

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα II

Διάλεξη 12: Τεχνολογίες Ευρυζωνικής Πρόσβασης

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Αναπληρωτής Καθηγητής

Ατζέντα

Ενσύρματες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης

- Τεχνολογίες xDSL
- Δίκτυα οπτικών ινών
- Δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης
- Ηλεκτρικά δίκτυα

2. Ασύρματες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης

- Ασύρματη πρόσβαση Wi-Fi
- Σταθερή ασύρματη πρόσβαση
- Ασύρματη πρόσβαση WiMAX
- Ασύρματη κινητή πρόσβαση 3G/UMTS και 4G/LTE
- Αμφίδρομη δορυφορική πρόσβαση

Τεχνολογίες Ευρυζωνικής Πρόσβασης

- ❖ Τηλεπικοινωνιακές και δικτυακές υποδομές που έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να εξασφαλίζουν την ευρυζωνική πρόσβαση των χρηστών σε ένα σύγχρονο δίκτυο, δηλαδή υλοποιούν το δίκτυο πρόσβασης (*Access Network*).
- ❖ Ορισμένες από αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υλοποίηση και των ανώτερων επιπέδων ενός δικτύου, όπως το δίκτυο κορμού (*Backbone Network*) ή το δίκτυο διανομής (*Distribution Network*).
- ❖ Κύριο χαρακτηριστικό σχεδιασμού: Να είναι **οικονομικά προσιτές**, επειδή απευθύνονται άμεσα στον τελικό χρήστη.
- ❖ Η χρήση τους παρουσιάζει ραγδαία αύξηση τα τελευταία χρόνια και έχει επηρεάσει σημαντικά την καθημερινή ζωή των πολιτών, επειδή τους δίνει πρόσβαση σε υπηρεσίες ηλεκτρονικής διακυβέρνησης, μάθησης και διά βίου εκπαίδευσης, τηλεϊατρικής, αγοράς προϊόντων μέσω διαδικτύου, τηλεφωνίας μέσω IP, βιντεοδιάσκεψης, τηλεργασίας, ψηφιακής τηλεόρασης, διαδικτυακών παιχνιδιών κτλ.

Ενσύρματες Τεχνολογίες Ευρυζωνικής Πρόσβασης

Τεχνολογίες χαλκού (Οικογένεια Ψηφιακών Γραμμών Συνδρομητή: xDSL)

- Ασύμμετρη DSL
- Πολύ Υψηλού Ρυθμού DSL
- Υψηλού Ρυθμού DSL
- Συμμετρική DSL
- Άλλες τεχνολογίες DSL
- Σύγκριση των τεχνολογιών xDSL

Δίκτυα οπτικών ινών

- Ενεργού Οπτικού Δικτύου (Active Optical Network)
- Παθητικού Οπτικού Δικτύου (Passive Optical Network)

Δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης (Cable Networks)

Ηλεκτρικά δίκτυα (Power Line Communications)

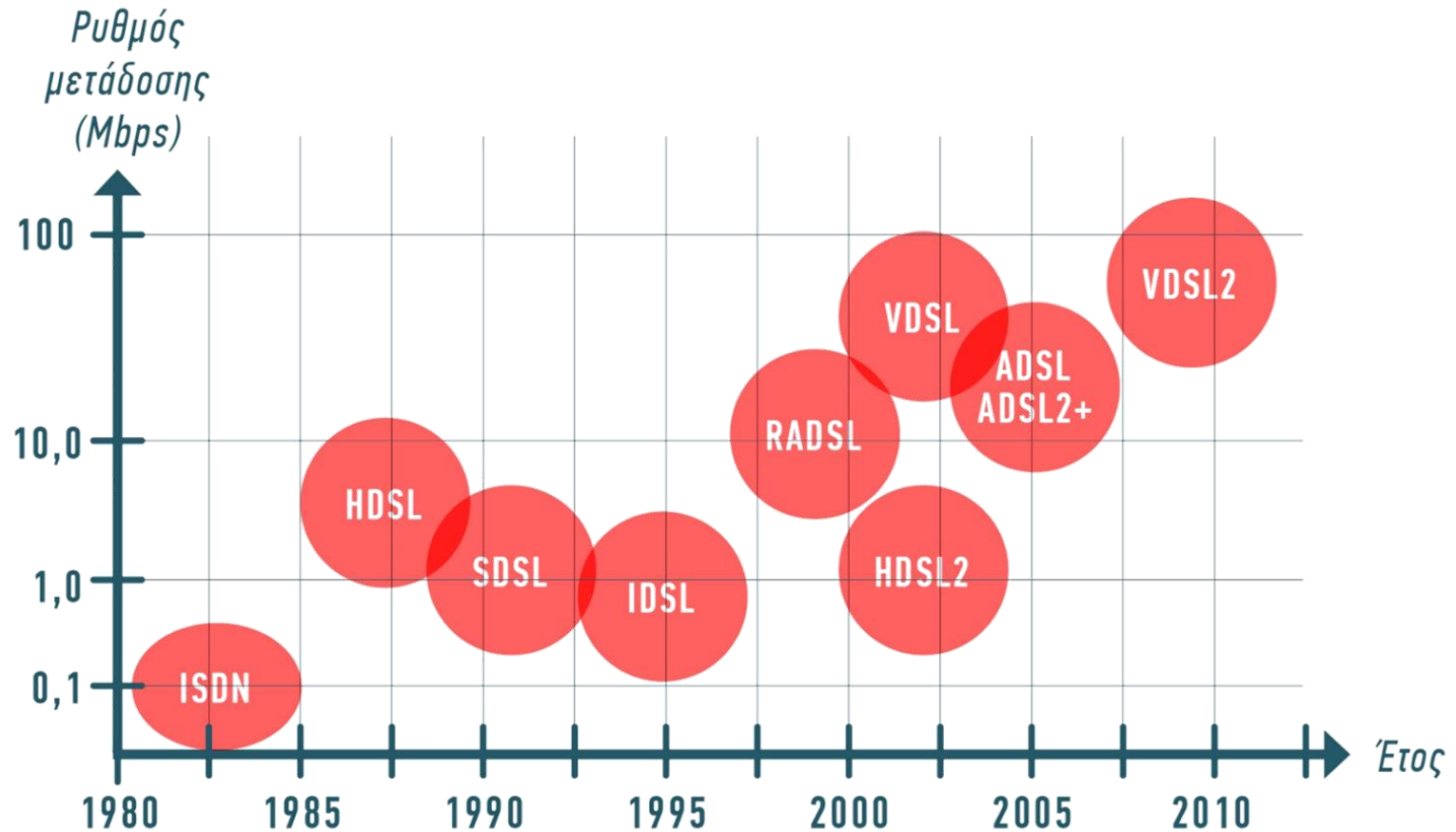
Τεχνολογίες xDSL

- ❖ [Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή](#) (Digital Subscriber Line / xDSL): Μια οικογένεια ψηφιακών τεχνολογιών ειδικά σχεδιασμένων για τη μεταφορά ψηφιακών δεδομένων σε υψηλό ρυθμό μετάδοσης μέσω των **υφιστάμενων τοπικών βρόχων** (local loop).
- ❖ Το εύρος ζώνης του τοπικού βρόχου φτάνει μέχρι το 1,1 MHz ή/και το ξεπερνά υπό προϋποθέσεις (ποιότητας τοπικού βρόχου). Το τμήμα του φάσματος που περισσεύει από την τηλεφωνία μπορεί να αξιοποιηθεί για την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων.
- ❖ Χρησιμοποιούνται **εξελιγμένοι διαποδιαμορφωτές** (Modems) στα άκρα της γραμμής.
- ❖ Επειδή ο τοπικός βρόχος έχει φτωχά ποιοτικά χαρακτηριστικά φάσματος και υψηλές παραμορφώσεις, οι τεχνολογίες DSL συνδυάζουν **εξελιγμένες τεχνικές**:
 - [Πολύπλεξης](#) (Multiplexing)
 - [Διαμόρφωσης](#) (Modulation)
 - [Κωδικοποίησης καναλιού](#) (Channel Coding)
 - [Εύρεσης και διόρθωσης λαθών](#) (Error Detection and Correction)

Πλεονεκτήματα xDSL

- ❖ Υψηλές παρεχόμενες ταχύτητες σε σχέση με τις συνδέσεις [Plain Old Telephone Service](#) (POTS) και [Integrated Services Digital Network](#) (ISDN).
- ❖ Υποστήριξη υπηρεσιών φωνής, βίντεο και δεδομένων (υπό προϋποθέσεις μπορεί να παρέχει ταχύτητες άνω των 100 Mbps).
- ❖ Φθηνή και σταθερή (Flat Rate) χρέωση.
- ❖ Ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών τηλεφωνίας και δεδομένων (διαδικτύου).
- ❖ Εύκολο μοίρασμα της σύνδεσης σε περισσότερους από έναν υπολογιστές.
- ❖ Συνεχής διαθεσιμότητα (always on) της σύνδεσης στο διαδίκτυο.
- ❖ Υψηλή επεκτασιμότητα, δηλαδή δυνατότητα υποστήριξης από μικρό έως μεγάλο αριθμό χρηστών.
- ❖ Αξιόπιστη διαχείριση του δικτύου από «άκρο σε άκρο».
- ❖ Υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως οι τηλεδιασκέψεις, ή εφαρμογών υψηλού ρυθμού δεδομένων, όπως τα βίντεο κατ' απαίτηση.

Μέλη οικογένειας xDSL



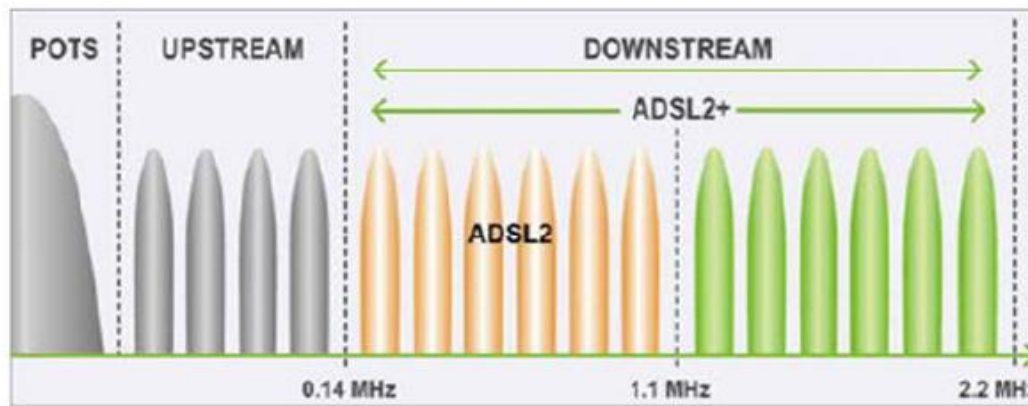
Ασύμμετρη DSL

- ❖ **ADSL:** Υποστηρίζει **ασύμμετρη** μετάδοση δεδομένων. Ο ρυθμός μετάδοσης προς την κατεύθυνση του χρήστη (downstream) είναι μεγαλύτερος από αυτόν προς την αντίθετη κατεύθυνση.
- ❖ Τυπικός ρυθμός μετάδοσης: μέχρι **8 Mbps** Downstream και **2 Mbps** Upstream, για καλή ποιότητα γραμμών και απόσταση μικρότερη των **5 km**.
- ❖ Χρησιμοποιεί την [Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας](#) (Frequency Division Multiplexing / FDM) και χωρίζει το εύρος ζώνης του καλωδίου σε τρία μέρη:
 - **0 - 25 KHz:** Παραδοσιακές υπηρεσίες φωνής.
 - **25 - 140 KHz:** Ροή δεδομένων από το χρήστη προς το τηλεπικοινωνιακό κέντρο (Upstream).
 - **200 - 1100 KHz:** Ροή δεδομένων προς το χρήστη (Downstream). Οι τιμές μπορούν να μεταβληθούν αν αυτό απαιτηθεί από την εφαρμογή.

