



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Προηγμένες Αρχιτεκτονικές Δικτύων (M132)

Δίκτυα Πρόσβασης Ενσύρματα και Οπτικά Παθητικά Δίκτυα

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Χριστοδουλόπουλος

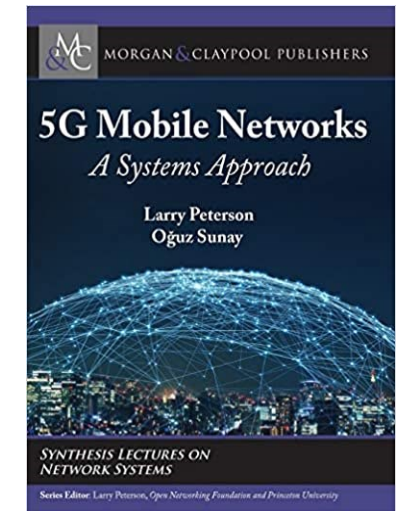
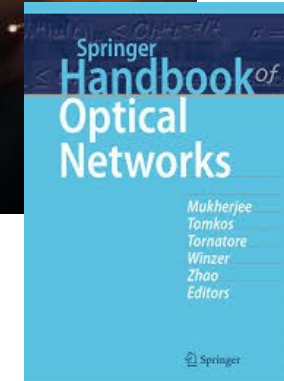
kchristodou@di.uoa.gr

<https://eclass.uoa.gr/courses/DI469/>

Προηγμένες Αρχιτεκτονικές Δικτύων

Θεματικές Ενότητες (ΘΕ) μαθήματος

- Εισαγωγή
- Δίκτυα Κορμού και Μητροπολιτικά Δίκτυα
(Οπτικά Δίκτυα Μεταγωγής Μήκους Κύματος)
- **Δίκτυα πρόσβασης – Ενσύρματα**
(Δίκτυα καλωδίου, DSL, παθητικά οπτικά δίκτυα)
- Δίκτυα πρόσβασης – Ασύρματα/Κινητά Δίκτυα
(4G και 5G)
- Δίκτυα κέντρων δεδομένων
(Datacenter networks)



Σχετικά βιβλία:

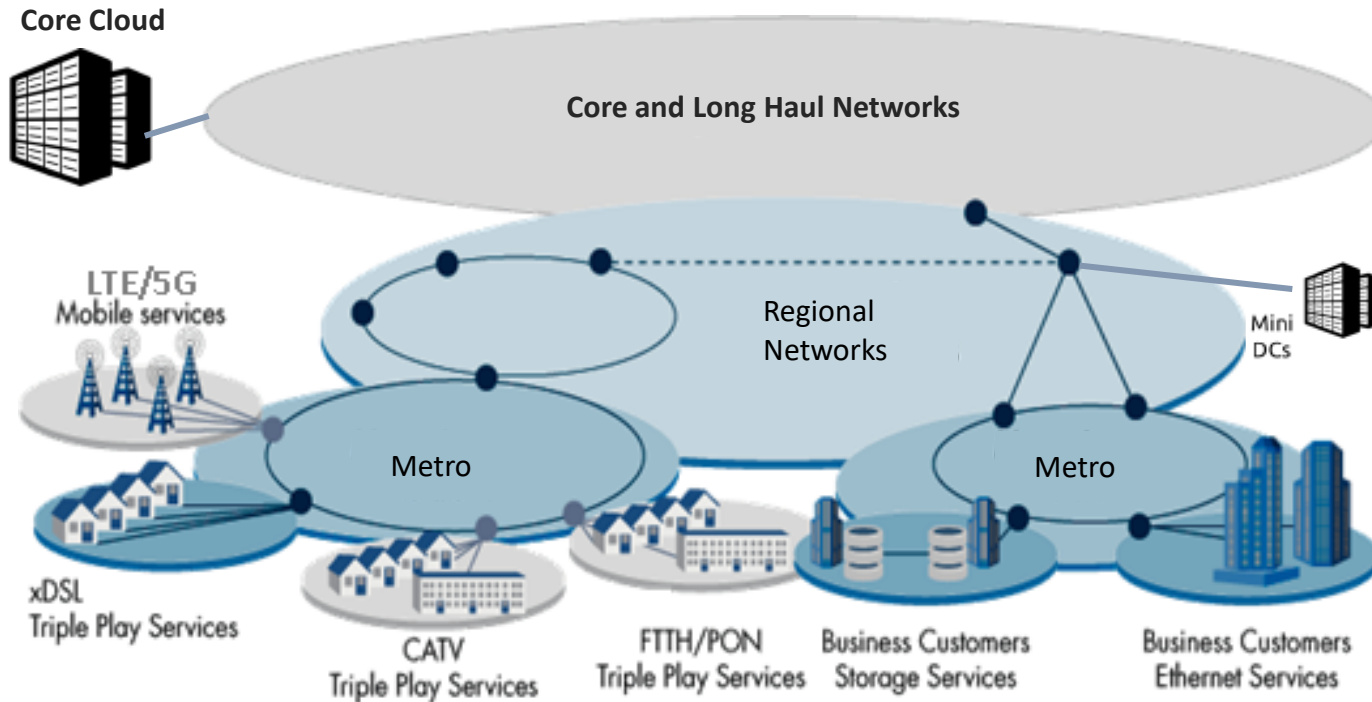
- 1) Computer Networking: A Top-Down Approach, 2022, by Kurose & Ross, Addison-Wesley, 8^η Έκδοση, Ελληνική Μετάφραση: Εκδόσεις : Μ. Γκιούρδας
- 2) Optical Networks: A Practical Perspective, 3rd Edition, 2008, by R. Ramaswami, K. Sivarajan, G. Sasaki, The Morgan Kaufmann Series
- 3) Handbook of Optical Networks, Editors: Mukherjee, Tomkos, Tornatore, Winzer, Zhao, Springer 2020
- 4) 5G Mobile Networks: A Systems Approach, Larry Peterson, Oguz Sunay, and Bruce Davie, MC publishers, (online version: Private 5G: A Systems Approach, 2022)

