλκού είναι μικρού μήκους και καλής ποιότητας. Παρά ταύτα, στο περίπλοκο σημερινό τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, η στρατηγική⁵ των εμπλεκόμενων φορέων επηρεάζεται από τις μεταξύ τους συμμαχίες και τα αντικρουόμενα συμφέροντά τους. Είναι επομένως σημαντικό να γίνουν κατανοητές, τόσο οι βασικές στρατηγικές επιλογές για την υλοποίηση δικτύων NGA, όσο και όλα τα πιθανά σενάρια προσέγγισης από την άποψη κάθε εμπλεκόμενου φορέα.

Το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε οκτώ ενότητες εξετάζοντας: την παραδοσιακή δομή του «χάλκινου» αστικού δικτύου, τις παρούσες και μελλοντικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και τις απαιτήσεις τους σε ταχύτητα πρόσβασης, τις διαθέσιμες τεχνολογίες, τοπολογίες και καλωδιακές επιλογές πρόσβασης, τις διαφορετικές υλοποιήσεις και τις στρατηγικές υλοποίησης δικτύων NGA.

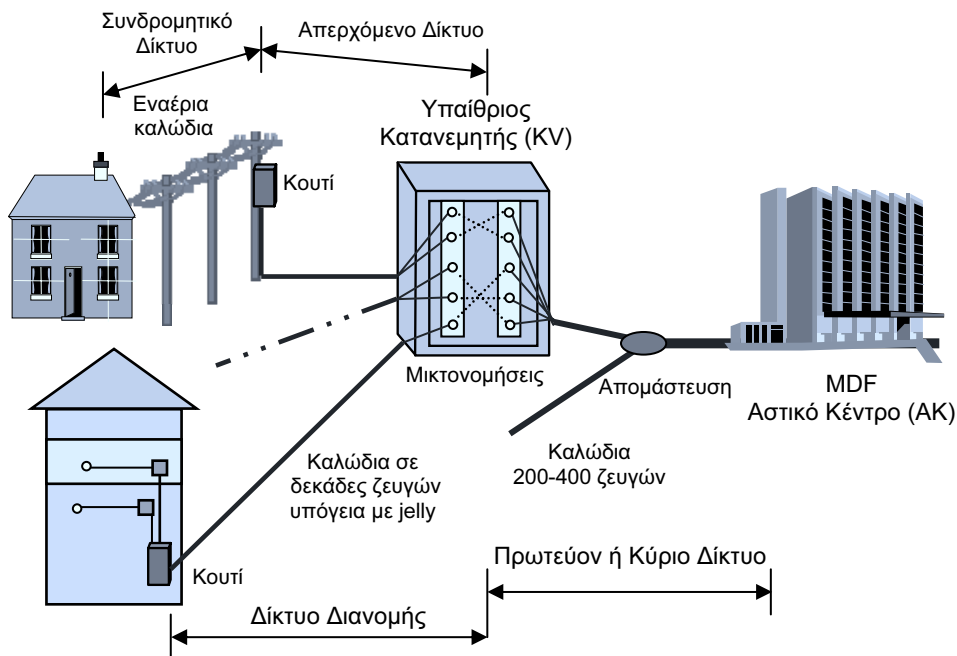
⁴ Μελέτες διάφορων ανεξάρτητων εταιριών συμβούλων συγκλίνουν ότι το κόστος του FTTC θα είναι από 1/6 έως 1/5 του κόστους για FTTH.

⁵ «ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ είναι αυτό στο οποίο αναφερόμαστε προκειμένου να δικαιολογήσουμε κάτι το οποίο δεν μπορεί εύκολα να δικαιολογηθεί από τεχνικο-οικονομικά δεδομένα» FITCE 2002.

1.2 Ορισμοί – Η παραδοσιακή δομή του Δικτύου Πρόσβασης

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακής Τυποποίησης (European Telecommunications Standards Institute – ETSI), ως δίκτυο πρόσβασης⁶ ορίζεται το τμήμα του δικτύου που συνδέει το συνδρομητή με το αστικό του κέντρο (ΑΚ), περιλαμβάνοντας το πρωτεύον ή «κύριο δίκτυο», το δευτερεύον ή «απερχόμενο δίκτυο» και το «συνδρομητικό δίκτυο», όπως περιγράφονται στο Σχήμα 1.1. Το απερχόμενο και συνδρομητικό δίκτυο αναφέρονται συχνά από κοινού ως «δίκτυο διανομής».

Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η προσέγγιση του «αρθρωτού» δικτύου με τρία διακριτά τμήματα, όπως περιγράφεται στο Σχήμα 1.1, υπάρχουν και περιπτώσεις μεγάλων ειδικών πελατών, όπως υπουργεία, νοσοκομεία, αστυνομία, τράπεζες, όπου κυρίως για λόγους ασφαλείας, το κύριο δίκτυο τερματίζεται απ' ευθείας στο χώρο του συνδρομητή υπό τη μορφή «σταθερού» δικτύου⁷.



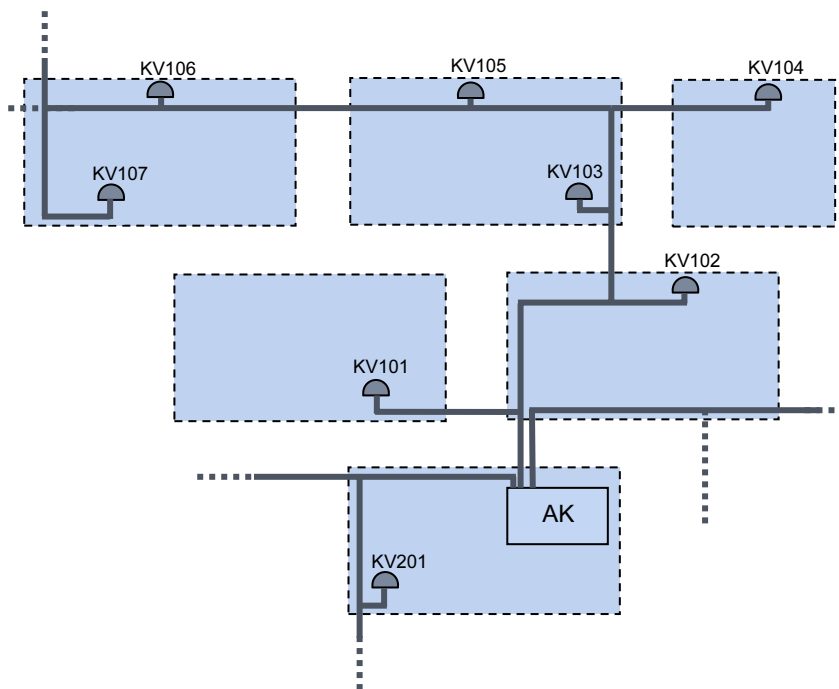
Σχήμα 1.1 Παραδοσιακή ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης σε ευρωπαϊκές χώρες.