ADSL2 και ADSL2+

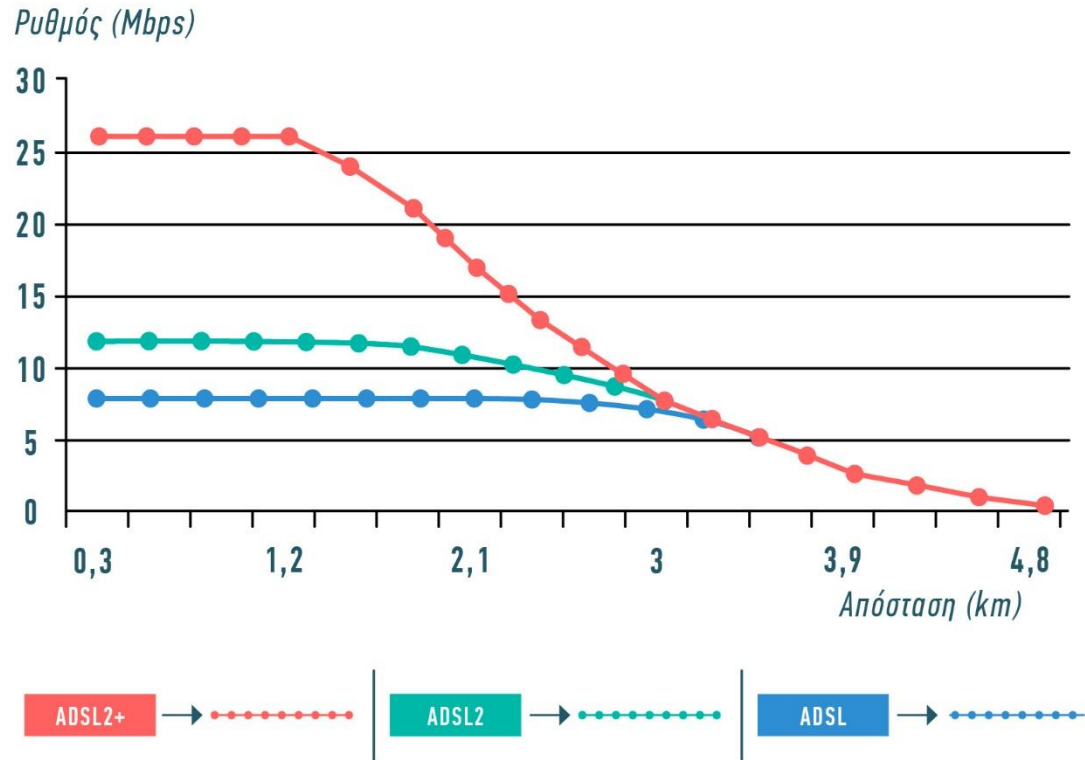
- ❖ **ADSL2:** Βελτιωμένη τεχνική (πρότυπα ITU G.992.3 και G.992.4), ταχύτητες **12/1 Mbps**.
- ❖ Χρησιμοποιεί το ίδιο φάσμα με την ADSL, αλλά επιτυγχάνει υψηλότερους ρυθμούς, λόγω των βελτιωμένων τεχνικών διαμόρφωσης και των αποδοτικότερων αλγόριθμων επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιεί.
- ❖ **ADSL2+** (πρότυπο G.992.5), ταχύτητες **24/1 Mbps** σε γραμμές με μήκος έως **2 km**.
- ❖ Επεκτείνει τη χωρητικότητα, διπλασιάζοντας το πλήθος των καναλιών καθόδου.
- ❖ Χρησιμοποιεί **512** φασματικές περιοχές.
- ❖ Ρυθμός ανόδου: ~1 Mbps και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τοπικού βρόχου.
- ❖ Ο ρυθμός μετάδοσης όλων των παραλλαγών της ADSL επηρεάζεται από:
 - ❖ το μήκος και τη διατομή του τοπικού βρόχου
 - ❖ πιθανές συνδεσμολογίες γεφύρωσης καλωδίων
 - ❖ ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των καλωδίων
- ❖ Η εξασθένηση του σήματος αυξάνεται όσο αυξάνονται το μήκος του τοπικού βρόχου και η συχνότητα, ενώ ελαττώνεται όσο αυξάνεται η διατομή του βρόχου.

Ανάθεση καναλιών σε ADSL, ADSL2 και ADSL2+



Ανάθεση καναλιών φωνής (POTS), ανόδου (Upstream) και καθόδου (Downstream), στην οικογένεια ADSL.

Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ADSL, ADSL2 και ADSL2+



Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων καθόδου των προτύπων ADSL, ADSL2 και ADSL2+ ως προς το μήκος του τοπικού βρόχου, για χάλκινο καλώδιο διατομής 0,4 mm²

- ❖ Παρατηρούμε ότι το πρότυπο ADSL2+ για μήκος βρόχου μέχρι 2,5 km παρέχει σημαντικά υψηλότερο (έως και διπλάσιο) ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

ASDL2+

- ❖ Η **ADSL2+** είναι πολύ συνηθισμένη εμπορικά.
- ❖ Επιτρέπει στους παρόχους πρόσβασης να εξελίσσουν τα δίκτυά τους, ώστε, εκτός από τις υφιστάμενες υπηρεσίες φωνής και δεδομένων (Double Play), να υποστηρίζουν και υπηρεσίες βίντεο (Triple Play).
- ❖ Αυτό έχει μεγάλη εμπορική σημασία, επειδή από μια ενιαία υποδομή παρέχεται ένα ευρύ σύνολο υπηρεσιών.

Digital Subscriber Line Access Multiplexer / DSLAM

- ❖ Πολυπλέκτης Πρόσβασης στην Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή (Digital Subscriber Line Access Multiplexer / DSLAM): Διαχωρίζει το σήμα φωνής από τις υψηλών ταχυτήτων ροές δεδομένων, μέσω ενός διαχωριστή σήματος (Splitter).
- ❖ Ελέγχει και δρομολογεί την κίνηση DSL μεταξύ του εξοπλισμού του συνδρομητή (router, modem κτλ.) και του δικτύου του τηλεπικοινωνιακού φορέα, αφού πρώτα αποκωδικοποιήσει το υψιπερατό σήμα σε ψηφιακή μορφή.
- ❖ Στην αντίθετη κατεύθυνση, αποπολυπλέκει το σύνθετο σήμα που καταφθάνει από το δίκτυο και δρομολογεί τις διαφορετικές ροές με βάση τη διεύθυνση IP.
- ❖ Υποστηρίζει διάφορους τύπους δικτύων, όπως: ATM, IP, Frame Relay, VPN's και το κλασικό PSTN.
- ❖ Επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες της προτίμησής του.
- ❖ Η σύνδεση πολλών συνδρομητών DSL σε κάποιο δίκτυο υψηλών ταχυτήτων πραγματοποιείται από τις λεγόμενες πόρτες ή θύρες DSL, που βρίσκονται πάνω στα DSLAMs.

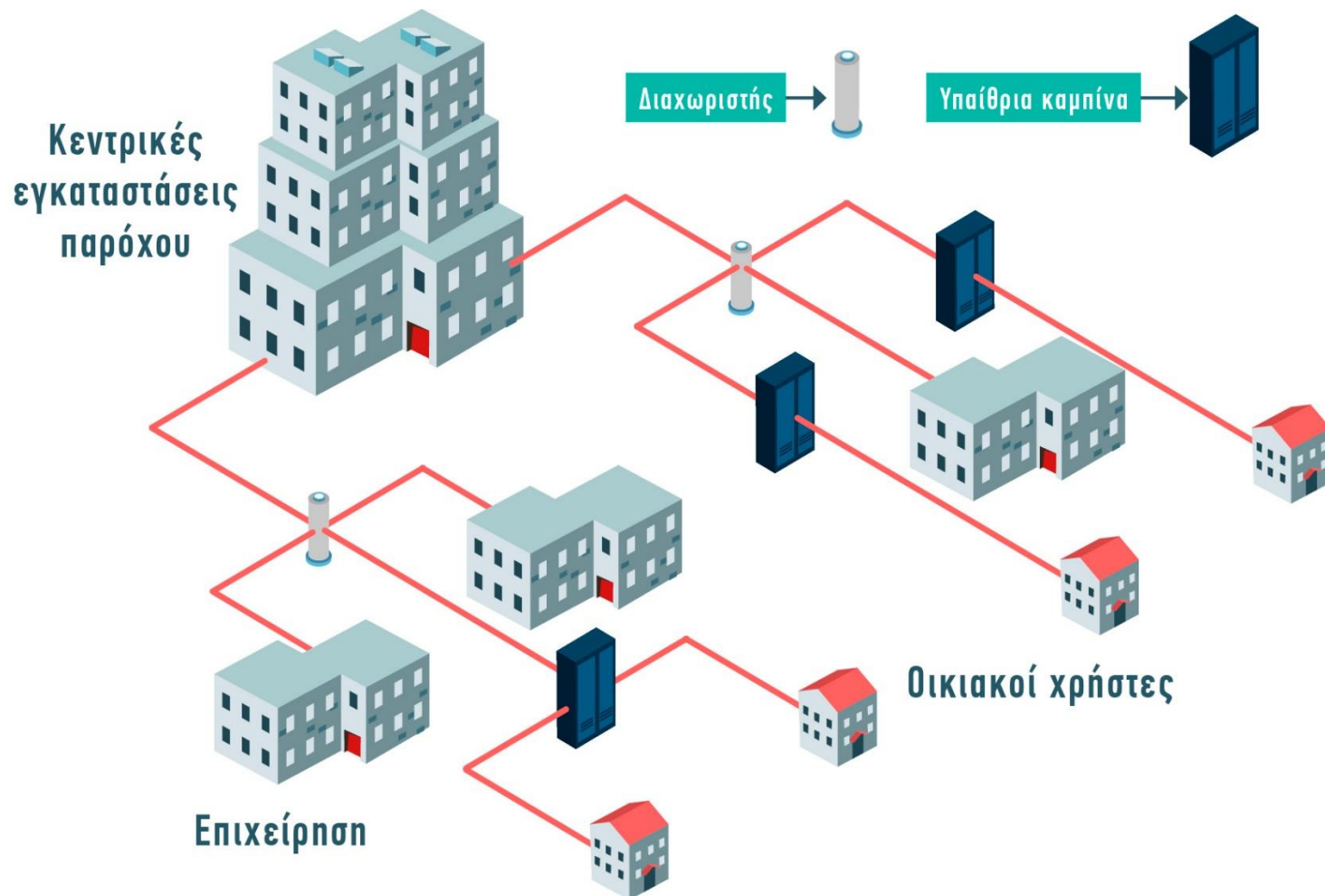
Πολύ Υψηλού Ρυθμού DSL (VDSL)

- ❖ Το νεότερο μέλος (πρότυπο ITU-T G.993.1) της οικογένειας xDSL
- ❖ Τυπικά υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης **12 Mbps** μέχρι **1,5 km**, όμως η προδιαγραφή της προβλέπει και υψηλότερο, δηλαδή μέχρι **50/30 Mbps** στα **300 m**.
- ❖ Η αύξηση της ταχύτητας επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη αύξηση του εύρους ζώνης συχνοτήτων της τηλεφωνικής γραμμής. Αυτό όμως την καθιστά **ευαίσθητη σε παρεμβολές** από γειτονικά κυκλώματα που μεταφέρουν ISDN ή DSL σήμα.
- ❖ Καθώς η υψηλότερη ταχύτητα είναι μια κρίσιμη παράμετρος για την παροχή **ενοποιημένων υπηρεσιών ομιλίας, δεδομένων και κινούμενης εικόνας**, πρέπει να υπερνικηθεί το πρόβλημα της μικρής απόστασης.
- ❖ Το πρόβλημα λύνεται με την **πύκνωση** του δικτύου του παρόχου με την εγκατάσταση τερματικών σημείων VDSL έτσι ώστε να μειωθεί η απόσταση μεταξύ χρήστη και τερματικού σημείου.
- ❖ Τα τερματικά σημεία VDSL φιλοξενούνται στα ικριώματα των κύριων κατανεμητών και συνδέονται με τα κέντρα του παρόχου μέσω της υποδομής οπτικών ινών.

VDSL2

- ❖ Μια βελτιωμένη μορφή της VDSL είναι η **VDSL2** (πρότυπο ITU-T G.993.2), η οποία παρέχει ταχύτητες άνω των **100 Mbps** στα **500 m** και **50 Mbps** στο **1 km**.
- ❖ Μετά τα 1,6 km οι επιδόσεις της είναι αντίστοιχες αυτών της [ADSL2+](#).
- ❖ Το γεγονός ότι η VDSL2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολύ μικρές έως σχετικά μεγάλες (4-5 km) αποστάσεις, σε αντίθεση με τη VDSL, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρές αποστάσεις, είναι ένα πολύ σημαντικό τεχνολογικό και εμπορικό πλεονέκτημά της.

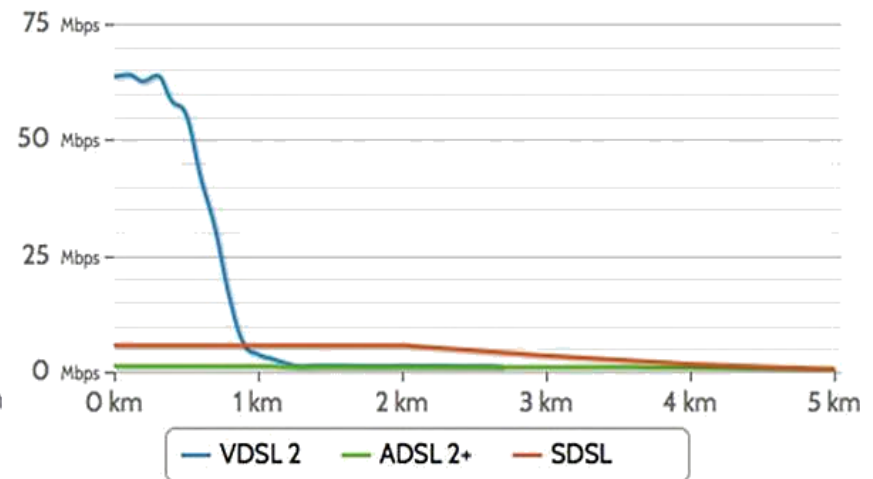
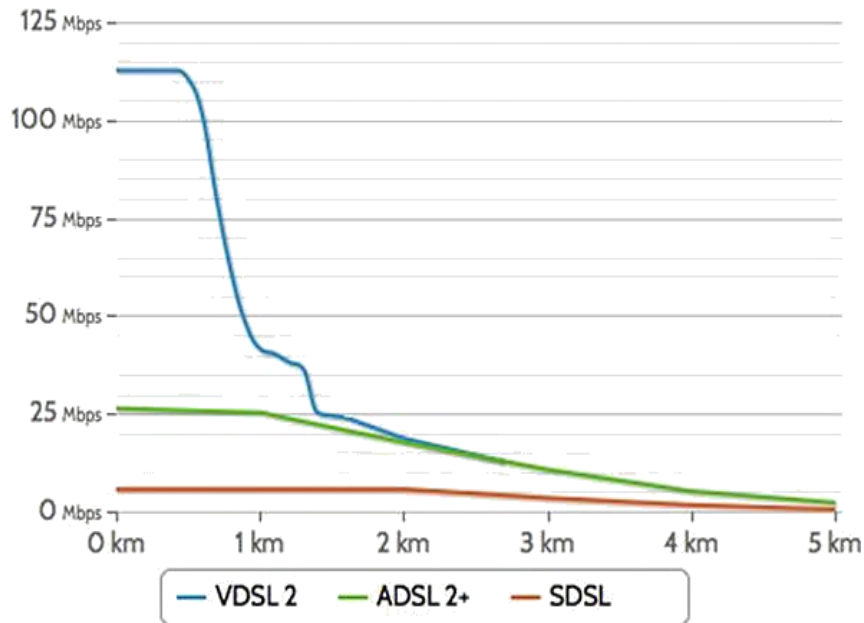
Δικτυακή υποδομή Fiber To The Curb (FTTC)