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων πρόσβασης
- Cable Access
- Digital Subscriber Line (DSL)
- Passive Optical Networks
 - TDM - PON



Δομή του διαδικτύου – Τμήματα



- Το Διαδίκτυο είναι δίκτυο δικτύων διαφορετικών ISPs σε διαφορετικά επίπεδα (tier), καθένα χρησιμοποιεί **διαφορετικές δικτυακές τεχνολογίες**
- **Δίκτυα κορμού** (core, backbone)
- **Περιφερειακά** (regional)
- **Μητροπολιτικά** (metro)
- **Δίκτυα πρόσβασης** (από χρήστη ως τον πρώτο δρομολογητή)

- Τα δίκτυα πρόσβασης είναι το πρώτο ή το τελευταίο “σκέλος” του Διαδικτύου, ανάλογα την κατεύθυνση που το μελετάμε (πρώτο: upload, από το σπίτι ή την επιχείρηση μέχρι ένα κεντρικό γραφείο - central office CO του παρόχου δικτυακών υπηρεσιών –ISP, τελευταίο ανάποδα)
- Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και σαν “last-mile”, “first-mile”
- Διάφορες τεχνολογίες: xDSL, Cable, PON (FTTH), Wireless (WiMax, 3G, 4G, 5G)

Δίκτυα Πρόσβασης – Μέσο μετάδοσης

Διαφορετικά μέσα μετάδοσης / διαφορετικές αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες

1. Twisted pair (copper)

Digital Subscriber Line or Loop (DSL)

2. Hybrid Fiber Coaxial (HFC) /Cable network

Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)

3. Fiber to the x (FTTx), x=Home or Building

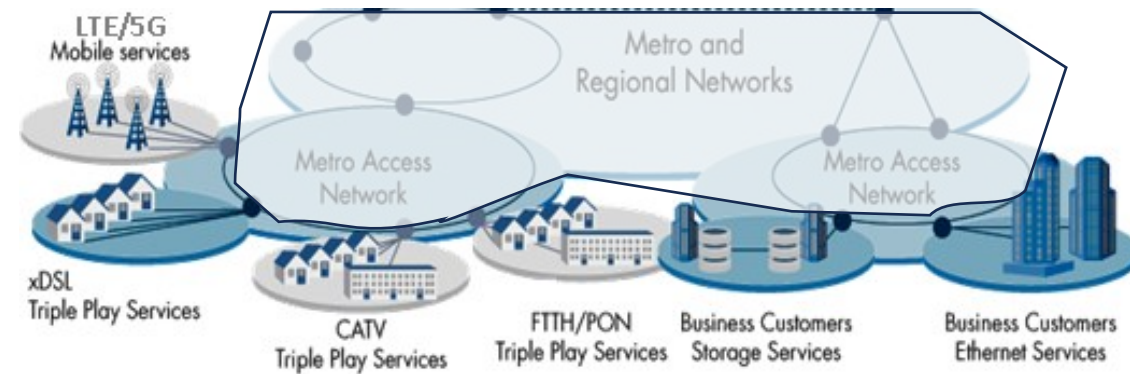
Passive Optical Networks (PON)