⁶ Αναφέρεται επίσης ως «αστικό δίκτυο», τοπικός βρόχος, χάλκινος βρόχος ή τελευταίο μίλι (last mile – ΗΠΑ)

⁷ Στις Ευρωπαϊκές χώρες μόνο το 15%, από τα συνολικά 287.209.000 ζεύγη αστικού δικτύου είναι στη μορφή σταθερού δικτύου. ΠΗΓΗ: EURESCOM 1998

Το δίκτυο πρόσβασης σχεδιάστηκε αρχικά και κατασκευάστηκε σταδιακά, σε μια διάρκεια πενήντα και πλέον ετών, για την παροχή υπηρεσιών κοινής τηλεφωνίας (Plain Ordinary Telephony Services – POTS) σε συνδρομητές. Χρησιμοποιεί αθωράκιστα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών ή τετράδων⁸, που ξεκινούν από τον κύριο κατανεμητή (Main Distribution Frame – MDF) του αστικού κέντρου (ΑΚ) και τερματίζουν στην υποδοχή τερματισμού δικτύου (Network Termination Equipment – NTE), στο χώρο του συνδρομητή. Σε κάθε συνδρομητή αντιστοιχεί ένα ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών⁹, που τον συνδέει με το οικείο αστικό κέντρο.

Το κύριο δίκτυο, που περιγράφεται στο Σχήμα 1.2, περιλαμβάνει ένα πλήθος καλωδίων μεγάλης χωρητικότητας μέχρι και 2.400 ζευγών, που ξεκινούν από το αστικό κέντρο και αναπτύσσονται σε δενδροειδή τοπολογία γύρω από αυτό, με περισσότερους κύριους κλάδους, διακλαδώσεις και απομαστεύσεις σε



Σχήμα 1.2 Σχηματική ανάπτυξη κύριου δικτύου αστικού κέντρου.

⁸

Αν και στις περισσότερες χώρες, όπως στις ΗΠΑ, Μ. Βρετανία κλπ χρησιμοποιούνται καλώδια ομαδοποιημένα σε ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών, σε κεντροευρωπαϊκές χώρες, όπως στη Γερμανία, Αυστρία, Τσεχία κλπ προτιμάται η ομαδοποίηση των αγωγών σε αστεροειδή τετράδα. Ο ΟΤΕ, για ιστορικούς λόγους, χρησιμοποιεί καλώδια βασισμένα στην αστεροειδή τετράδα.

⁹

Στην περίπτωση χρήσης καλωδίων αστεροειδούς τετράδας το ζεύγος κάθε συνδρομητή περιλαμβάνει τους ευρισκόμενους διαγωνίως αγωγούς.

Συμπεράσματα

Το NGA είναι ένας ποιοτικός όρος που αναφέρεται στη σταδιακή μεταμόρφωση του υφιστάμενου δικτύου πρόσβασης σε ένα ευρυζωνικό δίκτυο μέσω μαζικών υλοποιήσεων της τεχνολογίας FTTx, όπου η παράμετρος x , που καθορίζει την διείσδυση της οπτικής ίνας στο δίκτυο, καθίσταται «συνάρτηση τηλεπικοινωνιακής στρατηγικής, ρυθμιστικού περιβάλλοντος, διαθέσιμων πόρων πάγιου και λειτουργικού κόστους, εμπορικής πολιτικής (Mbps/€), ανταγωνισμού και αναμενόμενων υπηρεσιών»¹⁸⁴.

Αν και οι υλοποιήσεις FTTB/H αναμένεται να αποτελέσουν το τελικό στάδιο της μεταμόρφωσης αυτής, το πολύ υψηλό κόστος της επένδυσης, που απαιτείται για την κατασκευή του νέου οπτικού δικτύου πρόσβασης, δείχνει ότι η εξέλιξη αυτή θα συμβεί σε βάθος χρόνου (για τα επόμενα δέκα χρόνια) και πιθανότατα θα μεσολαβήσει ένα ενδιάμεσο στάδιο υλοποιήσεων FTTC με VDSL2. Εξάλλου, η ταχύτητα των 50 Mbit/s ανά νοικοκυριό, που αναμένεται ότι θα καλύπτει πλήρως τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες μιας οικογένειας για τα επόμενα 5 χρόνια, υποστηρίζεται εύκολα από την τεχνολογία VDSL2. Για τους λόγους αυτούς οι υλοποιήσεις FTTC+VDSL2 δεν πρέπει να θεωρούνται σαν εμπόδιο στην ανάπτυξη του FTTB/H, αλλά σαν ένα ενδιάμεσο βήμα, που θα δώσει τον κατάλληλο χρόνο στην τεχνολογία FTTH να ωριμάσει, επιτρέποντας τη βαθμιαία μεταμόρφωση του δικτύου σε μακρύτερο χρονικό ορίζοντα με βάση την τεchnο-οικονομική προσέγγιση «επενδύω καθώς αναπτύσσομαι» (pay as you grow).