Δικτυακή υποδομή Fiber To The Curb (FTTC)

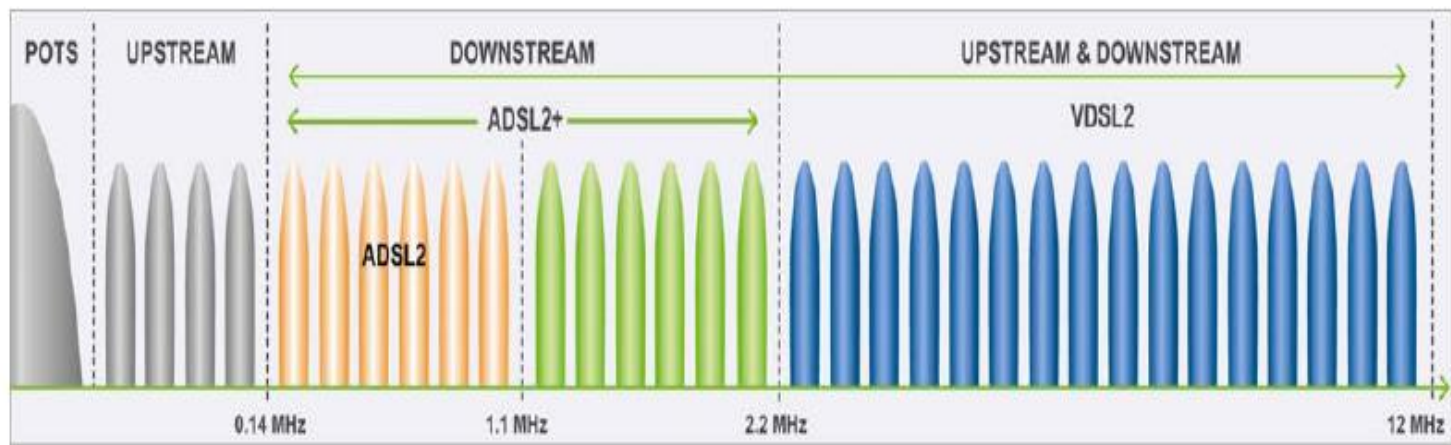
- ❖ Χάλκινα καλώδια (συνεστραμμένων ζευγών) ξεκινούν από τις εγκαταστάσεις των χρηστών προς τον πλησιέστερο κύριο κατανεμητή (Curb Terminal).
- ❖ Εκεί υπάρχει εξοπλισμός που μπορεί να μετατρέπει τα σήματα από ηλεκτρικά σε οπτικά και να τα πολυπλέκει σε ένα καλώδιο οπτικών ινών.
- ❖ Τα καλώδια οπτικών ινών καταλήγουν σε έναν διαχωριστή (Splitter), όπου τα επιμέρους οπτικά σήματα πολυπλέκονται σε ένα καλώδιο οπτικών ινών, το οποίο καταλήγει είτε στο αστικό κέντρο είτε στο κεντρικό γραφείο τηλεπικοινωνίας (Central Office/CO).
- ❖ Το πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής είναι η μείωση του μήκους του τοπικού βρόχου, αφού πλέον ο συνδρομητής δεν συνδέεται στο απομακρυσμένο κέντρο του παρόχου, αλλά σε έναν κατανεμητή που βρίσκεται σε μικρή απόσταση, σίγουρα μικρότερη από 300 m.
- ❖ Στην ορολογία του VDSL, όλα τα κομβικά σημεία που μεσολαβούν μεταξύ του κεντρικού τηλεπικοινωνιακού γραφείου και των εγκαταστάσεων του χρήστη είναι γνωστά ως [Οπτικές Μονάδες Δικτύου](#) (Optical Network Units / ONU).

Συγκριτικά διαγράμματα ρυθμού ανόδου και καθόδου



Συγκριτικά διαγράμματα ρυθμού καθόδου (Downstream) και ανόδου (Upstream) των τεχνολογιών VDSL2, ADSL2+ και SDSL

Ανάθεση καναλιών σε VDSL2



Ανάθεση καναλιών φωνής (POTS), ανόδου (Upstream) και καθόδου (Downstream), στις οικογένειες ADSL και VDSL

Υψηλού Ρυθμού DSL

- ❖ **Υψηλού Ρυθμού DSL (HDSL):** Αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1980 για να εκμεταλλευτεί την υπάρχουσα τεχνολογία των ψηφιακών κυκλωμάτων T1 (Β. Αμερική και Ιαπωνία) και E1 (Ευρώπη) και να επιτύχει ταχύτητες **2,3 Mbps** για αποστάσεις μέχρι **3,7 km**.
 - Προσφέρει συμμετρικές υπηρεσίες, όχι όμως και υπηρεσία τηλεφωνίας.
 - Για την επίτευξη της αμφίδρομης μετάδοσης χρειάζεται **δύο τοπικούς βρόχους**, μειονεκτώντας σημαντικά σε σχέση με την ADSL, που χρησιμοποιεί ένα βρόχο.
- ❖ **Πλεονεκτήματα της HDSL:**
 - Μεγάλη ανοχή σε οποιαδήποτε τροποποίηση του τοπικού βρόχου.
 - Πλήρης συνεργασία με κυκλώματα T1 και E1.
 - Δυνατότητα ανάκαμψης όταν ένας από τους δύο βρόχους αποτύχει. Ωστόσο η χρήση μόνο του ενός βρόχου περιορίζει τις επιδόσεις του συστήματος στο μισό.
- ❖ **HDSL2:** χρησιμοποιεί έναν τοπικό βρόχο, παρέχει υπηρεσία τηλεφωνίας και μπορεί να μεταφέρει δεδομένα σε ρυθμό **1,5 Mbps** συμμετρικά.
- ❖ **HDSL4:** μοιάζει με την HDSL2, αλλά επιτυγχάνει μεγαλύτερη απόσταση κατά περίπου **30%** και χρησιμοποιεί δύο τοπικούς βρόχους.

Συμμετρική DSL

- ❖ **Συμμετρική DSL (SDSL)** γνωστή και ως ψηφιακή γραμμή συνδρομητή απλού βρόχου.
- ❖ Ίδια με την HDSL, με μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιεί έναν τοπικό βρόχο.
- ❖ Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων δεν μπορεί να ξεπερνά τα **3 km**.
- ❖ Για τη δημιουργία συμμετρικών ψηφιακών ζωνών ανόδου και καθόδου δεδομένων χρησιμοποιείται η [τεχνική καταστολής της ηχούς](#) (Echo Cancellation).
- ❖ Οι επιδόσεις της SDSL είναι ίδιες με αυτές της HDSL, επειδή μπορεί να επιτύχει **συμμετρικούς ρυθμούς από 128 Kbps μέχρι 2048 Kbps**.
- ❖ Έχει πολλές εφαρμογές, κυρίως για τη σύνδεση εξυπηρετητών στο διαδίκτυο, για βιντεοδιάσκεψη και για ανταλλαγή αρχείων μεγάλου όγκου.
- ❖ **Single-pair High Speed DSL (SHDSL)**: Πρότυπο αιχμής στις συμμετρικές τεχνολογίες [συνδυασμός των HDSL και SDSL], καθώς χρησιμοποιεί πιο εξελιγμένες τεχνικές και αξιοποιεί καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων σε πιο μεγάλες αποστάσεις συγκριτικά με τις HDSL και SDSL.

Άλλες τεχνολογίες DSL

- ❖ **Rate Adaptive DSL (RADSL):** Εναλλακτική περίπτωση της ADSL, με τη διαφορά ότι μπορεί να προσαρμόζει το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με την ποιότητα της γραμμής μετάδοσης και το μήκος του τοπικού βρόχου.
- ❖ Σχεδιάστηκε για εφαρμογές βίντεο κατ' απαίτηση, αλλά δεν έχει προτυποποιηθεί.
- ❖ Μπορεί να μεταβάλλει την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων ανάλογα με τις εφαρμογές.
- ❖ Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός: **7 Mbps** (Downstream) και **1 Mbps** (Upstream).
- ❖ **ISDN DSL (IDSL):** Υβριδική τεχνολογία των DSL και ISDN, που υποστηρίζει συμμετρικούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων μέχρι **144 Kbps**.
- ❖ Η διαφορά της με την ISDN είναι ότι δεν υποστηρίζει υπηρεσίες τηλεφωνίας, όμως συντελεί στην αποσυμφόρηση των τηλεφωνικών κέντρων από τις κλήσεις ISDN για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Παρέχει μόνιμη σύνδεση δεδομένων.
- ❖ Καθώς η μέγιστη απόσταση από το κέντρο μπορεί να φτάσει τα **15 km**, ενδέχεται να είναι η μοναδική διαθέσιμη τεχνολογία δεδομένων όταν το τερματικό απέχει πολλά χιλιόμετρα από τις υποδομές του παρόχου.
- ❖ **Multirate Single Pair DSL (MSDSL):** Προέκυψε από την SDSL και παρέχει ταχύτητες **2 Mbps** αμφίδρομα.

Σύγκριση των τεχνολογιών xDSL (1/2)

- ❖ Η **ADSL** με τις παραλλαγές ADSL2 και ADSL2+, είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία ευρυζωνικής πρόσβασης.
- ❖ Απευθύνεται κυρίως σε οικιακούς χρήστες και σε μικρές επιχειρήσεις (Small Office-Home Office/SOHO), που έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις για κατέβασμα δεδομένων και λιγότερες για ανέβασμα.
- ❖ Παρέχει γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο και επιτρέπει στους χρήστες να έχουν γρήγορη πρόσβαση σε διαδικτυακό περιεχόμενο, να κάνουν αγορές, να διαχειρίζονται τον τραπεζικό τους λογαριασμό, να ανταλλάσσουν e-mails κτλ.
- ❖ Η **HDSL** σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει κυκλώματα T και E για την παροχή συμμετρικών υπηρεσιών. Μειονεκτήματά της είναι ότι απαιτεί 2 ή 3 τοπικούς βρόχους και δεν υποστηρίζει υπηρεσία τηλεφωνίας.
- ❖ Η **SDSL** μοιάζει με την HDSL, αλλά χρησιμοποιεί έναν τοπικό βρόχο και είναι πιο εύκολη στην υλοποίηση.
- ❖ Η **SHDSL** είναι το πρότυπο αιχμής στις συμμετρικές τεχνολογίες.
- ❖ Η **IDSL** μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες αποστάσεις, για ταχύτητες καλύτερες από αυτές των POTS συνδέσεων. Δεν θεωρείται ευρυζωνική σύνδεση, επειδή υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης μόλις 144 Kbps.

Σύγκριση των τεχνολογιών xDSL (2/2)

- ❖ Η **VDSL** παρουσιάζει μεγάλη τεχνική ομοιότητα με την ADSL, καθώς χρησιμοποιεί τις ίδιες ακριβώς τεχνικές μετάδοσης και αποσφαλμάτωσης.
- ❖ Σε μικρές αποστάσεις επιτυγχάνει πολύ υψηλότερες ταχύτητες από την ADSL, δίνοντας τη δυνατότητα πρόσβασης σε πολυμεσικό περιεχόμενο, όπως το βίντεο κατ' απαίτηση, η καλωδιακή εκπομπή τηλεοπτικού σήματος σε υψηλή ανάλυση (HDTV), κλπ.
- ❖ Για να προσφερθεί, απαιτεί την **επέκταση των δικτύων** σε επίπεδο γειτονιάς.
- ❖ Η **VDSL2** είναι η τεχνολογία αιχμής στην οικογένεια των xDSL τεχνολογιών.
- ❖ Αξιοποιεί μεγαλύτερο μέρος του φάσματος από τη VDSL και μπορεί να παρέχει ταχύτητες μέχρι και **100 Mbps συμμετρικά** σε πολύ μικρές αποστάσεις, αλλά και πιο χαμηλές ταχύτητες σε αποστάσεις μεγαλύτερες από αυτές της VDSL (μέχρι 2,4 km).
- ❖ Σε μεγαλύτερες αποστάσεις, η VDSL2 υστερεί των τεχνολογιών ADSL2/2+.
- ❖ Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ VDSL2 και ADSL είναι ότι η πρώτη χρησιμοποιεί ως τεχνολογία πολυπλεξίας το [Ethernet στο πρώτο μίλι](#) (Ethernet in the First Mile).
- ❖ Η κατάργηση της τεχνολογίας [Asynchronous Transfer Mode](#) (ATM) σημαίνει ότι η αρχιτεκτονική πρόσβασης μπορεί να απλοποιηθεί σε μια «σημείο προς σημείο» αρχιτεκτονική Ethernet, που χρησιμοποιεί VLANs ως QoS σε όλο το δίκτυο πρόσβασης.
- ❖ Η απλουστευμένη δομή του δικτύου επιτρέπει την τεχνολογία μεταγωγής πακέτου, καθώς και υπηρεσίες με [επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας](#) (Quality of Service / QoS).