4. Wireless

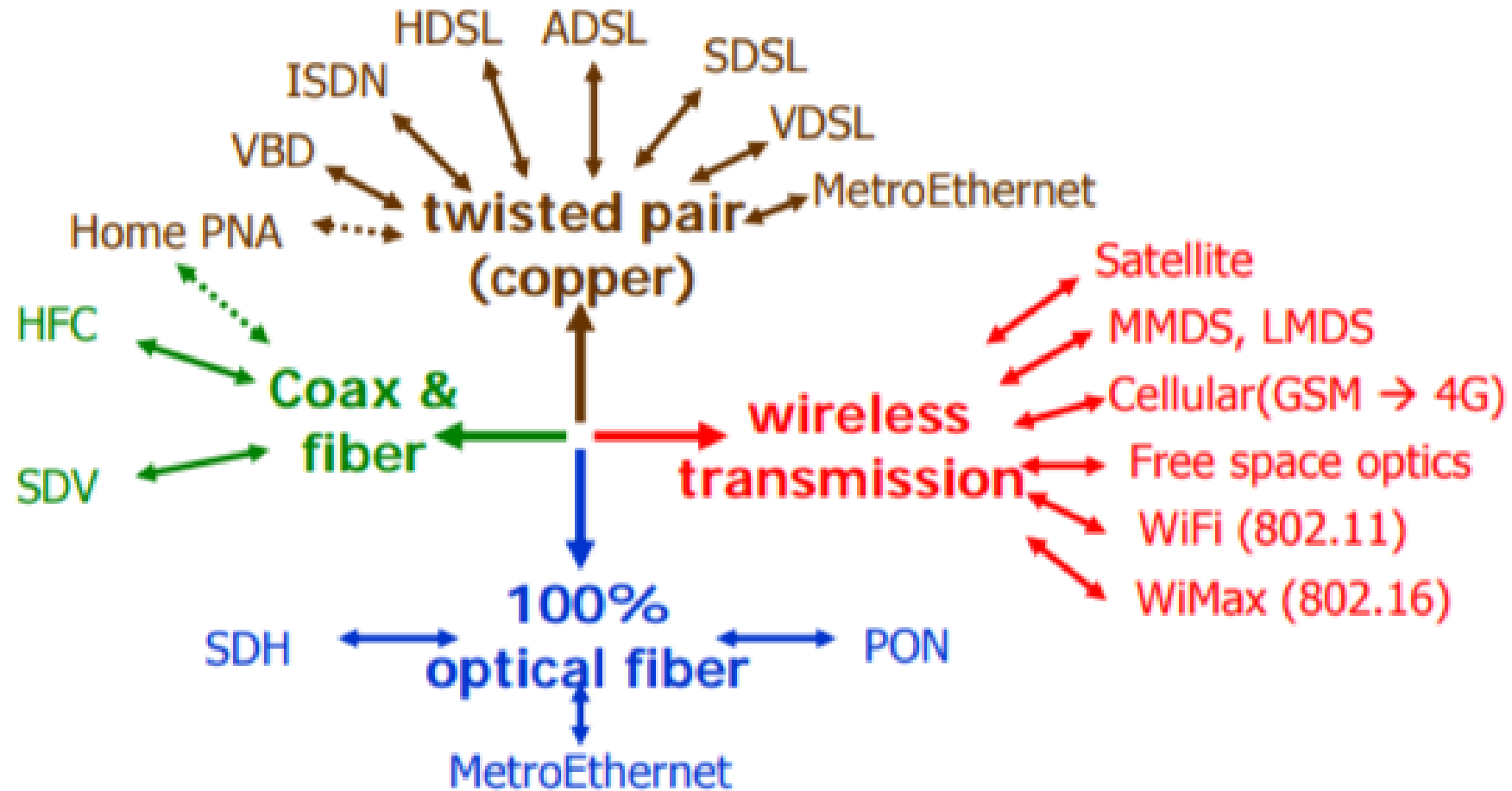
WiMax, 3G, 4G, 5G

■ Εταιρίες, ιδρύματα, ιδιωτικά LAN (ethernet & wifi)

- Οι 1-3 είναι για «οικιακή» ευρυζωνική πρόσβαση, η 4 για μεμονωμένες κινητές συσκευές αλλά χρησιμοποιείται και για «οικιακή» ευρυζωνική πρόσβαση (wireless broadband access – WBA)
 - 1 και 2 χρησιμοποιούν προυπάρχουσες υποδομές (π.χ. η 2 στις ΗΠΑ που υπήρχαν ομοαξονικά καλώδια–συνδρομητική TV)
 - Τα τελευταία χρόνια γίνονται μεγάλες επενδύσεις παγκοσμίως στην 3



Τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης



Τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης

Δυνατότητες/Περιορισμοί



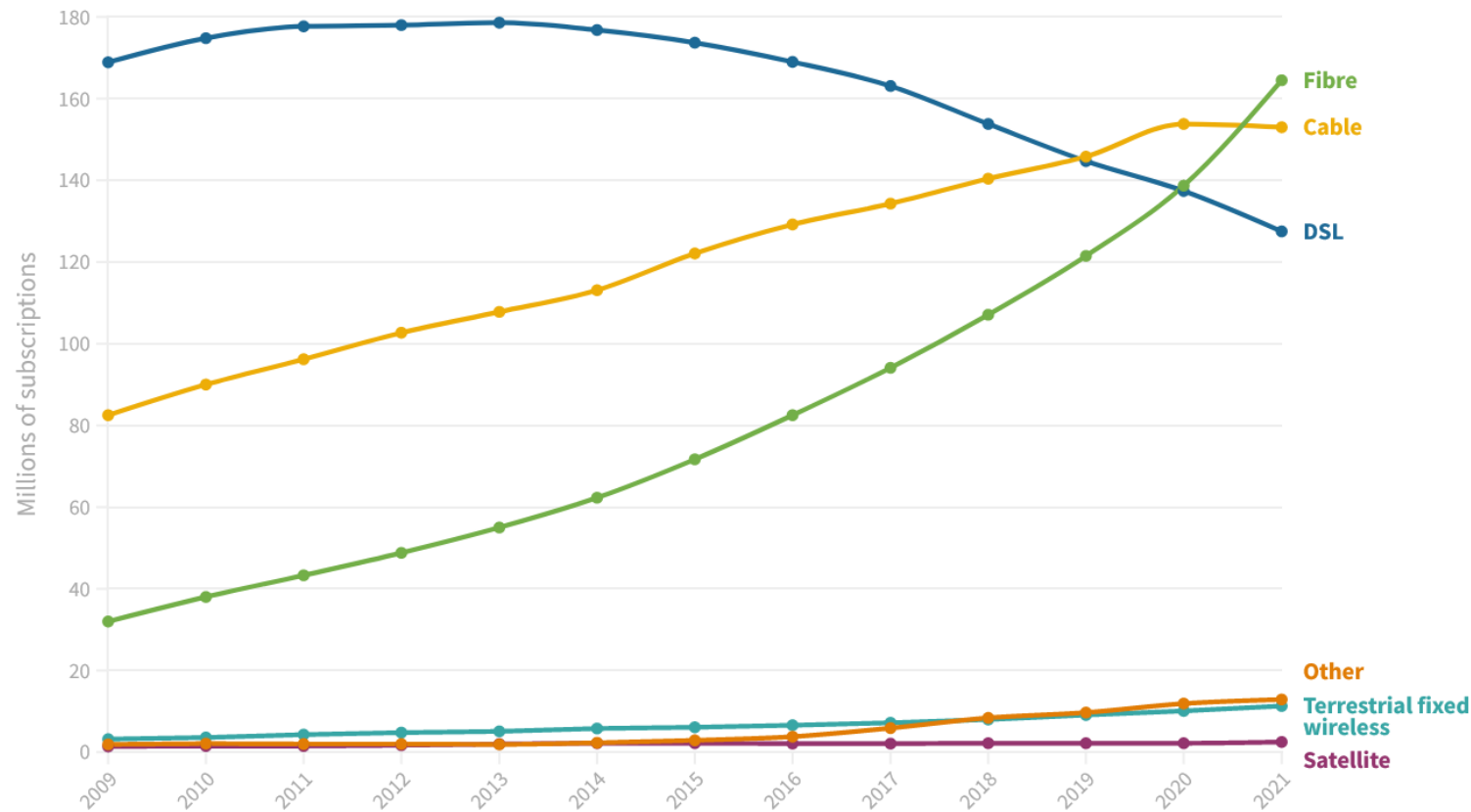
DEPLOYMENT TECHNOLOGY	MAX SPEED DOWNSTREAM	MAX SPEED UPSTREAM	EFFICIENCY RANGE	EVOLUTION OF THE TECHNOLOGY
ADSL, ADSL2, ADSL2+	24 Mbps	3Mbps	5 Km	VDSL
VDSL, VDSL2, Vectoring, 35b Supervectoring	250 Mbps	40 Mbps	1 Km	G.mgfast (XG-fast/NG-fast) or Terabit DSL (TDSL)
G.Fast	1 Gbps	1,4 Gbps	100 m	G.mgfast (XG-fast/NG-fast) or Terabit DSL (TDSL)
HFC DOCSIS 3.1 *	10 Gbps *	1 Gbps *	2 - 100 Km	DOCSIS 4.0
HFC DOCSIS 4.0 *	10 Gbps *	6 Gbps *	2 - 100 Km	Future technology improvements and evolutions
FTTH GPON *	2.5 Gbps *	1.25 Gbps *	20 km	XGS-PON or NG-PON2
XGS-PON *	10 Gbps *	10 Gbps *	40 km	25/50GPON or 100GPON
NG-PON2 *	40 Gbps *	10-40 Gbps *	40 km	25/50GPON or 100GPON
FTTH Point-to-Point (PtP)	10 Gbps	10 Gbps	20 km	Future technology improvements and evolutions