Οι υπέρμαχοι του FTTH και οι ρυθμιστικές αρχές επιχειρηματολογούν κατά της αναγκαιότητας του ενδιάμεσου αυτού βήματος, επικαλούμενοι ρυθμιστικά προβλήματα, και προσπαθούν να επιταχύνουν την διαδικασία μεταμόρφωσης μέσω αναζήτησης χρηματοδότησης από τις δημόσιες επενδύσεις ή την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αν το πετύχουν, η πλάστιγγα θα γύρει υπέρ του FTTH και θα οδηγηθούμε σε μαζικές υλοποιήσεις στα επόμενα 5 με 10 χρόνια, εισάγοντας ένα νέο τηλεπικοινωνιακό μοντέλο, στο οποίο θα υπάρχει μόνον ένας πάροχος υποδομής δικτύου πρόσβασης και πολλοί ανταγωνιζόμενοι πάροχοι υπηρεσιών. Αυτό θα έχει σημαντικές επιπτώσεις στο συνολικότερο τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον του δικτύου πρόσβασης με τον ανταγωνισμό δύο μονοπωλίων υποδομής, του παλαιού χάλκινου δικτύου που ανήκει στον κυρίαρχο φορέα, ο οποίος το μισθώνει στους εναλλακτικούς φορείς μέσω φυσικής συνεγκατάστασης, και του νέου οπτικού δικτύου πρόσβασης, που θα ανήκει στο νέο

184

Αναφέρθηκε από Δούκογλου Τ. στην παρουσίαση «FTTx the Choices, the Roles & the Players (Incumbent Operator's View)» στο Athens Workshop on New Generation Access, 11/4/2008

πάροχο, ο οποίος θα το μισθώνει εξίσου σε όλους τους ενδιαφερόμενους τηλεπικοινωνιακούς φορείς.

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που αναμένεται να γνωρίσουμε τα προσεχή έτη είναι φιλόδοξα σχέδια πολύ μεγάλων επενδύσεων στο δίκτυο πρόσβασης. Η ιστορία μας διδάσκει ότι στις τηλεπικοινωνίες τα φιλόδοξα, υψηλού κόστους σχέδια με μεγάλο ορίζοντα υλοποίησης συνήθως αποτυγχάνουν εκτός αν υπάρξει καθολική στήριξη από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη (κυβερνήσεις, ρυθμιστικές αρχές, τηλεπικοινωνιακούς φορείς, δημοτικές και κοινοτικές αρχές, επενδυτικά ιδρύματα κλπ). Ευελπιστούμε ότι αυτή τη φορά το εγχείρημα θα στεφθεί με επιτυχία, αφού το δίκτυο χαλκού πλησιάζει στο τέλος του χρόνου ζωής του και ένα νέο οπτικό δίκτυο πρόσβασης θα αποτελέσει το βασικό εργαλείο ανάπτυξης για τα επόμενα πενήντα έτη.

Μέρος Β

Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Δ. Ξενικός, Π. Βούδδας



Ιστός ΟΤΕ στη θέση Κουρί

Περίληψη

Η πρωτόγνωρη και ταχύτατη εξάπλωση των τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών είναι ένα τεχνικό και κοινωνικό εγχείρημα παγκόσμιας εμβέλειας. Κυψελωτά δίκτυα, που οι βασικές τους αρχές διατυπώθηκαν τη δεκαετία το '40 και που ως το 1990 αριθμούσαν λίγα εκατομμύρια τηλεφωνικές συνδέσεις, σήμερα παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων στο ήμισυ σχεδόν του πληθυσμού της γης. Η δυνατότητα πρόσβασης οπουδήποτε στον κόσμο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, διαφαίνεται πλέον ως εφικτό ενδεχόμενο με τα κυψελωτά δίκτυα νέας γενιάς (NGN – New Generation Networks), καθώς αυτά υιοθετούν την αρχιτεκτονική του διαδικτύου και χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας IP. Τα σημαντικά τεχνικά και κανονιστικά ζητήματα αυτής της πορείας συνοψίζονται στο πρώτο μέρος του παρόντος κεφαλαίου.

Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που έχουν παρουσία στην Ελλάδα, καθώς και στις μελλοντικές τους κατευθύνσεις.

Τέλος, στο τρίτο μέρος αναπτύσσεται διεξοδικά η τεχνολογία των δικτύων WiMAX, η πλέον ώριμη τεχνολογία που είναι σήμερα διαθέσιμη για παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών φωνής και δεδομένων, σε μητροπολιτική κλίμακα. Εξετάζεται η κατηγοριοποίηση και εξέλιξη του τεχνολογικού προτύπου, παρατίθενται οι καινοτόμες τεχνικές της ραδιοεπαφής και οι μηχανισμοί διασφάλισης της ποιότητας των υπηρεσιών, γίνεται ανάλυση σημαντικών επί μέρους χαρακτηριστικών της τεχνολογίας, ενώ εκτός από περιγραφή του υλικοτεχνικού εξοπλισμού, παρατίθενται ενδεικτικές τοπολογίες του WiMAX ως τεχνολογία δικτύου πρόσβασης και η διασύνδεσή του με τα δίκτυα μετάδοσης.

2.1 Η πορεία προς τα Κυψελωτά Δίκτυα NGN

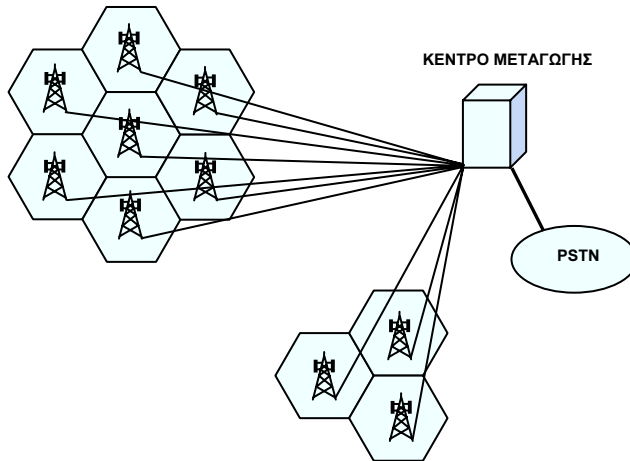
2.1.1 Ταξινόμηση Κυψελωτών Τεχνολογιών σε Γενεές