Πίνακας προτύπων της οικογένειας xDSL

Οικογένεια	Πρότυπο ITU	Έτος τυποποίησης	Μέγιστη ταχύτητα
ADSL	G.992.1	1999	7 Mbps down - 800 Kbps up
ADSL2	G.992.3	2002	8 Mb/s down - 1 Mbps up
ADSL2plus	G.992.5	2003	24 Mbps down - 1 Mbps up
SHDSL (ανανέωση 2003)	G.991.2	2003	5.6 Mbps up/down
VDSL	G.993.1	2004	55 Mbps down - 15 Mbps up
VDSL2 -12 MHz μεγάλης απόστασης	G.993.2	2005	55 Mbps down - 30 Mbps up
VDSL2 - 30 MHz μικρής απόστασης	G.993.2	2005	100 Mbps up/down

Δίκτυα Οπτικών Ινών

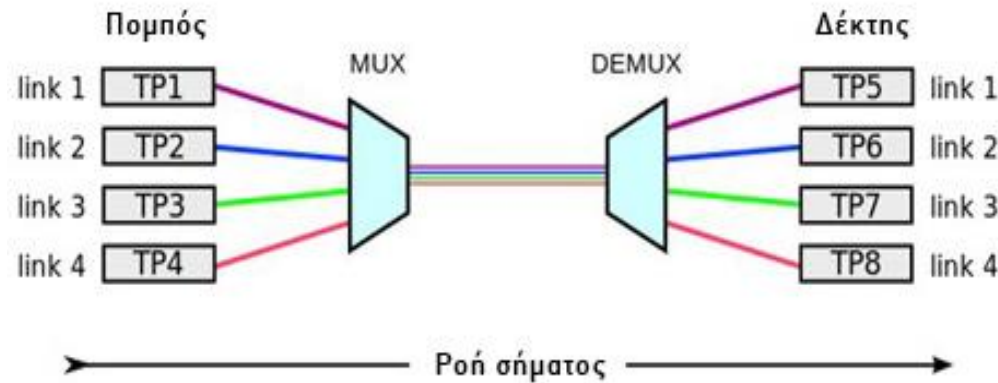
- ❖ [Οπτικές ίνες](#) (Optical Fibers): αποτελούν ένα μέσο μετάδοσης με άφθονο εύρος ζώνης, μικρή απώλεια ισχύος και αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
- ❖ Μεταδίδουν την ψηφιακή πληροφορία σε μορφή παλμών φωτός, οι οποίοι παράγονται είτε από [διόδους Led](#) είτε από [συστήματα Laser](#), σε απόσταση μεγαλύτερη των **50 km**.
- ❖ Είναι κατασκευασμένες από πλαστικό ή από γυαλί (πρώτη ύλη το πυρίτιο) και έχουν διάμετρο μικρότερη των 8 μm .
- ❖ Στο κέντρο τους βρίσκεται ο **πυρήνας**, μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται η ακτίνα φωτός.
- ❖ Ο πυρήνας περιβάλλεται από στρώμα γυάλινης επικάλυψης, η οποία εμποδίζει το οπτικό σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του.
- ❖ Η επικάλυψη περιβάλλεται από το εξωτερικό προστατευτικό υλικό.
- ❖ Συγκεντρώνονται σε δέσμες και να σχηματίζουν οπτικά καλώδια, με δεκάδες ή/και εκατοντάδες οπτικές ίνες.
- ❖ Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως σε δίκτυα επικοινωνιών.

Δίκτυα Οπτικών Ινών

- ❖ Η λειτουργία των Ο.Ι. βασίζεται στο φαινόμενο της **διάθλασης του φωτός**. Όταν μια ακτίνα φωτός περνά από κάποιο υλικό σε ένα άλλο, τότε διαθλάται στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών. Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από μια συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, το φως διαθλάται πίσω στο γυαλί και παγιδεύεται μέσα στην ίνα.
- ❖ Είναι δυνατόν μέσα από την ίδια ίνα να διαδίδονται ταυτόχρονα **πολλές ακτίνες**, αρκεί να στέλνονται με **διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης**.
- ❖ Οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε:
 - **Μονότροπες (Single Modes)**, με διάμετρο πυρήνα $\sim 10 \mu\text{m}$. Η ακτίνα ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή και φτάνει σε μεγάλες αποστάσεις. Απαιτούν συγκέντρωση φωτός μεγάλης έντασης, που μπορεί να δοθεί μόνο από Laser.
 - **Πολύτροπες (Multi Modes)**, με διάμετρο πυρήνα $50\text{-}100 \mu\text{m}$. Μπορούν να περάσουν ταυτόχρονα πολλές ακτίνες φωτός (με διαφορετική γωνία πρόσπτωσης η καθεμία), αυξάνοντας έτσι τον όγκο των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν.

Πολύπλεξη Μήκους Κύματος - WDM

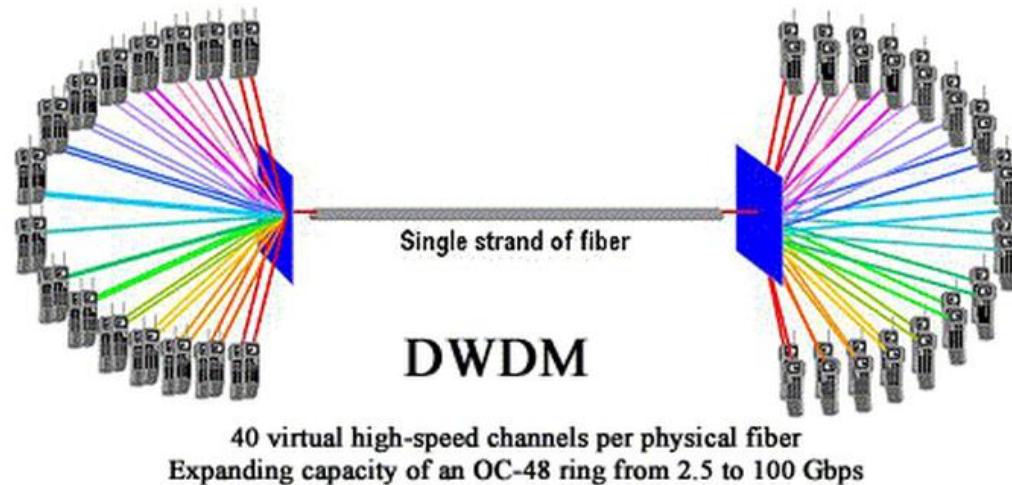
- ❖ Πολύπλεξη μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing / WDM): τεχνολογία για τη δημιουργία οπτικών δικτύων.



- ❖ Σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα έχει συγκεκριμένο μήκος κύματος. Από την ίδια ίνα μπορούν να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα, διαφορετικού μήκους κύματος («χρώμα»). Κάθε «χρώμα» αντιπροσωπεύει μια διαφορετική ροή δεδομένων υψηλής ταχύτητας.
- ❖ Είναι δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση πολλών ροών δεδομένων (κανάλια) μέσα από ένα ζεύγος οπτικών ινών (μία ίνα ανά κατεύθυνση). Τυπικά μπορούν να μεταδοθούν **18 κανάλια** σε απόσταση **50-70 km**.

Πυκνή Πολύπλεξη Μήκους Κύματος - DWDM

- ❖ Πυκνή πολύπλεξη μήκους κύματος (Dense Wavelength Division Multiplexing / DWDM): υποστηρίζει περισσότερα κανάλια, άρα προσφέρει μεγαλύτερη χωρητικότητα και ταυτόχρονα καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις (>1.500 km).
- ❖ Τα συστήματα DWDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι **160 κανάλια** και να επεκτείνουν τον βασικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από **10 Gbps** σε περισσότερα από **1,6 Tbps**.



- ❖ Η DWDM είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, για μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες, ειδικά σε δίκτυα κορμού, και αποτελεί μονόδρομο για την υλοποίηση δικτύων υπερυψηλών ταχυτήτων, όπως είναι το Gigabit Internet.

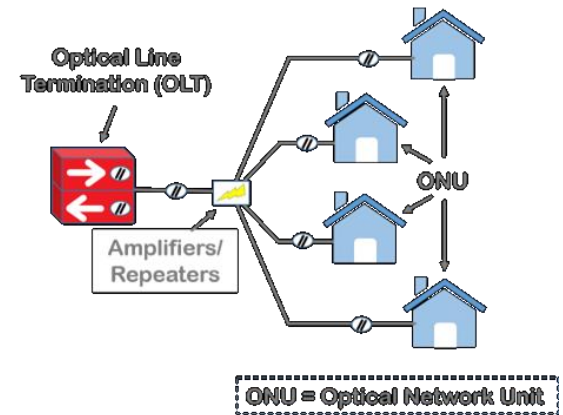
Εναλλακτικές αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων πρόσβασης (1/2)

- ❖ Σήμερα οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ευρυζωνικών δικτύων **κορμού και διανομής**, καθώς είναι η μόνη τεχνολογία που μπορεί να μεταφέρει τον τεράστιο όγκο δεδομένων που παράγουν οι σύγχρονες ευρυζωνικές εφαρμογές στα άκρα του δικτύου.
- ❖ Η υποδομή οπτικών ινών φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών.
- ❖ Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης, συνηθέστερα η **xDSL**, για να δημιουργηθεί το **δίκτυο πρόσβασης** που φτάνει μέχρι το χώρο του χρήστη.
- ❖ **Πλεονεκτήματα** των οπτικών ινών:
 - χαμηλό κόστος
 - πολύ μεγάλη χωρητικότητα
 - μικρή εξασθένηση του σήματος
 - μειωμένες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια
 - μικρές διαστάσεις και μικρό βάρος
 - υψηλή διαθεσιμότητα δικτύου, λόγω ανθεκτικής κατασκευής

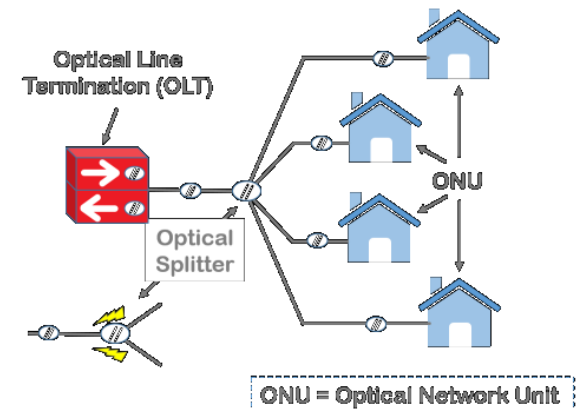
Εναλλακτικές αρχιτεκτονικές οπτικών δικτύων πρόσβασης (2/2)

- ❖ [Fiber To The x](#) (FTTx): αρχιτεκτονικές κατασκευής οπτικών δικτύων ευρυζωνικής πρόσβασης, στα οποία ένα τμήμα του τοπικού βρόχου έχει αντικατασταθεί από οπτική ίνα.
- ❖ Συνίσταται στην κατάληξη ζευγών οπτικών ινών από το κτίριο του παρόχου μέχρι την κατοικία (FTTH) ή το κτίριο (FTTB) ή τη γειτονιά (FTTN) του συνδρομητή.
- ❖ Η αρχιτεκτονική FTTx διακρίνεται σε:
 - [Active Optical Network](#) (AON): Στα σημεία διακλάδωσης των οπτικών ινών χρησιμοποιείται **ενεργός εξοπλισμός** (Router/Switch).
 - [Passive Optical Network](#) (PON): Στα σημεία διακλάδωσης χρησιμοποιείται **παθητικός εξοπλισμός** (οπτικοί διαχωριστές).

Active Optical Network | AON

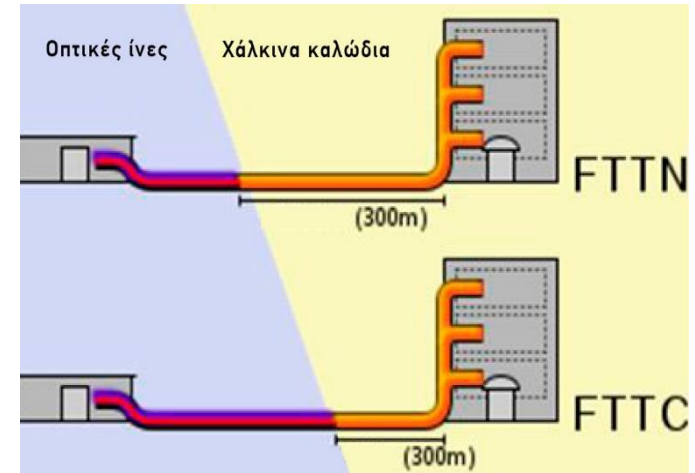


Passive Optical Network | PON



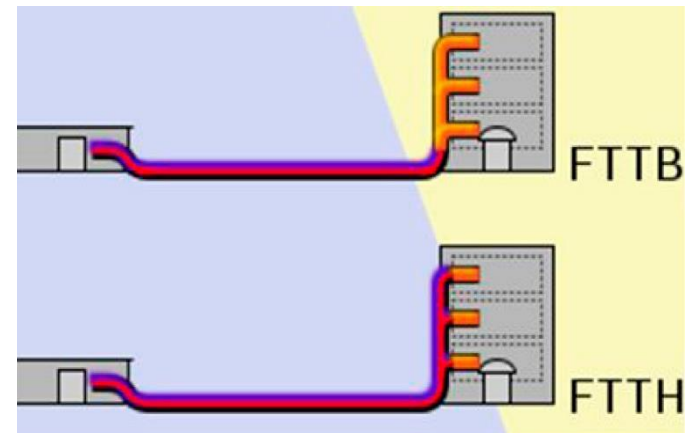
Αρχιτεκτονικές Fiber-To-The-x (FTTx)

- ❖ **FTTN** (Fiber-To-The-Node or Neighborhood): Ο πάροχος τερματίζει την ίνα σε μια υπαίθρια καμπίνα, η οποία μπορεί να βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από τις κεντρικές εγκαταστάσεις του. Από την καμπίνα μέχρι και την οικία του συνδρομητή το δίκτυο παραμένει χάλκινο.
- ❖ Η FTTN είναι το πρώτο βήμα που ακολουθεί ο πάροχος μέχρι να κατασκευάσει ένα πλήρως οπτικό δίκτυο πρόσβασης (FTTH).
- ❖ Υλοποιείται γρήγορα και σχετικά φθηνά, καθώς μόνο ένα τμήμα του τοπικού βρόχου μετατρέπεται από χάλκινο σε οπτικό.
- ❖ Σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες VDSL/VDSL2, η FTTN είναι κατάλληλη για την παροχή [triple play](#) υπηρεσιών στον συνδρομητή.
- ❖ **FTTC** (Fiber-To-The-Curb or Cabinet): Υποπερίπτωση του FTTN, στην οποία η καμπίνα είναι πλησιέστερα προς τον συνδρομητή, έτσι ώστε το χάλκινο τμήμα του τοπικού βρόχου να μην υπερβαίνει τα **300 m**. Αυτή η προϋπόθεση εγγυάται την καλή απόδοση των τεχνολογιών xDSL, ακόμα και σε συμμετρική λειτουργία υψηλής ταχύτητας (100 Mbps).