* Shared BW

Διάδοση τεχνολογιών πρόσβασης

Progression in fixed broadband subscriptions by technology

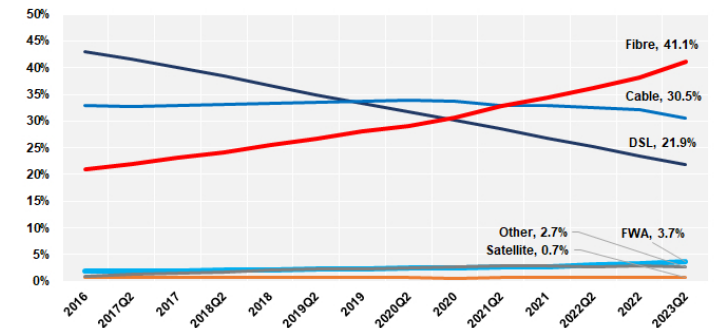
OECD countries, 2009-2021



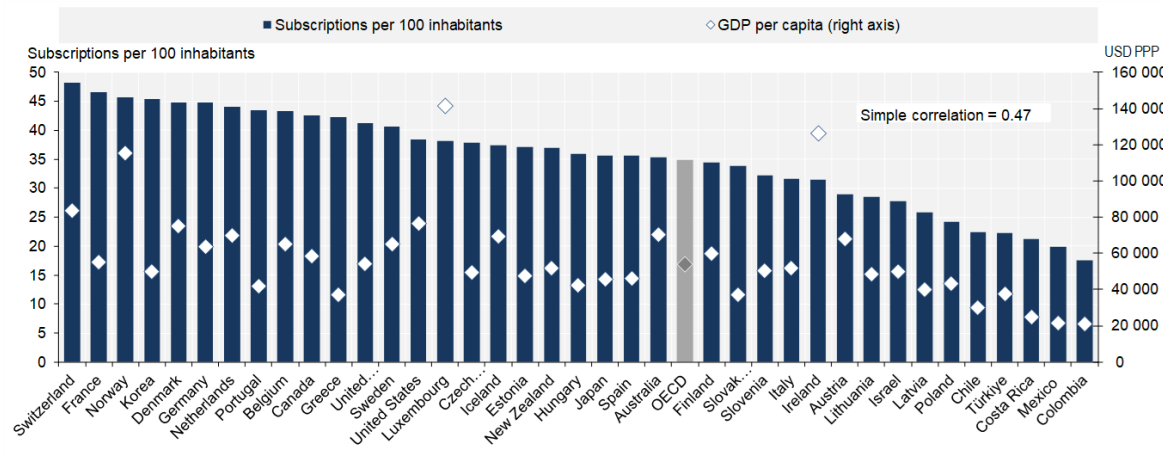
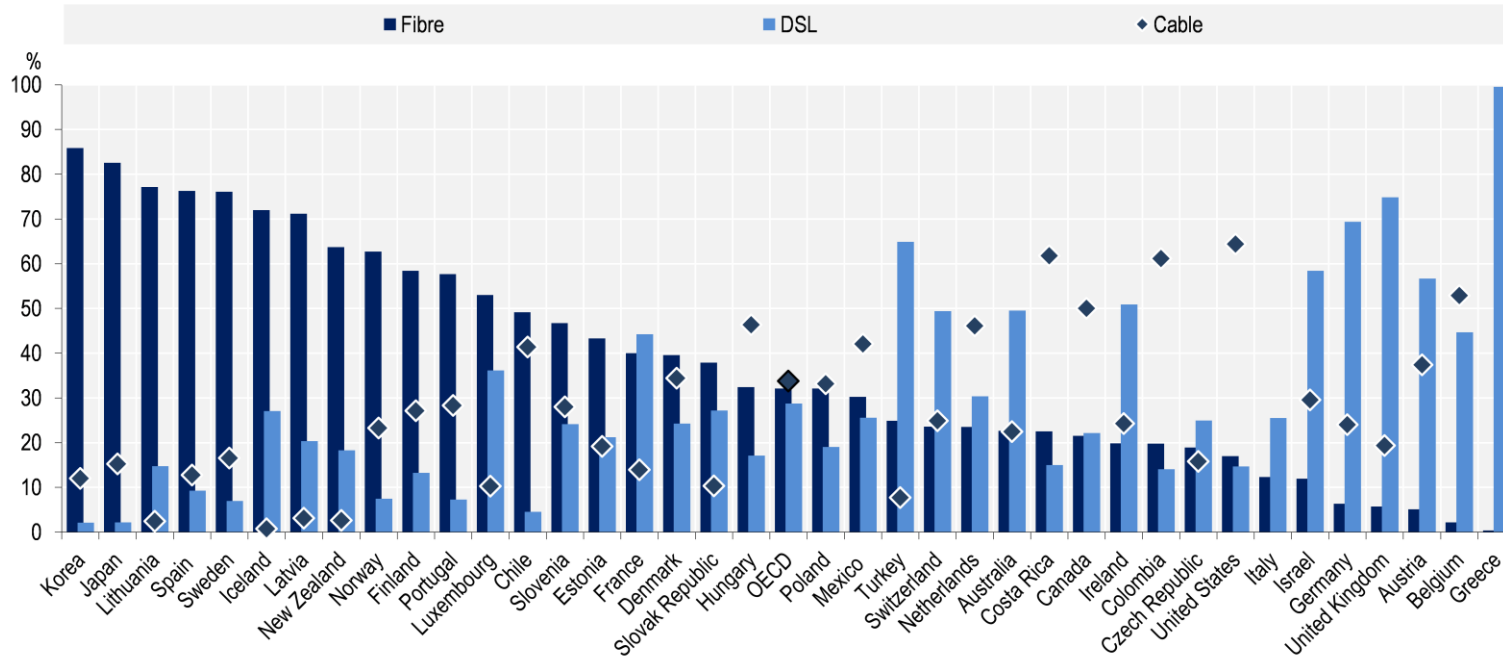
Source: <http://oe.cd/broadband> • July 2022



- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
- Statistics reflect (fixed broadband) home users
 - Not all countries included (e.g. China is not an OECD member)
- Fiber (or Fibre) overtook all others in 2021

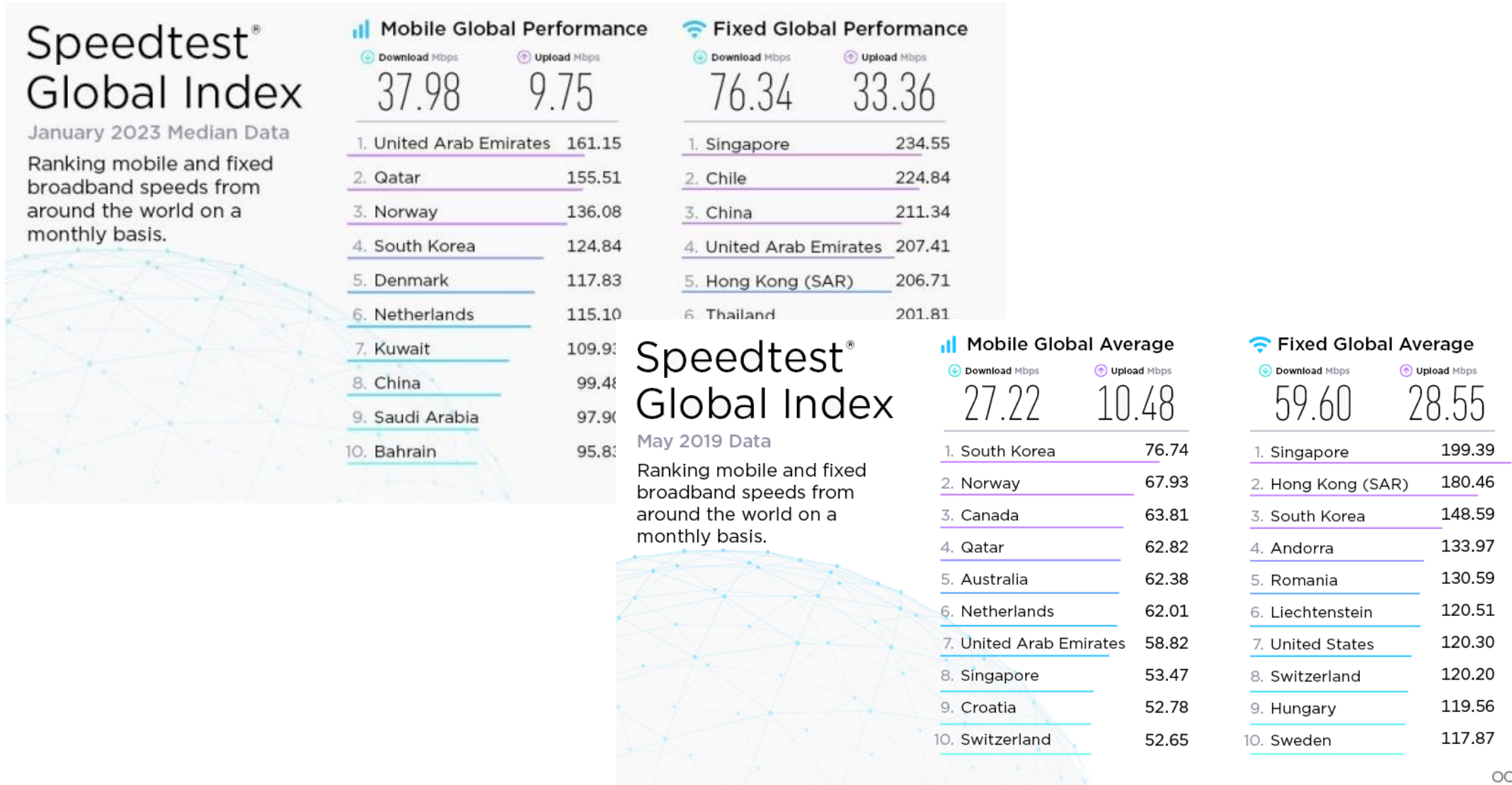


OECD broadband statistics (2021)



- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
- Statistics reflect home users
- In Korea, Japan, Lithuania, Spain, Sweden, Fiber broadband is dominant
- In Greece broadband subscriptions are DSL almost 100%
- Italy, Germany, UK, Austria, Belgium also low in Fiber
- Subscriptions per 100 inhabitants
- Strong correlation with GDP per capita
- Switzerland is at the top of the list, with ~47% of population having broadband access
- China (and others) not an OECD member and therefore not included