Η ιδέα της κυψελωτής επικοινωνίας γεννήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1947. Οι βασικές αρχές λειτουργίας αναφέρονταν σε ένα εσωτερικό, αδημοσίευτο κείμενο του D. H. Ring των εργαστηρίων Bell τη χρονιά εκείνη. Το κείμενο διερευνούσε τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι κινητοί συνδρομητές, από συστήματα που χρειάζονταν το λιγότερο δυνατό φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Η λύση που προτάθηκε συνδύαζε τα εξής:

- Την υλοποίηση ενός δικτύου από μικρές γεωγραφικά περιοχές, οι οποίες αποκαλούνται «κυψέλες»
- Έναν μικρής ισχύος «σταθμό βάσης» για εκπομπή/λήψη σε κάθε κυψέλη
- Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων λειτουργίας από σταθμούς βάσης που εξυπηρετούν κυψέλες, που δεν είναι γειτονικές
- Διαδικασία μετάβασης του κινητού χρήστη από μια κυψέλη σε άλλη γειτονική, χωρίς διακοπή επικοινωνίας
- Έλεγχο τηλεπικοινωνιακής κίνησης από ένα κεντρικό τηλεπικοινωνιακό κόμβο

Οι παραπάνω αρχές παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1. Κάθε κυψέλη μπορεί να εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο μέγιστο πλήθος χρηστών, ανάλογα με τους τεχνικούς περιορισμούς του σταθμού βάσης. Έτσι, σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να μεγαλώνει μικραίνοντας τις κυψέλες και αυξάνοντας το πλήθος τους, ώστε να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν περισσότεροι συνολικά χρήστες. Έχει επικρατήσει να χωρίζονται οι κυψέλες ανάλογα με το μέγεθός τους στις κατηγορίες του Πίνακα 2.1. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε ιδιαίτερα στα δίκτυα WMAN.

Παρότι οι αρχές των κυψελωτών δικτύων διατυπώθηκαν στα μέσα του 20ού αιώνα, αρχικά εξελίχθηκαν με εξαιρετική βραδύτητα, και μόνο τα τελευταία 20 έτη η πορεία αυτή επιταχύνθηκε σημαντικά. Έχει επικρατήσει στη βιβλιογραφία να χωρίζουμε την πορεία ανάπτυξης των κινητών επικοινωνιών σε «γενεές», οι οποίες ομαδοποιούν τεχνολογικά συστήματα και σηματοδοτούν σημαντικά τεχνικά επιτεύγματα. Παράλληλα με τις τεχνικές εξελίξεις, σε κάθε γενιά εμφανίζονταν κανονιστικά ζητήματα εξασφάλισης ραδιοφάσματος για τη λειτουργία των δικτύων και ρύθμισης του ανταγωνιστικού περιβάλλοντος στην αγορά, που οδηγούσαν σε καθυστερήσεις στην ανάπτυξη και, κάποιες



Σχήμα 2.1 Βασικές αρχές κυψελωτής επικοινωνίας.

Πίνακας 2.1 Τύπος κυψελών σε κυψελωτά δίκτυα.

Ονομασία	Τύπος δικτύων	Τυπική ακτίνα κυψέλης	Τεχνολογίες (ενδεικτικά)
Global-cell	Δορυφορικά	>30 km	Δορυφορικές επικοινωνίες
Macro-cell	WWAN / WMAN	1-30 km	Δίκτυα κινητών επικοινωνιών 3GPP, WiMAX, TETRA
Micro-cell		200 m – 2 km	Δίκτυα κινητών επικοινωνιών 3GPP, WiMAX
Pico-cell	WLAN	4-200 m	DECT, WiFi
Femto-cell	WPAN	<10 m	Φεμτοκυψέλες, Bluetooth ¹

φορές, σε κλυδωνισμούς στον τηλεπικοινωνιακό κλάδο. Σήμερα τα κυψελωτά δίκτυα έχουν παγκόσμια εξάπλωση, βελτιώνοντας διαρκώς το είδος και την ποιότητα παρεχομένων υπηρεσιών φωνής και δεδομένων.

Με τον όρο «0G» (μηδενική γενιά) χαρακτηρίζονται οι πρώτες προσπάθειες για παροχή κινητής τηλεφωνίας από δίκτυα που υπήρξαν πρόδρομοι των κυψελωτών δικτύων. Το αρχικό αυτό στάδιο διήρκεσε πάνω από 40 έτη. Στα κανονιστικά ζητήματα που χαρακτηρίζουν την αντίστοιχη χρονική περίοδο, περιλαμβάνεται και η μεγάλη καθυστέρηση στην απονομή του απαραίτητου φάσματος συχνοτήτων από τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές για τη δημιουργία των δικτύων σε ΗΠΑ και Ευρώπη. Στα τεχνικά ζητήματα, αποδείχθηκε απαραίτητο να προηγηθεί η ανάπτυξη μικροϋπολογιστών και συστημάτων κωδικοποίησης, επεξεργασίας και πολυπλεξίας ψηφιακού σήματος, ώστε να ξεπερα-

¹ Ονομασία τηλεπικοινωνιακού συστήματος από την αγγλική προφορά του ονόματος του βασιλιά της Δανίας Harald I (Blåtönn ή Blåtand), ο οποίος συνένωσε τα τοπικά φύλα σε μία εθνική οντότητα. Αντίστοιχα, στόχος του Bluetooth ήταν να ενοποιήσει διάφορα τεχνολογικά πρότυπα κατασκευαστών σε ένα διεθνές πρότυπο.

Συμπεράσματα

Τα δίκτυα κυψελωτών επικοινωνιών μεταλλάσσονται σταδιακά για να υποστηρίξουν τις σύγχρονες ανάγκες παροχής κινητών υπηρεσιών φωνής και δεδομένων.

Η εξέλιξη των δικτύων χαρακτηρίζεται από δύο σημαντικές συνιστώσες της αρχιτεκτονικής NGN – την πορεία προς την εφαρμογή πλήρους δικτυακής τοπολογίας IP και τη σταδιακή υιοθέτηση τεχνικών σύγκλισης κινητών και σταθερών επικοινωνιών στον τομέα των υπηρεσιών.