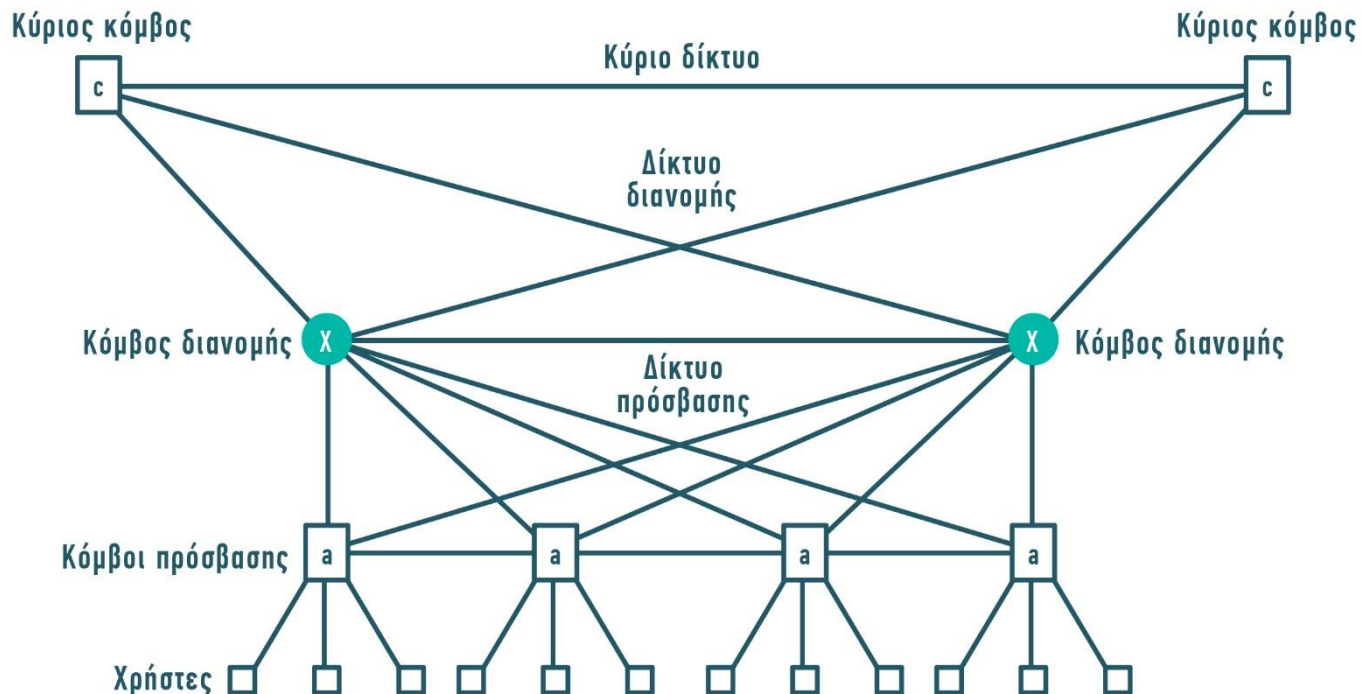
Αρχιτεκτονικές Fiber-To-The-x (FTTx)

- ❖ **FTTB** (Fiber-To-The-Building or Business or Basement): Η ίνα τερματίζει εντός του **κτιρίου** του συνδρομητή, π.χ. σε έναν κεντρικό κατανεμητή στο ισόγειο της πολυκατοικίας, ενώ οι διανομές στα διαμερίσματα παραμένουν χάλκινες.
- ❖ **FTTH** (Fiber-To-The-Home): Η ίνα τερματίζει στην **οικία** του συνδρομητή, δηλαδή σε ένα τερματικό σημείο τοποθετημένο σε κουτί στον εξωτερικό τοίχο της οικίας. Το δίκτυο του συνδρομητή παραμένει χάλκινο.
- ❖ **FTTP** (Fiber-To-The-Premises): Περιλαμβάνει τις περιπτώσεις FTTB και FTTH.
- ❖ **FTTD** (Fiber-To-The-Desktop): Η οπτική ίνα τερματίζει σε έναν μετατροπέα σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό, ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος πλησίον του υπολογιστή του συνδρομητή.
- ❖ Στις περιπτώσεις FTTN, FTTC και FTTB, η οπτική ίνα τερματίζει συνήθως σε DSLAM με VDSL και στη συνέχεια, με χάλκινο ζεύγος μεταφέρεται μέχρι τον τερματικό εξοπλισμό του χρήστη με τεχνολογία VDSL2.



Τυπική αρχιτεκτονική οπτικού δικτύου

- ❖ Το **δίκτυο κορμού** αποτελείται από τους κύριους κόμβους, που συνδέονται μεταξύ τους εφόσον βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.
- ❖ Το **δίκτυο διανομής** απαρτίζεται από τους κόμβους διανομής, που συνδέονται μεταξύ τους, ενώ υπάρχει πρόβλεψη για επιπλέον συνδέσεις στο μέλλον.
- ❖ Το **δίκτυο πρόσβασης** αποτελείται από τους κόμβους πρόσβασης και χρησιμοποιείται για να συνδέονται τα διάφορα κτίρια σε αυτούς.

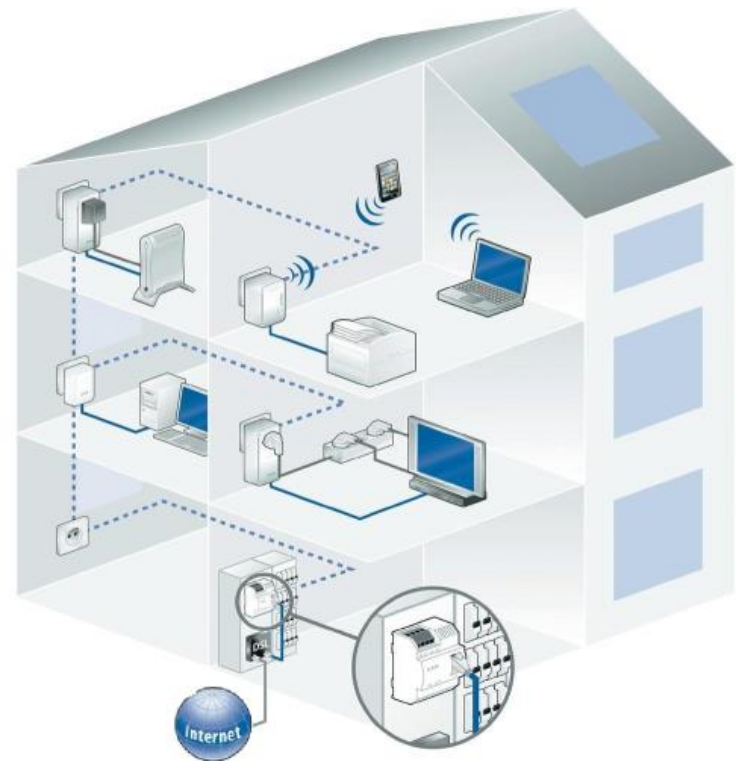


Δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης

- ❖ Σε πολλές χώρες (αλλά όχι στην Ελλάδα) έχουν αναπτυχθεί ενσύρματα δίκτυα για την παροχή [συνδρομητικής/καλωδιακής τηλεόρασης](#) (Cable Television).
- ❖ Τα δίκτυα αυτά βασίζονται σε [ομοαξονικά καλώδια](#) (Coaxial Cables) και χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, αξιοποιώντας μια τεχνολογία γνωστή ως [Data Over Cable Service Interface Specification](#) (DOCSIS).
- ❖ Ορισμένες εκδόσεις της DOCSIS επιτρέπουν αμφίδρομη μορφή επικοινωνίας, μεταξύ του συνδρομητή και του παρόχου των προγραμμάτων.
- ❖ Τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, όπου αυτά υφίστανται, έχουν κατά κανόνα αναχθεί στο κυριότερο εναλλακτικό δίκτυο παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών και συναγωνίζονται τα δίκτυα DSL, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην ανάπτυξη του ανταγωνισμού.

Ηλεκτρικά δίκτυα

- ❖ Η παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω των καλωδίων ρεύματος (Power Line Communication) έχει προταθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία.
- ❖ Χρησιμοποιείται σε αρκετά ευρωπαϊκά κράτη, όμως σε πιλοτικό επίπεδο.
- ❖ Επιμέρους πρότυπα για οικιακό ευρυζωνικό δίκτυο μέσω των γραμμών ηλεκτροδότησης έχουν αναπτυχθεί από διάφορες εταιρείες, στο πλαίσιο της HomePlug Powerline Alliance και του Universal Powerline Association, αλλά δεν υπάρχει ένα καθολικά αποδεκτό πρότυπο.



Ασύρματες Τεχνολογίες Ευρυζωνικής Πρόσβασης

Ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks):

- Wi-Fi
- WiMAX

Ασύρματη σταθερή πρόσβαση (Fixed Wireless Access)

Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Communications)

- Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (3G/UMTS, 4G/LTE, 5G)

Αμφίδρομα Δορυφορικά Δίκτυα Πρόσβασης (Satellite Access)

Wi-Fi

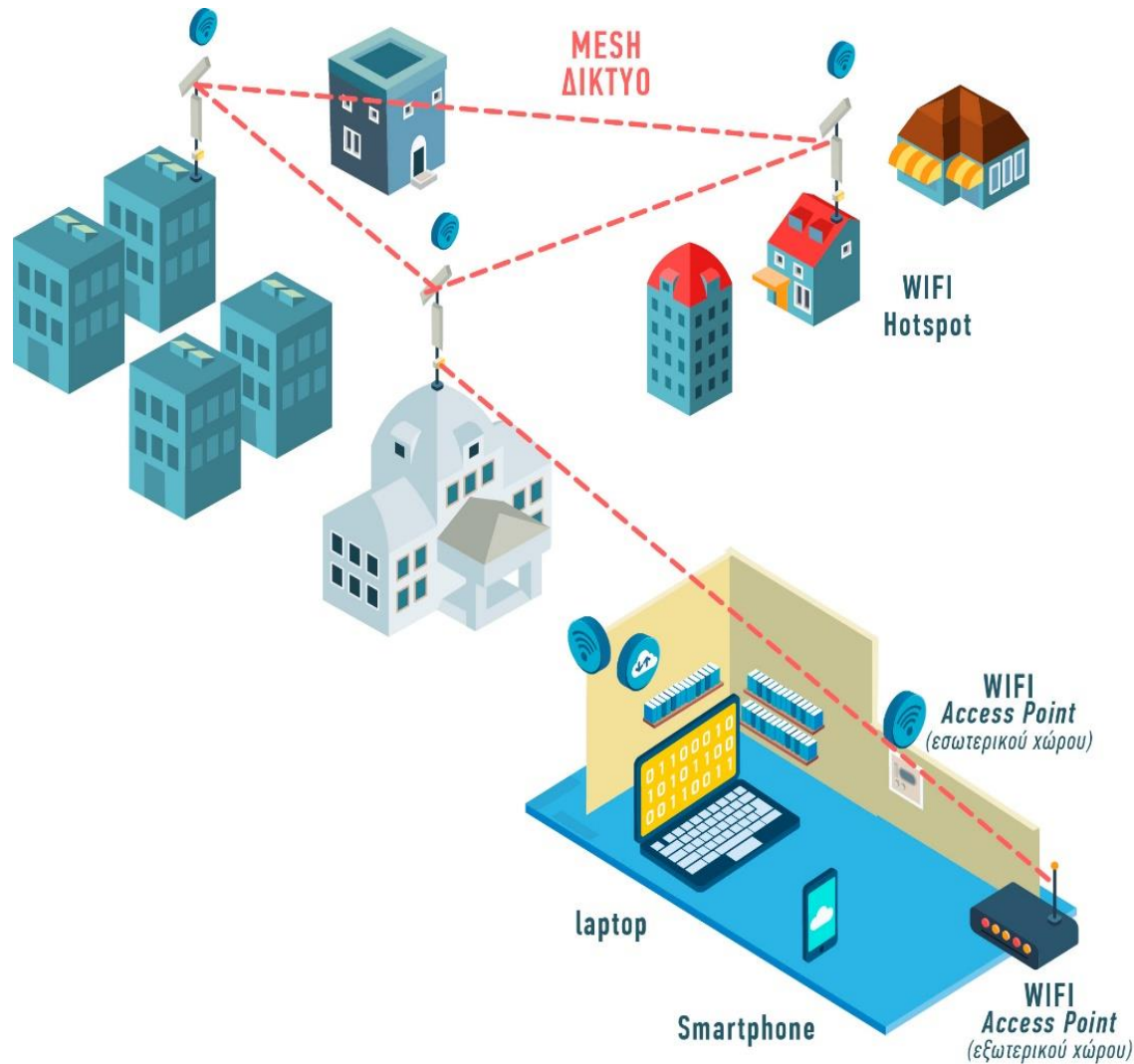
Wi-Fi: (Wireless Fidelity). Περιγράφει το υψηλής ταχύτητας ασύρματο τοπικό δίκτυο [Wireless LAN](#) (WLAN).