Ταχύτητες πρόσβασης στο Internet



Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων πρόσβασης
- Cable Access
- Digital Subscriber Line (DSL)
- Passive Optical Networks
 - Λειτουργία TDM – PON
 - Framing
 - QoS and DBA



Δίκτυο πρόσβασης – απαιτήσεις χρηστών

- Οικιακοί χρήστες: πρόσβαση στο Διαδίκτυο, υπηρεσίες παροχής περιεχομένου όπως βίντεο κατά παραγγελία (video on demand), τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας
- Εταιρικοί χρήστες: πρόσβαση στο Διαδίκτυο και σύνδεση του τοπικού τους δικτύου με τα γραφεία της εταιρίας σε όλο τον κόσμο (VPN)
- Οι ανάγκες τηλεσυνεργασίας και τηλεεκπαίδευσης έχουν αυξηθεί
- Νέες εφαρμογές απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση (gaming, VR, AR)
- Απαιτήσεις για δίκτυο πρόσβασης που
 - Να έχει μεγάλο εύρος ζώνης (βασικός παράγοντας)
 - Να υποστηρίζει πολλές υπηρεσίες (διαφοροποίηση υπηρεσιών)

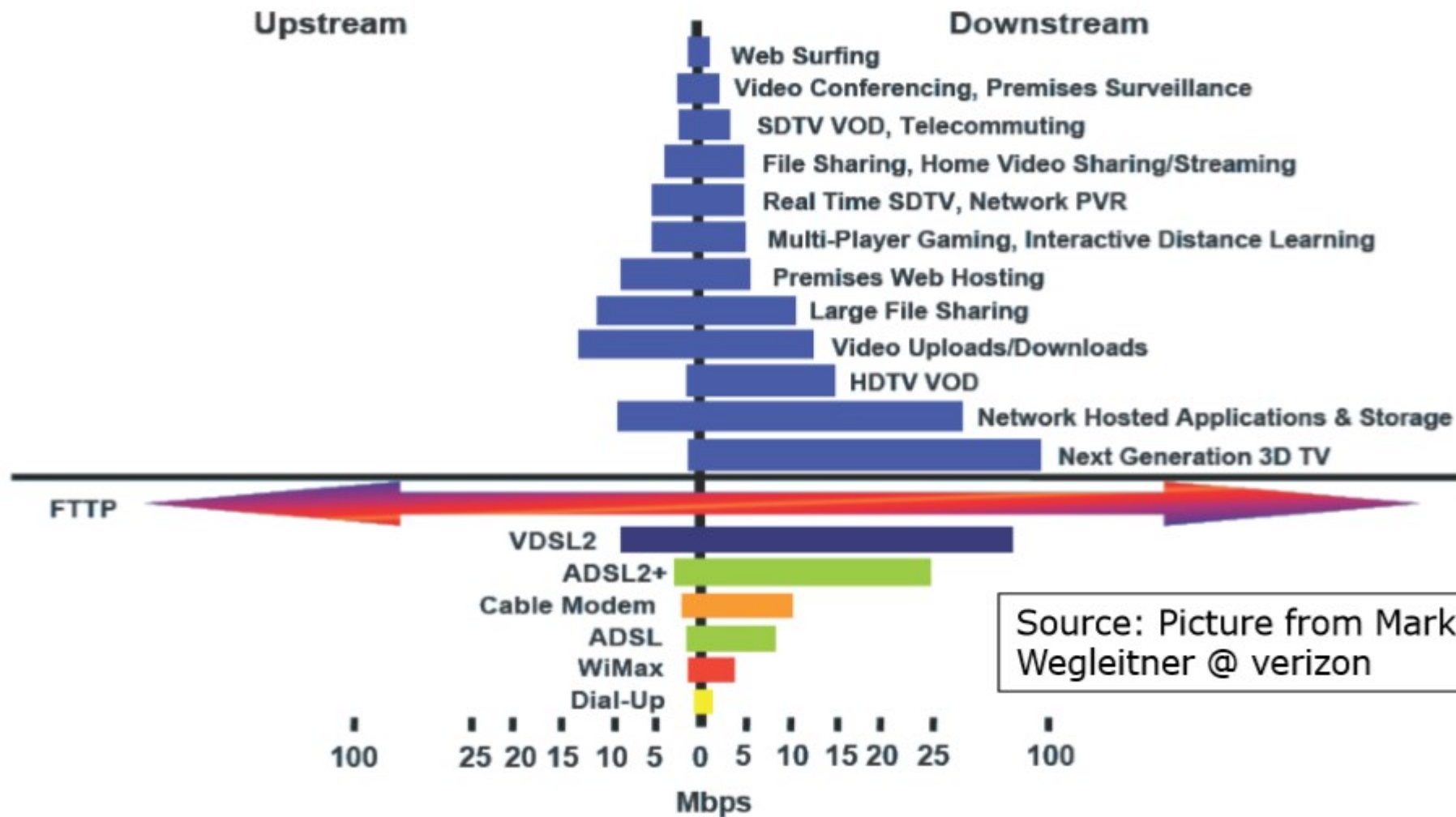


Εφαρμογές και υπηρεσίες – μια ταξινόμηση

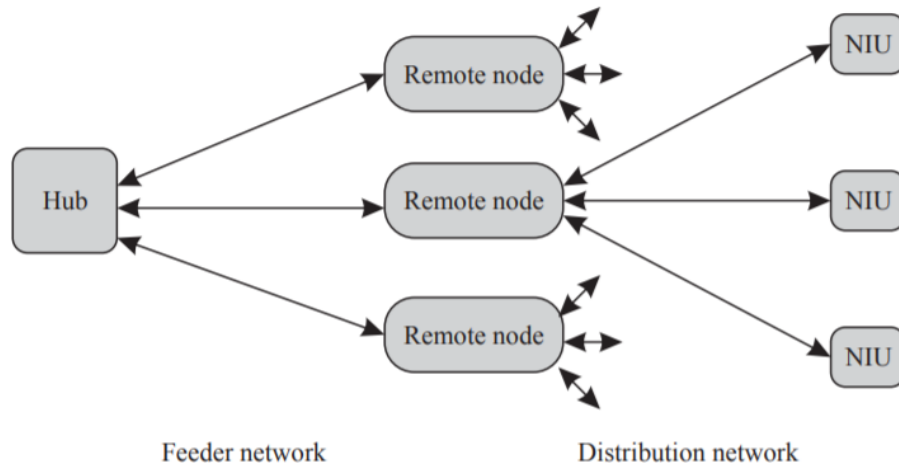
Οι υπηρεσίες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει 3 βασικών κριτηρίων