Η δεσπόζουσα τεχνολογία μακροκυψελωτών δικτύων στην Ευρώπη είναι αυτή που υλοποιεί το πρότυπο 3GPP, την οικογένεια δηλαδή GSM. Σήμερα τα δίκτυα αυτά κινητών επικοινωνιών αναβαθμίζονται βαθμιαία σύμφωνα με τις προδιαγραφές HSPA και HSPA+, συνδυάζοντας υπηρεσίες TDM φωνής και υπηρεσίες δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης ως το (θεωρητικό) τεχνολογικό όριο. Εκτιμάται ότι η έλευση του LTE τα επόμενα χρόνια θα επιτύχει σημαντική πρόοδο στην παροχή υπηρεσιών όχι μόνο με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αλλά και με εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) για ευαίσθητες διαδραστικές εφαρμογές.

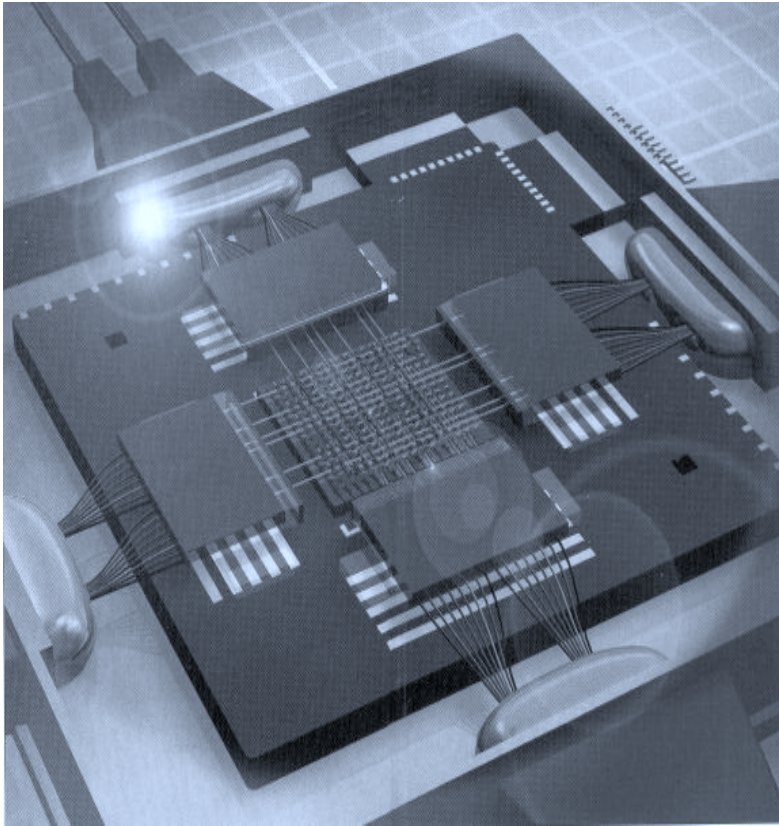
Τα τελευταία χρόνια έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται και ασύρματα δίκτυα σταθερού και κινητού WiMAX σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, στη φασματική ζώνη των 3,5 GHz που έχει αποδοθεί από τις εθνικές ρυθμιστικές αρχές για το σκοπό αυτό σε κύριους και εναλλακτικούς παρόχους. Τα δίκτυα αυτά εκμεταλλεύονται τεχνολογικά χαρακτηριστικά του προτύπου, που προσφέρουν πλεονεκτήματα έναντι των σημερινών υλοποιήσεων 3G, τόσο στον τομέα αντικατάστασης παλαιών συστημάτων σταθερής ασύρματης πρόσβασης όσο και στον τομέα ταχείας ανάπτυξης ασύρματων κινητών δικτύων ευρυζωνικής πρόσβασης.

Στα πλαίσια της μετάβασης των δικτύων των Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων σε NGN, πολλές εταιρίες προχωρούν στην εξέταση και επιλεκτική υλοποίηση των παραπάνω τεχνολογιών, στα πλαίσια της ολοκληρωμένης εμπειρίας του τελικού χρήστη στα νέα προϊόντα υπηρεσιών IP.

Μέρος Γ

Μελλοντικές Υλοποιήσεις Δικτύων Πρόσβασης

Γ. Χελιώτης, Γ. Αγαπίου, Τ. Δούκογλου



Οπτικός Μεταγωγέας 2D – Σχηματική παρουσίαση του WaveStar LambdaRouter της Lucent

Περίληψη

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται μελλοντικές υλοποιήσεις ενσύρματων και ασύρματων δικτύων πρόσβασης, που υπόσχονται να ικανοποιήσουν τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες σε εύρος ζώνης στον τελικό πελάτη. Συγκεκριμένα, αναλύονται τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης με πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος (WDM-PON), τα συνδυαστικά δίκτυα πρόσβασης FTTC/B τεχνολογίας PON/VDSL2 και τα ασύρματα δίκτυα τεχνολογίας LTE.

3.1 Τεχνολογικές Εξελίξεις Δικτύων PON

3.1.1 Εισαγωγικά στοιχεία οπτικών δικτύων πρόσβασης

Αδιαμφισβήτητα, τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης (δηλαδή δίκτυα πρόσβασης, τα οποία βασίζονται, σε μεγάλο βαθμό ή ακόμα και εξ ολοκλήρου, σε υποδομές οπτικών ινών) αποτελούν μονόδρομο για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους παγκοσμίως και αναμένεται να αποτελέσουν την κυρίαρχη μορφή ευρυζωνικών συνδέσεων στο εγγύς μέλλον. Τα δίκτυα αυτά υπόσχονται να ικανοποιήσουν αποδοτικά τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, καθώς και να υποστηρίξουν πλήθος καινοτόμων υπηρεσιών και δικτυακών ευκολιών, μεταμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο βιώνουμε την ευρυζωνικότητα, παρέχοντας πλούσιες δυνατότητες για νέους τρόπους εργασίας, ενημέρωσης, ψυχαγωγίας και επικοινωνίας.