- ❖ Χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς (Indoor) και εξωτερικούς (Outdoor) χώρους.
- ❖ Υλοποιεί δίκτυο πρόσβασης χρηστών (συνηθέστερα), αλλά και για να διασυνδέσει ένα τοπικό δίκτυο με κάποιο άλλο δίκτυο ανώτερου επιπέδου.

Τα WLANs ακολουθούν το πρότυπο [IEEE 802.11](#) και αποτελούνται από τις μονάδες:

- ❖ **Σημείο πρόσβασης** (Access Point/AP): Παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, αλλά υποστηρίζει και άλλες λειτουργίες στο ασύρματο δίκτυο.
- ❖ **Σύστημα διανομής** (Distribution System): Ενώνει τα διάφορα AP του ίδιου δικτύου, επιτρέποντάς τους να επικοινωνούν.
- ❖ **Ασύρματο μέσο μετάδοσης** (Wireless Medium): Με διάφορα φυσικά στρώματα, που έχουν οριστεί και χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες (συνήθως) είτε υπέρυθρες ακτίνες (σπανιότερα), μεταδίδονται πακέτα μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου.
- ❖ **Σταθμοί** (Stations): Συνήθως πρόκειται για φορητές συσκευές (laptops, smartphones κτλ.).

Τυπική τοπολογία WLAN (Wi-Fi) δικτύου



Wi-Fi

Τα πιο κοινά WLANs λειτουργούν στις ελεύθερες περιοχές συχνοτήτων:

- ❖ [Industrial, Scientific and Medical](#) (ISM) των 2,4 GHz.
- ❖ [Unlicensed National Information Infrastructure](#) (UNII) των 5 GHz.

Τα Wi-Fi δίκτυα εμφανίζονται με δύο μορφές **αρχιτεκτονικής**:

- ❖ τη [δομημένη](#) (Infrastructure Wireless Mode).
- ❖ την τυχαία [ad-hoc](#) (MANET).

Στο [φυσικό επίπεδο](#) (Physical Layer) χρησιμοποιεί τις τεχνικές **διαμόρφωσης**:

- ❖ [Frequency Hopping Spread Spectrum](#) (FHSS).
- ❖ [Direct Sequence Spread Spectrum](#) (DSSS).
- ❖ [Orthogonal Frequency Division Multiplexing](#) (OFDM).

Πρότυπα Wi-Fi

Με σκοπό τη βελτίωση και την εξέλιξη του αρχικού προτύπου **IEEE 802.11** (1997), αναπτύχθηκαν διάφορα υποπρότυπα σχεδιασμού και λειτουργίας του Wi-Fi. Τα πιο γνωστά είναι:

- ❖ **IEEE 802.11a** (1999): χρησιμοποιεί τη ζώνη των **5 GHz** και την τεχνική διαμόρφωσης OFDM, και επιτυγχάνει ταχύτητα μέχρι **54 Mbps**.
- ❖ **IEEE 802.11b** (1999): χρησιμοποιεί τη ζώνη των **2.4 GHz** και την τεχνική διαμόρφωσης DSSS, και επιτυγχάνει ταχύτητα μέχρι **11 Mbps**.
- ❖ **IEEE 802.11g** (2003): επεκτείνει το 802.11b, ώστε να προσεγγίζει ταχύτητες μέχρι **54 Mbps**.
- ❖ **IEEE 802.11n** (2009): επεκτείνει το 802.11b, ώστε να προσεγγίζει ταχύτητες μέχρι **72 Mbps**. Εφόσον στο χώρο δεν υπάρχουν άλλες μικροκυματικές ή υπέρυθρες εκπομπές, η ταχύτητα μπορεί να ανέλθει μέχρι τα **150 Mbps**. Χρησιμοποιεί την τεχνική [Multiple-Input, Multiple-Output Antennas](#) (MIMO).
- ❖ **IEEE 802.11s**: επιτρέπει την [ασύρματη δικτύωση πλέγματος](#) (Wireless Mesh Network).

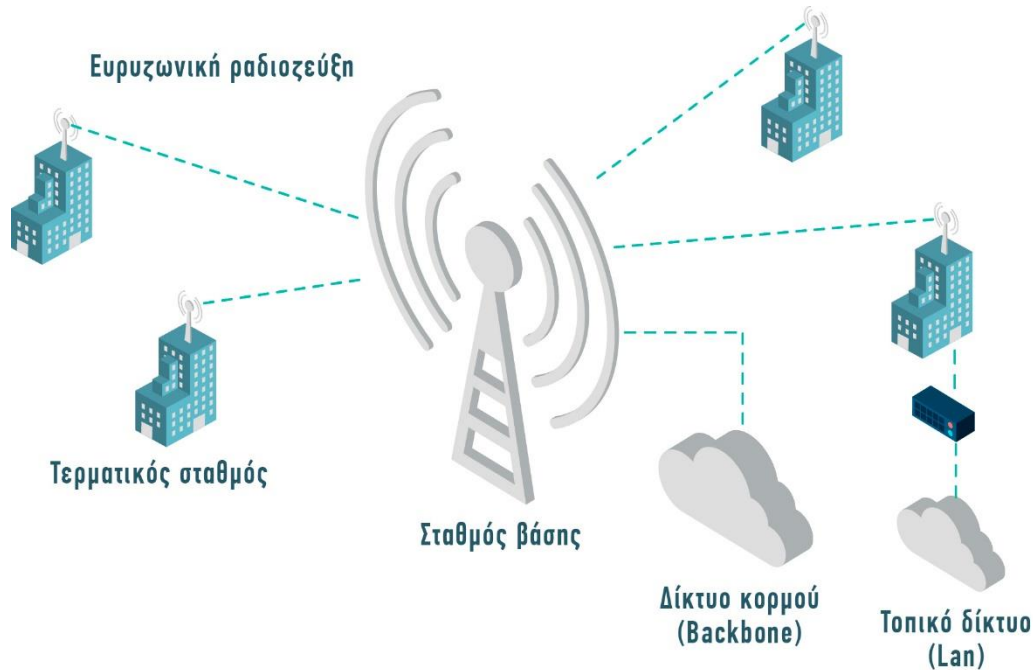


Συγκριτικός πίνακας οικογένειας πρωτοκόλλων 802.11

Πρωτόκολλο	Έτος	Συχνότητα λειτουργίας (GHz)	Εύρος ζώνης (MHz)	Μέγιστος ρυθμός δεδομένων (Mbit/s)	Εμβέλεια εσωτερικού χώρου (m)	Εμβέλεια εξωτερικού χώρου (m)
IEEE 802.11	1997	2.4	22	2	20	100
IEEE 802.11a	1999	5	20	54	35	120
IEEE 802.11b	1999	2.4	22	11	35	140
IEEE 802.11g	2003	2.4	20	54	38	140
IEEE 802.11n	2009	2.4/5	20	72.2	70	250
			40	150	70	250
IEEE 802.11ac	2013	5	20	96.3	35	
			40	200	35	
			80	433,3	35	
			160	866,7	35	
IEEE 802.11ad Wireless Gigabit Alliance	2012	60	2,16	6.75 Gbit/s		

Fixed Wireless Access

- ❖ Τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης (Fixed Wireless Access) παρέχουν πρόσβαση στο δημόσιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μέσω ασύρματης μετάδοσης.



- ❖ Ο όρος «σταθερή» υποδεικνύει ότι ο τερματικός εξοπλισμός του χρήστη ενός τέτοιου δικτύου πρέπει να είναι σταθερά τοποθετημένος και δεν μπορεί να μετακινείται, όπως συμβαίνει στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Fixed Wireless Access

- ❖ Για την υλοποίηση δικτύων σταθερής ασύρματης πρόσβασης απαιτείται κατά κανόνα **άδεια χρήσης** κάποιου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.
- ❖ Στην Ελλάδα έχουν αδειοδοτηθεί δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης στις ζώνες συχνοτήτων 3,5 GHz και 26 GHz.
- ❖ Υλοποιούνται μέσω της τεχνολογίας [Local Multipoint Distribution System](#) (LMDS), δηλ. ενός συστήματος υψηλής χωρητικότητας και διαθεσιμότητας, ειδικά σχεδιασμένου για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών, αλλά βασισμένου σε μη προτυποποιημένα πρωτόκολλα.
- ❖ Η μέγιστη ακτίνα κάλυψης σε συνθήκες [οπτικής επαφής](#) (Line-Of-Sight) είναι **~10 km** για εκπομπή στα 3,5GHz και **~3,5 km** για εκπομπή στα 26GHz. Κάθε χρήστης επικοινωνεί με έναν μόνο σταθμό βάσης, με ταχύτητα ~40 Mbps.
- ❖ Το LMDS χρησιμοποιεί τις τεχνικές πολυπλεξίας (διαμοιρασμού καναλιού):
 - [Time Division Multiple Access](#) (TDMA)
 - [Frequency Division Multiple Access](#) (FDMA)
- ❖ και τις διαμορφώσεις:
 - [Quadrature Phase Shift Keying](#) (QPSK)
 - [64-Quadrature Amplitude Modulation](#) (64-QAM)

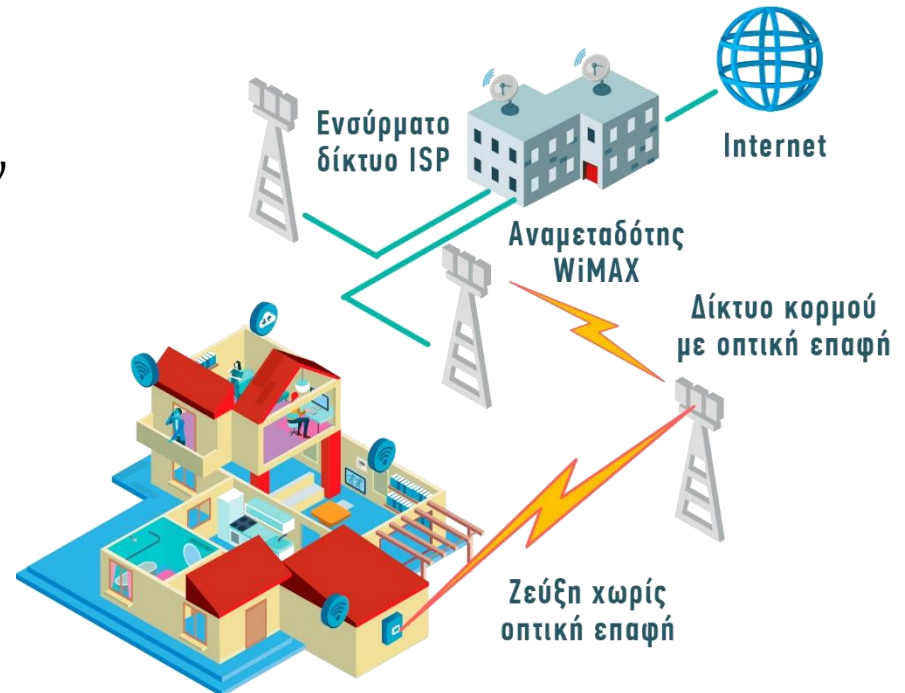
WiMAX

- ❖ Το WiMAX ([IEEE 802.16](#), 2003) λειτουργεί σε μια ευρεία μπάντα συχνοτήτων, από 2 μέχρι 66 GHz.
- ❖ Δομείται σε αρχιτεκτονική **κυψελών** και καλύπτει κυρίως **πολυσημειακές** (Point-to-Multipoint) συνδέσεις, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του σε **μονοσημειακές** (Point-to-Point) συνδέσεις.
- ❖ Βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM, η οποία είναι πολύ ανθεκτική στο φαινόμενο της [πολυδιάδρομης μετάδοσης](#) (Multipath Propagation), ειδικά στις συχνότητες άνω των 10 GHz (πρότυπο 802.16).
- ❖ Το πρότυπο IEEE 802.16 διαφέρει από το IEEE 802.11, επειδή:
 - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες **μη οπτικής επαφής** (Non Line-Of-Sight/NLOS), αλλά με ρυθμούς μετάδοσης σημαντικά χαμηλότερους των 50 Mbps.
 - Προσφέρει εγγυημένο [επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας](#) (Quality of Service / QoS), γεγονός που το κάνει κατάλληλο για διανομή υπηρεσιών βίντεο.