1. ρυθμός επικοινωνίας / εύρος ζώνης, αλλά και καθυστέρηση
2. Συμμετρική επικοινωνία , π.χ. τηλεδιάσκεψη, ή ασύμμετρη, π.χ. βίντεο
 - Συνήθως στις ασύμμετρες υπηρεσίες περισσότερο εύρος ζώνης απαιτείται από τον πάροχο υπηρεσιών προς τον χρήστη (downstream)
3. broadcast ή switched υπηρεσία
 - Broadcast υπηρεσία: κάθε χρήστης λαμβάνει τις ίδια δεδομένα, π.χ., τηλεόραση
 - Switched υπηρεσία: διαφορετικοί χρήστες λαμβάνουν διαφορετικά δεδομένα, π.χ., πρόσβαση στο Διαδίκτυο

Εφαρμογές και υπηρεσίες – ρυθμός μετάδοσης



Δίκτυο πρόσβασης – Γενική αρχιτεκτονική



- Ένα δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από: **hub** και **network interface units (NIUs)**
Για παράδειγμα στο PON/FTTH το hub είναι στο Central Office (CO) του παρόχου (ISP) με εξοπλισμό Optical Line Terminal (OLT), τα NIUs είναι τα modems / Optical Network Units (ONUs) π.χ. στο σπίτι του τελικού χρήστη
- Κάθε hub εξυπηρετεί πολλά NIUs (σπίτια και επιχειρήσεις)
- Αντί για απευθείας καλώδια από το hub σε κάθε NIU είναι δυνατόν να υπάρχει ένα ακόμα επίπεδο ιεραρχίας τα **remote nodes (RNs)** μεταξύ του hub και NIUs
 - κάθε hub μπορεί να συνδέεται με πολλά RNs και κάθε RN με πολλά NIUs
- Το δίκτυο hub-RNs ονομάζεται **feeder**, και το δίκτυο RN-NIUs ονομάζεται **distribution**
- PON: RN = passive optical splitter, Hub = multi-chassis OLT @ CO
- DSL: RN = DSLAM, Hub = switch/router @ CO

Αποκλειστικό και διαμοιραζόμενο εύρος ζώνης

- Το εύρος ζώνης (χωρητικότητα) που ανατίθεται στα network interface units (NIUs) μπορεί να είναι **αποκλειστικό** (dedicated) ή **διαμοιραζόμενο** (shared)
 - Πως διαμοιράζει τη χωρητικότητα του feeder cable το RN στα NIUs (χρήστες)
- Το RN μπορεί να αναθέτει σε κάθε NIU το δικό του αποκλειστικό εύρος ζώνης
 - π.χ. αποκλειστικό μήκος κύματος σε PON ή αποκλειστική χρήση του καλωδίου από το DSLAM στο DSL modem
- Το RN μπορεί να διαμοιράζει το συνολικό εύρος ζώνης στα NIU
 - Για την upstream μετάδοση (από τα NIU στο hub), χρειάζεται κάποια μορφή ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (**medium access control - MAC**) για τον συντονισμό της πρόσβασης στο κοινόχρηστο εύρος ζώνης από τα NIUs
- Τα δίκτυα HFC/Cable και (TDM)-PON διαμοιράζουν, τα DSL και (WDM)-PON δίνουν αποκλειστική χωρητικότητα

Αποκλειστικό και διαμοιραζόμενο εύρος ζώνης

- Εάν η κίνηση από/προς τα NIU είναι **εκρηκτική (bursty)** ο (δυναμικός) **διαμοιρασμός** του εύρους ζώνης είναι πιο αποδοτικός
- Αλλά, με **αποκλειστικό** εύρος ζώνης, κάθε NIU έχει **δεδομένη ποιότητα υπηρεσιών**, κάτι που είναι σχετικά δύσκολο με διαμοιραζόμενο εύρος ζώνης
- Ένα άλλο μειονέκτημα του **διαμοιραζόμενου** εύρους ζώνης είναι ότι κάθε NIU πρέπει να διαθέτει οπτικά/ηλεκτρονικά που **λειτουργούν στο συνολικό εύρος ζώνης**, σε αντίθεση με κλάσμα του εύρους ζώνης σε αποκλειστικό εύρος ζώνης
- Η **αποδοτικότητα του διαμοιρασμού** του εύρους ζώνης εξαρτάται από το **MAC protocol** που χρησιμοποιείται

Πρωτόκολλα MAC: ταξινόμηση

Τρεις γενικές κατηγορίες:

- **Στατική κατάτμηση καναλιού (αποκλειστική χωρητικότητα)**
 - διαίρεση του καναλιού σε “κομμάτια” (χρονοθυρίδες, συχνότητα, κώδικες)
 - εκχώρηση κομματιού στατικά σε κόμβο για αποκλειστική χρήση
- **Τυχαία πρόσβαση**
 - το κανάλι δεν διαιρείται, επιτρέπονται συγκρούσεις
 - μηχανισμός “ανάνηψης” από συγκρούσεις
- **Εκ περιτροπής λειτουργία**
 - οι κόμβοι μεταδίδουν με τη σειρά, αλλά οι μεταδόσεις των κόμβων που έχουν να στείλουν περισσότερα μπορεί να διαρκέσουν περισσότερο