Όπως συζητήθηκε και στο Κεφάλαιο 1 του βιβλίου αυτού, τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δίκτυα FTTH (Fiber-To-The-Home), FTTB (Fiber-To-The-Building), FTTC (Fiber-To-The-Cabinet) κτλ. ανάλογα με το βαθμό διείσδυσης των οπτικών ινών προς τις οικίες των συνδρομητών. Οι αντίστοιχες δικτυακές υλοποιήσεις (συνήθως FTTB/H) μπορούν επίσης να διαχωριστούν σε P2P (σημείο-σημειακές) και P2MP (σημείο-πολυσημειακές), ανάλογα με την υιοθετούμενη τεχνολογία και αρχιτεκτονική. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πλήρως P2P υλοποιήσεις απαιτούν μεγάλο αριθμό οπτικών ινών, αυξάνοντας έτσι το κόστος της απαιτούμενης υποδομής και μειώνοντας την πρακτικότητά τους. Ως εκ τούτου, περισσότερο ελκυστικές διαφαίνονται οι δικτυακές υλοποιήσεις τύπου P2MP, οι οποίες μπορούν τεχνολογικά να διαχωριστούν με τη σειρά τους σε P2MP ενεργά οπτικά δίκτυα (P2MP Active Optical Networks ή P2MP AONs) και σε παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Networks ή PONs).¹

Στην πρώτη περίπτωση (P2MP AONs) χρησιμοποιείται ενεργός εξοπλισμός (μεταγωγέας Ethernet), που εγκαθίσταται σε υπαίθρια καμπίνα, αποτελώντας το σημείο συγκέντρωσης των ινών του δικτύου διανομής. Ο ενεργός μεταγωγέας της καμπίνας συνδέεται με το αστικό κέντρο με ένα ζεύγος οπτικών ινών (τμήμα κύριου δικτύου), ενώ κάθε πελάτης (κτίριο ή διαμέρισμα) συνδέεται με το μεταγωγέα στην καμπίνα με προσωπικό ζεύγος οπτικών ινών. Το κόστος υλοποίησης δικτύων P2MP AON είναι σημαντικά μικρότερο από εκείνο των πλήρως P2P δικτύων, μειώνονται σημαντικά οι απαιτήσεις υποδομής του κύριου δικτύου καθώς και ο απαιτούμενος χώρος τερματισμού οπτικών ινών

¹

Η προσθήκη του χαρακτηρισμού P2MP στα P2MP AONs γίνεται για την διάκριση τους από τα συνήθη P2P AONs. Παρόμοια διάκριση δεν χρειάζεται στα PONs καθότι είναι εγγενώς P2MP λόγω δομής.

στο αστικό κέντρο, αφού για κάθε σημείο συγκέντρωσης (μεταγωγέας Ethernet) απαιτείται ένα μόνο ζεύγος οπτικών ινών κύριου δικτύου. Παρόλα αυτά, οι υλοποιήσεις αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από αυξημένο κόστος, λόγω της ανάγκης για εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού μεταγωγής σε κάθε υπαίθρια καμπίνα (εύρεση κατάλληλου χώρου και θέσης εγκατάστασης, παροχή ηλεκτρικής τροφοδοσίας, μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας και διαχείρισης εξοπλισμού).

Έτσι οδηγούμαστε στο δεύτερο γενικό τύπο P2MP οπτικών δικτύων πρόσβασης, τα παθητικά οπτικά δίκτυα PON. Η κύρια διαφορά των PONs με τα AONs, είναι ότι αντί του ενεργού εξοπλισμού της καμπίνας χρησιμοποιούνται παθητικοί οπτικοί διαιρέτες ισχύος (optical power splitters). Οι διαιρέτες αυτοί είναι σχετικά απλές φωτονικές διατάξεις συζευγμένων κυματοδηγών, οι οποίες υποδιαίρουν το οπτικό σήμα εισόδου σε πολλαπλά (από 2 έως 64) σήματα εξόδου. Σημειώνεται ότι τα σήματα εξόδου είναι όμοια με το σήμα εισόδου, αλλά μικρότερης ισχύος. Οι διαιρέτες οπτικής ισχύος, που χρησιμοποιούνται σε υλοποιήσεις PONs έχουν, λοιπόν, απλή λειτουργικότητα μόνο στο φυσικό επίπεδο, και ως εκ τούτου είναι συσκευές πολύ χαμηλού κόστους, σε σύγκριση με τους ενεργούς μεταγωγείς των AONs, οι οποίοι όμως παρέχουν και λειτουργίες ανώτερων επιπέδων (2 και 3) του OSI μοντέλου. Σε υλοποιήσεις PON, μία οπτική ίνα συνδέει το αστικό κέντρο με τον οπτικό διαιρέτη, στον οποίο συνδέονται οι πελάτες (κτίρια ή διαμερίσματα) μέσω προσωπικών μεμονωμένων ινών. Η ταυτόχρονη μετάδοση της ανερχόμενης (upstream) και κατερχόμενης (downstream) κίνησης σε μεμονωμένες ίνες στα δίκτυα PONs επιτυγχάνεται μέσω ενός πολύ απλού σχήματος πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing ή WDM). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μήκος κύματος 1310 nm για την ανερχόμενη κίνηση, ενώ για την κατερχόμενη κίνηση χρησιμοποιείται μήκος κύματος 1490 nm για κάθε φύσεως δεδομένα εκτός από σήματα video, για τα οποία έχει προβλεφθεί η χρήση επιπλέον κατερχόμενου μήκους κύματος στα 1550 nm.