Επιδόσεις WiMAX

- ❖ Σε απόλυτα ιδανικές συνθήκες το WiMAX υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως και **72 Mbps** σε απόσταση έως και **50 km**, εφόσον υπάρχει οπτική επαφή.
- ❖ Σε **επαρχιακές περιοχές** όπου οι κεραιές μετάδοσης απέχουν μεταξύ τους **10 km**, η ταχύτητα αναμένεται να είναι περί τα **10 Mbps**.
- ❖ Σε **αστικά περιβάλλοντα** οι ταχύτητες θα είναι της ίδιας τάξης, αλλά σε απόσταση **2 km**, επειδή πολλές κεραιές δεν θα έχουν οπτική επαφή μεταξύ τους.
- ❖ Ένας άλλος παράγοντας μείωσης της τελικής ταχύτητας στο χρήστη είναι το πλήθος των συνδεδεμένων χρηστών ανά κεραία (κυψέλη).
- ❖ Τυπικά, κάθε κεραία θα μπορεί να παρέχει **100 Mbit/s backhaul**. Επομένως, οι χρήστες αναμένεται να έχουν ένα εύρος υπηρεσιών τυπικά από **2 έως 10 Mbit/s**.



Εφαρμογές WiMAX

- ❖ Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που μπορεί να καλύψει και του υψηλού ρυθμού μετάδοσης που παρέχει, το WiMAX αναμένεται να βρει εφαρμογές ως:
 - **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση σε σχέση με τα δίκτυα οπτικών ινών και εξασφαλίζει αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
 - **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μηχανισμό QoS, επιτρέποντας τη χρήση της τεχνολογίας σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, κάτι που δεν είναι εφικτό σε μεγάλες αποστάσεις με το πρότυπο IEEE 802.11.
 - **Δίκτυο κάλυψης περιοχών που είναι αδύνατον να καλυφθούν με τη χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης τέτοιων δικτύων είναι απαγορευτικό.
- ❖ Το πρωτόκολλο 802.16 είναι ακόμη σε **εξέλιξη**. Ερευνητικές ομάδες εργάζονται για να του δώσουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, ώστε να καλύψει σταθερές, αλλά και κινητές επικοινωνίες.
- ❖ Ο ανταγωνισμός με άλλες τεχνολογίες, όπως τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3G/UMTS και 4G/LTE, είναι πολύ σκληρός.

Ασύρματη κινητή πρόσβαση 3G/UMTS

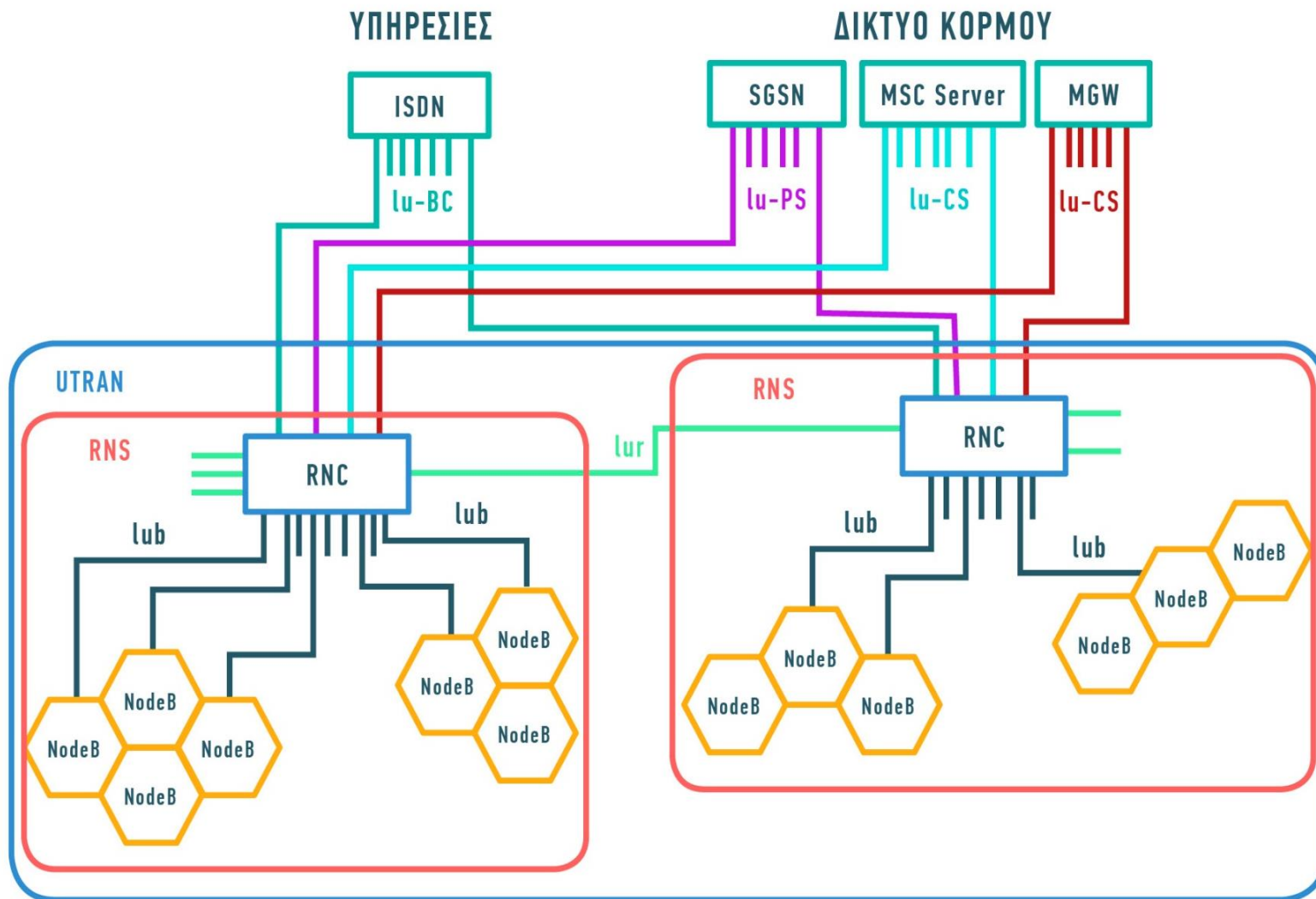
- ❖ [3G/Universal Mobile Telecommunications System](#) (UMTS): τρίτης γενιάς κυψελωτό σύστημα για δίκτυα κινητών επικοινωνιών που βασίζονται στο πρότυπο [Global System for Mobile communications](#) (GSM).
- ❖ Αναπτύσσεται από τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό [Third Generation Partnership Project](#) (3GPP).
- ❖ Τα UMTS δίκτυα υποστηρίζουν αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και τη διακίνηση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής.
- ❖ Στην αρχική τους φάση πρόσφεραν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 Kbps σε κινούμενο χρήστη και 2 Mbps σε ακίνητο χρήστη.
- ❖ Επέκταση του UMTS είναι το σύστημα [High Speed Packet Access](#) (HSPA), που περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), τα οποία υποστηρίζουν αντίστοιχα ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και **14,4 Mbps** στο downlink και **5,8 Mbps** στο uplink.
- ❖ Το σύστημα UMTS είναι ευρύτατα διαδεδομένο, καθώς σε όλο τον κόσμο λειτουργούν περισσότερα από 460 δίκτυα [3G/UMTS](#).



Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

- ❖ Η αρχιτεκτονική ενός UMTS δικτύου αποτελείται από:
 - Το **δίκτυο κορμού** (Core Network/CN): υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των κλήσεων, καθώς και για τις συνδέσεις μεταφοράς δεδομένων με εξωτερικά δίκτυα.
 - και το **δίκτυο επίγειας ασύρματης πρόσβασης** (Terrestrial Radio-Access Network/UTRAN-UMTS): υπεύθυνο για οτιδήποτε σχετίζεται με το ασύρματο μέρος του δικτύου.
- ❖ Η επικοινωνία μεταξύ τερματικού σημείου (χρήστης) και σταθμού βάσης καθορίζεται από το πρότυπο [Wideband Code Division Multiple Access](#) (WCDMA), το οποίο επιτρέπει την ταυτόχρονη εκπομπή στην ίδια συχνότητα, αλλά με διαφορετικό κωδικό ανά χρήστη.
- ❖ Οι συχνότητες λειτουργίας είναι 1920-1980 MHz και 2110-2170 MHz.
- ❖ Χρησιμοποιεί κανάλια εύρους 5 MHz (έναντι 200 KHz του GSM) και τεχνολογία διασποράς φάσματος (Spread Spectrum).

Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

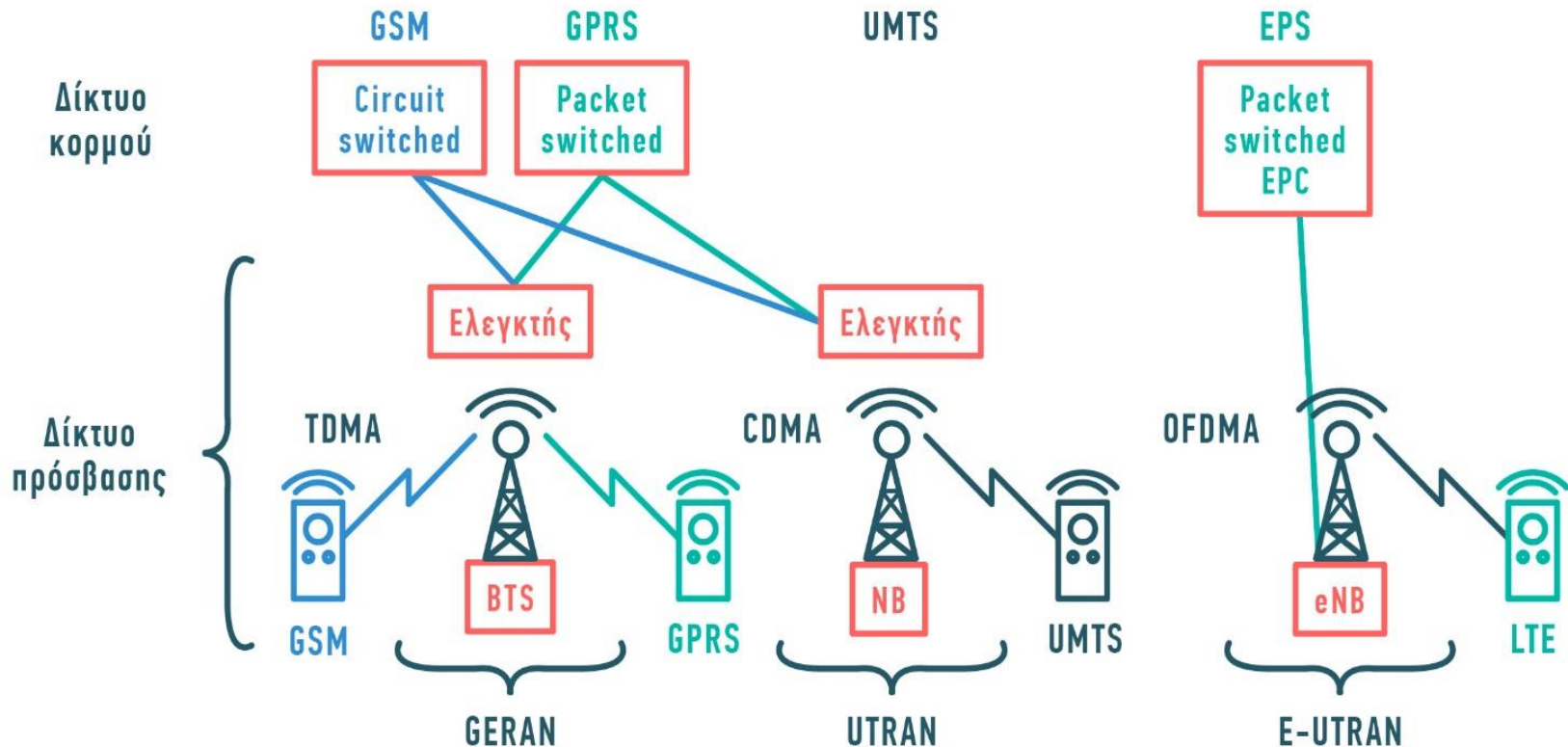


Long Term Evolution

- ❖ [Long Term Evolution](#) (LTE): πρότυπο 4G για ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών σε υψηλές ταχύτητες.
- ❖ Αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP και φιλοδοξεί να καθιερωθεί ως το πρώτο πραγματικά παγκόσμιο πρότυπο κινητής τηλεφωνίας.
- ❖ Υποστηρίζει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων της τάξης των **300 Mbps** downlink και των **75 Mbps** uplink.
- ❖ Χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης [Orthogonal Frequency Division Multiple Access](#) (OFDMA) για την καθοδική ζεύξη, και την [Single Carrier-Frequency Division Multiple Access](#) (SC-FDMA), για την ανοδική ζεύξη.
- ❖ Το εύρος ζώνης είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1,4 έως τα 20 MHz.
- ❖ Υποστηρίζει τουλάχιστον 200 ενεργές συνδέσεις δεδομένων σε κάθε κανάλι, συχνότητας 5 MHz, και προσφέρει βελτιωμένη υποστήριξη για κινητές συσκευές, ακόμα και αν αυτές κινούνται με ταχύτητες μέχρι και 500 km/ώρα.