Τα δίκτυα τύπου PON θεωρούνται από τους κυρίαρχους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους ως η πιο ελκυστική λύση για την υλοποίηση οπτικών δικτύων πρόσβασης FTTB/H και ως εκ τούτου, επί του παρόντος, χαίρουν της προτίμησής τους. Αυτό οφείλεται κυρίως στην πρακτικότητα που προσφέρουν και στο πολύ σημαντικά χαμηλότερο κόστος τους έναντι αντίστοιχων υλοποιήσεων P2P. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των PON είναι ότι παρέχουν μικρότερο εύρος ζώνης σε κάθε πελάτη, καθότι όλοι οι πελάτες του ίδιου κλάδου ενός δικτύου μοιράζονται το εύρος ζώνης μίας ίνας. Σε αντίθεση, στις υλοποιήσεις P2P ο κάθε πελάτης έχει στη διάθεσή του όλο το εύρος ζώνης της προσωπικής

του ίνας μέχρι το αστικό κέντρο. Στο κεφάλαιο αυτό, και κατόπιν μιας σύντομης επισκόπησης των σημερινών προτύπων PON και των περιορισμών που θέτουν, θα εξετασθούν οι μελλοντικές προοπτικές των δικτύων αυτών ως προς την αύξηση του παρεχόμενου εύρους ζώνης, και συγκεκριμένα οι υλοποιήσεις εκείνες που κάνουν εκτενή χρήση μεθόδων πολυπλεξίας μήκους κύματος.

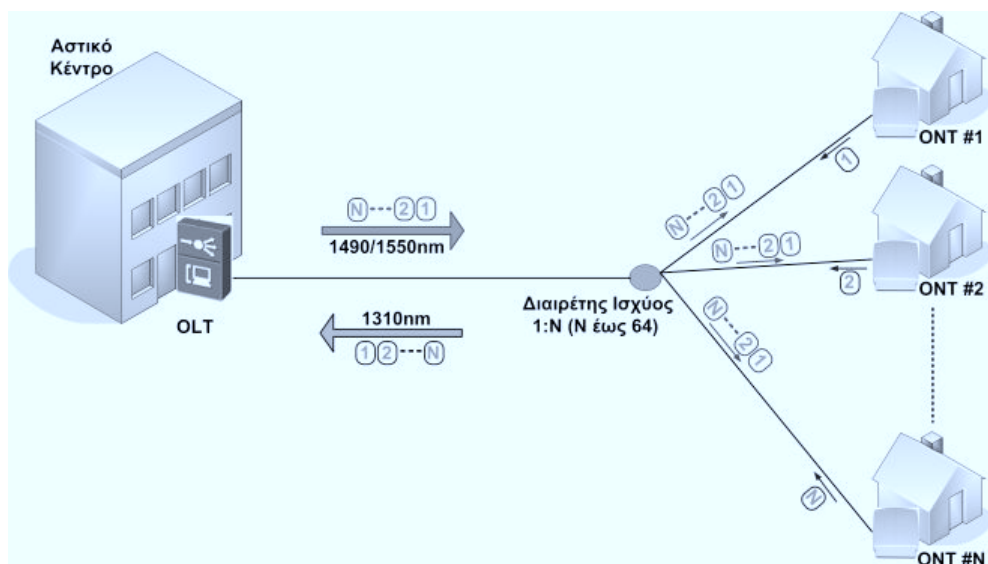
3.1.2 Σημερινά Πρότυπα PON με Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (TDM-PONs)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, τα τρία βασικότερα συστατικά μέρη ενός δικτύου PON είναι το τερματικό οπτικής γραμμής (Optical Line Terminal ή OLT), η μονάδα οπτικού δικτύου (Optical Network Unit ή ONU)² και οι παθητικοί οπτικοί διαιρέτες ισχύος. Το τερματικό οπτικής γραμμής κάθε κλάδου του δικτύου εγκαθίσταται στο αστικό κέντρο, ενώ κάθε τερματικό σημείο του ιδίου κλάδου (ή κάθε τελικός χρήστης) έχει την προσωπική του μονάδα οπτικού δικτύου (ή τερματικό οπτικού δικτύου αντίστοιχα). Σημειώνεται ότι εκτός της δενδροειδούς τοπολογίας, που φαίνεται στο Σχήμα 3.1 (και αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή υλοποίησης), μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εναλλακτικές διατάξεις των οπτικών διαιρετών σε διαφορετικές P2MP τοπολογίες (π.χ. διαύλου ή δακτυλίου) ώστε να ικανοποιηθούν πρόσθετες δικτυακές απαιτήσεις για προστασία της οπτικής γραμμής και για μεγαλύτερη εμβέλεια.

Σήμερα υπάρχουν 3 βασικές τυποποιήσεις δικτύων PON: το Broadband PON (ή BPON), το Gigabit PON (ή GPON) και το Ethernet PON (ή EPON). Οι πρώτες δύο τυποποιήσεις υποστηρίζονται από την ITU (International Telecommunications Union), ενώ η τρίτη από το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Στην πραγματικότητα, η πρώτη τυποποίηση δικτύου πρόσβασης PON ονομαζόταν APON και περιέγραφε την λειτουργία ενός PON με ενθυλάκωση ATM (Asynchronous Transfer Mode). Είχε δημιουργηθεί την δεκαετία του 90 από την Full Service Access Network group (FSAN), μία συνεργασία 7 κυρίαρχων τηλεπικοινωνιακών παρόχων, αλλά στην συνέχεια μετεξελίχθηκε και μετονομάστηκε σε BPON, ώστε να τονίζεται η υποστήριξη και επιπρόσθετων υπηρεσιών, εκτός της μετάδοσης ATM κίνησης, όπως ειδική μετάδοση δεδομένων Video κ.α.

²

Ο όρος ONU χρησιμοποιείται όταν η μονάδα είναι εγκατεστημένη σε υπαίθρια καμπίνα (υλοποιήσεις FTTC ή FTTB) για την παροχή υπηρεσιών σε περισσότερους συνδρομητές. Αντίθετα, η ONU συνήθίζεται να αναφέρεται ως ONT (Optical Network Terminal – τερματικό οπτικού δικτύου) όταν η αντίστοιχη μονάδα βρίσκεται στο χώρο του πελάτη (υλοποιήσεις FTTH).



Σχήμα 3.1 Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας οπτικού δικτύου πρόσβασης PON με απλή διαίρεση οπτικής ισχύος. Η κατερχόμενη κίνηση υφίσταται ευρυεκπομπή (broadcast) προς όλα τα ONTs, ενώ η ανερχόμενη κίνηση δρομολογείται μέσω σχήματος TDMA. Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει διαίρεση ενός σταδίου, αλλά γενικότερα η διαίρεση μπορεί να υλοποιηθεί και σε περισσότερα του ενός στάδια.

Η τελευταία έκδοση του BPON υποστηρίζει ταχύτητες έως 1244 Mb/s για την κατερχόμενη και έως 622 Mb/s για την ανερχόμενη κίνηση, ενώ ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός είναι 622/155 Mb/s. Όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται αποκλειστικά ενθυλάκωση ATM. Για λόγους ασφαλείας, καθώς η κατερχόμενη κίνηση μεταδίδεται από το OLT σε όλες τις ONUs, το BPON (αλλά και τα GPON και EPON παρακάτω) χρησιμοποιούν κατάλληλους αλγορίθμους κρυπτογράφησης σε αυτήν την κατεύθυνση, ενώ στην ανερχόμενη κατεύθυνση χρησιμοποιείται σχήμα πρόσβασης πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (TDMA).

Το πρότυπο GPON χαρακτηρίζεται από σημαντική αύξηση στους υποστηριζόμενους ρυθμούς μετάδοσης των οπτικών δικτύων πρόσβασης, και μπορεί να επιτύχει συμμετρικούς ρυθμούς έως και 2488 Mbit/s, με την ασύμμετρη εκδοχή 2488/1244 Mbit/s (κατερχόμενη/ανερχόμενη κίνηση) να αποτελεί την περισσότερο συνηθισμένη επιλογή. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του GPON είναι ότι εγκαταλείπει την ενθυλάκωση ATM και αντί αυτής χρησιμοποιεί την νέα, πολύ ευέλικτη και αποδοτική μέθοδο GEM (GPON Encapsulation Method), η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη ενθυλάκωση συνδυασμού κίνησης TDM και πακέτων, όπως Ethernet. Η κίνηση ATM συνεχίζει να είναι ακόμα

ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

Τα δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς αποτελούν τη μελλοντική εξέλιξη των αστικών δικτύων (ενσύρματων και ασύρματων) και αναμένεται να βασιστούν σε τεχνολογίες FITL (Fibre In The Loop) και RITL (Radio In The Loop) με στόχο τη δημιουργία της μελλοντικής δικτυακής υποδομής, η οποία θα παρέχει ταχύτητες πρόσβασης από 100 Mb/s έως 1Gb/s για σταθερή σύνδεση και από 10 Mb/s έως 100 Mb/s για κινητή σύνδεση.

Το παρόν βιβλίο αποτελείται από τρία μέρη.

Το **Μέρος Α** αναφέρεται σε ενσύρματα δίκτυα νέας γενιάς τεχνολογίας FTTx. Σε αυτό περιγράφονται η υφιστάμενη μορφή του «παραδοσιακού» ενσύρματου δικτύου πρόσβασης και οι περιορισμοί που θέτει στην παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, οι τεχνολογίες δικτύωσης (FTTx) και πρόσβασης (xDSL, Ethernet και PON), καθώς και οι διαθέσιμες επιλογές καλωδιακών υποδομών (οπτικές ίνες, καλώδια και μικρο-καλώδια, πολυσωλήνια και μικροσωληνίσκοι) που χρησιμοποιούνται για σημείο-σημειακές (P2P) και σημείο-πολυσημειακές (P2MP) υλοποιήσεις. Αυτό το πρώτο μέρος ολοκληρώνεται με την περιγραφή των προτεινόμενων στρατηγικών ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης NGA από εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Το **Μέρος Β** αναφέρεται σε ασύρματα δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς σταθερής και κινητής πρόσβασης. Σε αυτό εξετάζονται τα βασικά πρότυπα κυψελωτών δικτύων, των τεχνολογιών 2G/2,5G (GSM/GPRS/EDGE) και 3G/3,5G (UMTS/HSPA), η τεχνολογία πρόσβασης TETRA, τα Συνδρομητικά Αγροτικά Ραδιοδίκτυα (ΣΑΡ), η τεχνολογία των φεμτοκυψελών, η τεχνολογία WiFi, και η οικογένεια των προτύπων WiMAX σταθερής (IEEE 802.16d) και κινητής (IEEE 802.16e) ασύρματης πρόσβασης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην τεχνολογία WiMAX και στα βασικά λειτουργικά της χαρακτηριστικά, επειδή η εξέλιξη της, από κοινού με τις τεχνολογίες HSPA+ και LTE, αναμένεται να οδηγήσει στα δίκτυα σταθερής και κινητής ασύρματης πρόσβασης τέταρτης γενιάς (4G).

Το **Μέρος Γ** του βιβλίου αναφέρεται σε τρία θέματα τεχνολογίας αιχμής: το WDM-PON, την αντιμετώπιση παρεμβολών σε δίκτυα VDSL2, και την τεχνολογία LTE, τα οποία αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τη μελλοντική εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης νέας γενιάς.

Στο σύνολό του, το βιβλίο απευθύνεται σε τεχνικούς, επαγγελματίες του χώρου των τηλεπικοινωνιών, φοιτητές, αλλά και όσους ασχολούνται με το τηλεπικοινωνιακό αντικείμενο και επιθυμούν να ενημερωθούν για την υφιστάμενη κατάσταση, τις κυρίαρχες τεχνολογίες, τις προσδοκώμενες εξελίξεις, και τις βασικές στρατηγικές ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης.

Οι συγγραφείς

Οι συγγραφείς του βιβλίου είναι όλοι Τηλεπικοινωνιακοί Μηχανικοί, στελέχη της Γενικής Διεύθυνσης Τεχνολογιών του ΟΤΕ, υπηρεσιακά αρμόδιοι για τα αντικείμενα που πραγματεύονται, και συνδυάζουν αξιολογά ακαδημαϊκά προσόντα και πολυετή υπηρεσιακή εμπειρία.



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Διοικητικό 4, Στάθμος Λαρίσης, 10440 Αθήνα, Τηλ. 210-5237635

Επισκεφθείτε μας στο Internet
www.klidarithmos.gr

ISBN 978-960-461-378-6



9 789604 613786