Αρχιτεκτονική LTE

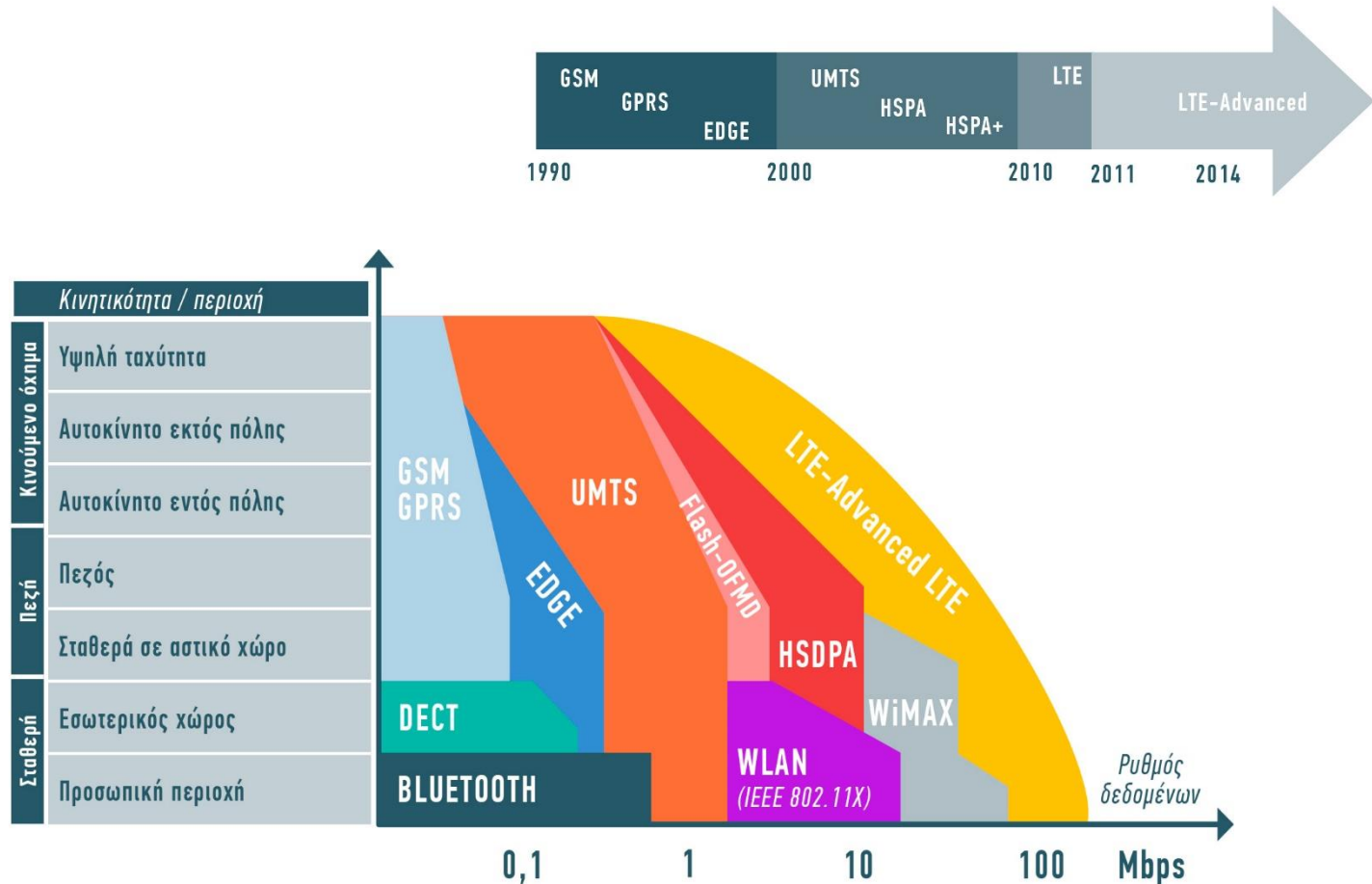


Η αρχιτεκτονική του δικτύου LTE βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το [Evolved Packet Core](#) (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network. Η απλούστερη αρχιτεκτονική, και μάλιστα σε μορφή IP, αποσκοπεί και εξασφαλίζει χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

Χαρακτηριστικά LTE

- ❖ Το LTE λειτουργεί σε **κυψέλες μεταβλητού μεγέθους**. Η ιδανική ακτίνα κυψέλης στις αγροτικές περιοχές είναι τα **5 km**, ενώ ακόμα και σε ακτίνα 100 km η απόδοση παραμένει ικανοποιητική.
- ❖ Σε αστικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται υψηλές συχνότητες και ακτίνα κυψέλης **1 km**, ώστε να υποστηρίζονται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης σε μεγάλο αριθμό χρηστών.
- ❖ Το LTE διαλειτουργεί με τα παλαιότερα πρότυπα (π.χ. GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000), οπότε οι χρήστες θα μπορούν να μεταβαίνουν χωρίς πρόβλημα ακόμα και κατά την κλήση/σύνδεση από περιοχές με κάλυψη LTE σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE.
- ❖ Το LTE προτάθηκε το 2004 και οριστικοποιήθηκε το 2008.
- ❖ Τα πρώτα εμπορικά δίκτυα LTE εγκαταστάθηκαν τον Δεκέμβριο του 2009 στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera.
- ❖ Η εξέλιξή του είναι το **LTE Advanced**, το οποίο προτυποποιήθηκε τον Μάρτιο του 2011.

Τεχνολογίες ασύρματης κινητής πρόσβασης



Διάγραμμα τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης, ανάλογα με το ρυθμό πρόσβασης και το επίπεδο κινητικότητας του χρήστη, που υποστηρίζουν.

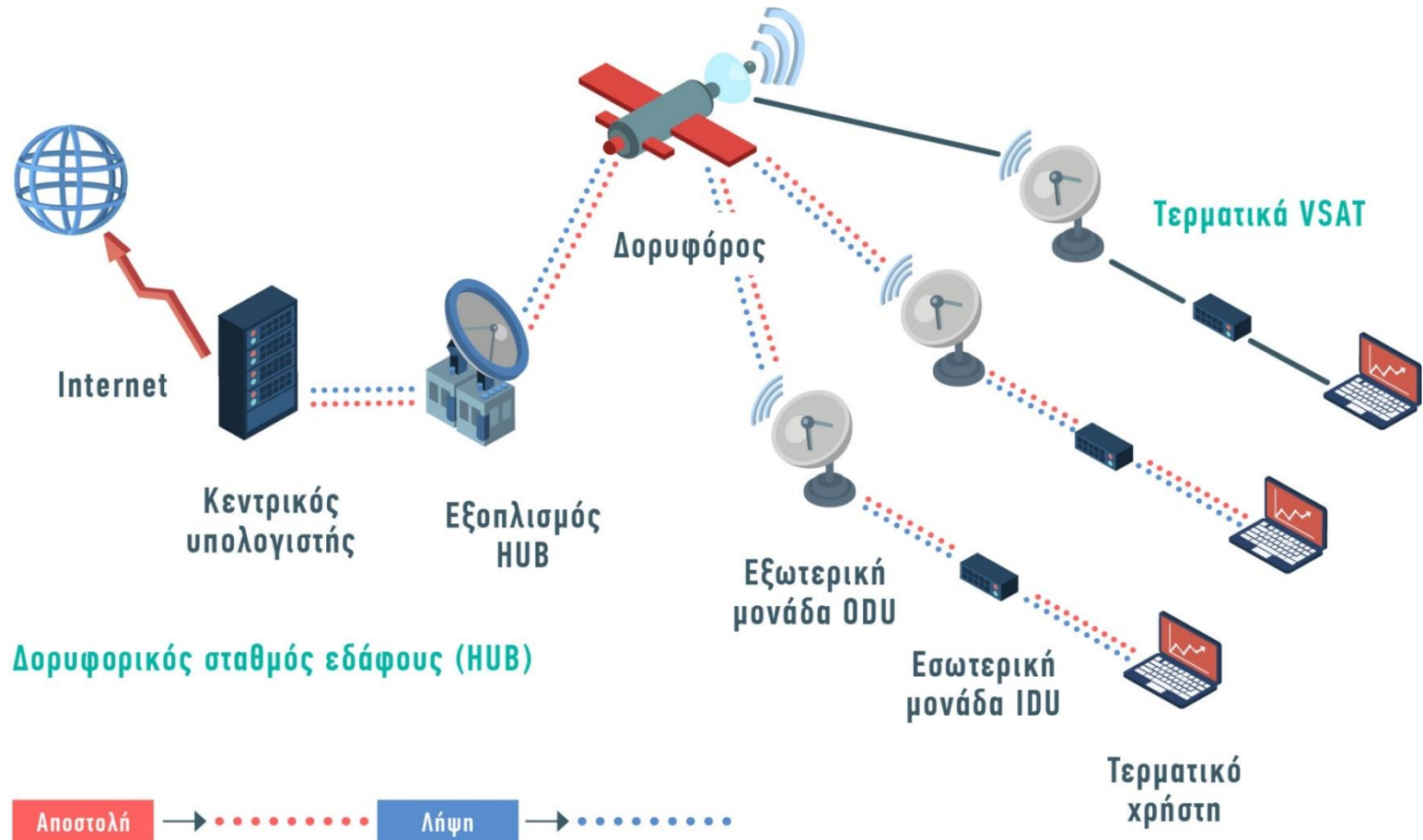
Αμφίδρομη δορυφορική πρόσβαση

- ❖ Οι δορυφορικές επικοινωνίες ξεκίνησαν να παρέχονται εμπορικά το 1965 με το δορυφόρο Early Bird και κάλυπταν κυρίως επικοινωνίες φωνής και τηλεόρασης.
- ❖ Σήμερα οι επικοινωνιακοί δορυφόροι είναι τοποθετημένοι σε γεωστατική τροχιά, δηλαδή σε ύψος 35.786 km από την επιφάνεια της Γης, και κινούνται με ταχύτητα 11.040 km/ώρα, ώστε να μένουν σταθεροί επάνω από το ίδιο σημείο της Γης.
- ❖ Χρησιμοποιούνται όχι μόνο για την τηλεφωνία και την τηλεόραση, αλλά και για την αμφίδρομη ευρυζωνική μετάδοση δεδομένων.
- ❖ Συγκριτικά με το επίγειο σύστημα, το δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας:
 - καλύπτει με άνεση απαιτήσεις εκπομπής σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων,
 - έχει μεγάλη καθυστέρηση σήματος, της τάξης των 250 msec, η οποία οφείλεται στη μεγάλη απόσταση και είναι ενοχλητική τόσο στην τηλεφωνία, όσο και στη μετάδοση δεδομένων,
 - δεν παρέχει ασφάλεια, επειδή όλοι μπορούν να λάβουν την εκπεμπόμενη πληροφορία, και γι' αυτό χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα συστήματα κρυπτογράφησης,
 - το κόστος για τη χρήση του δεν επηρεάζεται από την απόσταση μεταξύ των επικοινωνούντων τερματικών.

Τεχνολογία DVB-RCS

- ❖ DVB-RCS: Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite
- ❖ Το δορυφορικό δίκτυο συνίσταται από το δορυφόρο, τον δορυφορικό σταθμό εδάφους (HUB Station) και τα τερματικά των χρηστών (σταθερών και κινητών), και διατάσσεται σε [τοπολογία αστέρα](#).
- ❖ Για την εξασφάλιση αμφίδρομης επικοινωνίας υφίστανται δύο οδεύσεις:
 - το **προωστικό κανάλι** (Forward Channel), από τον δορυφορικό σταθμό εδάφους προς το δορυφόρο και στη συνέχεια προς το τερματικό,
 - το **κανάλι επιστροφής** (Return Channel), από το τερματικό προς το δορυφόρο και ύστερα προς τον δορυφορικό σταθμό εδάφους.
- ❖ Το σύστημα DVB-RCS τυποποιήθηκε το 2000 και περιλαμβάνει το σύστημα δεδομένων DVB/MPEG-2 (στο προωστικό κανάλι) και το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης MF-TDMA (στο κανάλι επιστροφής).
- ❖ Χρησιμοποιεί την [τεχνολογία Very Small Aperture Terminal](#) (VSAT), μια ιδιαίτερη μορφή δορυφορικής επικοινωνίας, η οποία ονομάστηκε έτσι επειδή οι τερματικοί σταθμοί εδάφους χρησιμοποιούν κεραίες μικρών διαστάσεων και χαμηλού κόστους.

Δορυφορικό δίκτυο VSAT



Δορυφορικό δίκτυο VSAT

- ❖ Το τερματικό του χρήστη (VSAT Remote Site) αποτελείται από μια εξωτερική μονάδα (Outdoor Unit/ODU) και από μια εσωτερική μονάδα (Indoor Unit/IDU).
- ❖ Η εξωτερική μονάδα αποτελείται από μια παραβολική κεραία, που μπορεί να λειτουργεί στην Ku περιοχή (μπάντα) συχνοτήτων.
- ❖ Η διάμετρος της κεραίας εκτείνεται από 0,96 m έως 1,8 m.
- ❖ Οι συχνότητες λήψης βρίσκονται στην μπάντα από 10,95 έως 12,75 GHz.
- ❖ Η λήψη πραγματοποιείται με τη χρήση ενός [Low Noise Block](#) (LNB), που λειτουργεί επίσης στην ίδια μπάντα συχνοτήτων. Η μονάδα αυτή διαθέτει διεπαφή L-band, η οποία συνδέεται απευθείας στην εσωτερική μονάδα, μέσω ομοαξονικού καλωδίου.
- ❖ Η μετάδοση πραγματοποιείται με τη χρήση ενός High Power Block Up Converter, που λειτουργεί επίσης στην Ku μπάντα συχνοτήτων.
- ❖ Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ένας ενισχυτής ισχύος 2-Watt.
- ❖ Οι συχνότητες μετάδοσης βρίσκονται στην μπάντα 14 έως 14,5 GHz.
- ❖ Παρομοίως με τη λήψη, η έξοδος του συστήματος μέσω του ομοαξονικού καλωδίου συνδέεται με την εξωτερική μονάδα.