Συνδυασμοί των παραπάνω

Broadcast και Switched δίκτυα πρόσβασης

- Οι δικτυακές υπηρεσίες μπορεί να είναι **broadcast** ή **switched**
- Επίσης, το δίκτυο πρόσβασης μπορεί να είναι **broadcast** ή **switched**
 - Πως μοιράζει το RN τα πακέτα του feeder cable στα NIUs (χρήστες)
 - Σε ένα broadcast δίκτυο το **Remote Node (RN)** «εκπέμπει» όλα τα δεδομένα που λαμβάνει από το feeder καλώδιο σε όλα τα Network Interface Units (NIUs)
 - Σε ένα switched δίκτυο το RN επεξεργάζεται τα δεδομένα και **στέλνει ξεχωριστές ροές** σε διαφορετικά NIUs
 - Γενικά τα Broadcast δίκτυα είναι καλά στην παροχή broadcast υπηρεσιών, τα Switched δίκτυα στην παροχή switched υπηρεσιών
 - Το ένα δεν αποκλείει το άλλο (π.χ. σε Broadcast δίκτυο μπορεί το κάθε NIU να επιλέγει τα δεδομένα που απευθύνονται σε αυτό)
- Συνδυασμοί υπηρεσιών και δικτυακών αρχιτεκτονικών είναι δυνατές

Broadcast και Switched δίκτυα πρόσβασης

- Τα Broadcast δίκτυα είναι (συνήθως) **φθηνότερα** από τα switched δίκτυα
 - Η «εξυπνάδα» των δικτύων αυτών βρίσκεται στα NIUs, αλλά τα NIUs μπορεί να είναι ομοιόμορφα και να παράγονται μαζικά – οπότε να έχουν χαμηλό κόστος
- Τα Switched δίκτυα έχουν
 - **Μεγαλύτερη ασφάλεια**: π.χ. είναι αδύνατο ένας συνδρομητής να i) υποκλέψει τα δεδομένα άλλου, ή ii) να επιφέρει βλάβη σε όλο το δίκτυο
 - **Ευκολότερο εντοπισμό της τοποθεσίας σφάλματος**
 - Πιο **περίπλοκη διαχείριση** των NIU (π.χ., όταν διαφορετικά NIU χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες)
 - **Απλούστερα NIU**, η «εξυπνάδα» βρίσκεται στο δίκτυο
- Τα δίκτυα HFC/Cable και PON είναι broadcast, το DSL είναι switched

Κατηγοριοποίηση δικτύων πρόσβασης

- broadcast ή switched
- Αποκλειστικό (dedicated) ή διαμοιραζόμενο (shared) εύρος ζώνης

Distribution Network	Feeder Network	
	Shared	Dedicated
Broadcast	Cable TV (HFC), TDM PON	WPON
Switched		Telephony, DSL, WRPON

Time Division Multiplexing (TDM) PON

Wavelength Division Multiplexing (WDM) PON

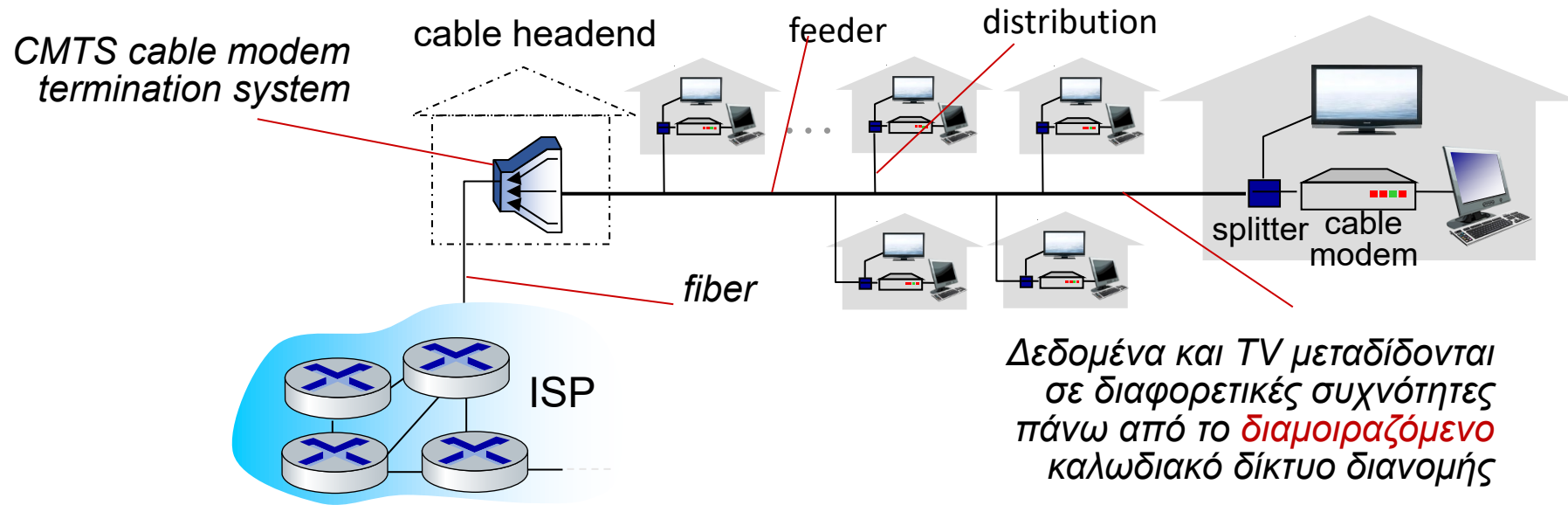
Wavelength Routed (WR) PON

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων πρόσβασης
- **Cable Access**
- Digital Subscriber Line (DSL)
- Passive Optical Networks
 - Λειτουργία TDM – PON
 - Framing
 - QoS and DBA



Δίκτυο πρόσβασης καλωδίου (Cable access network)



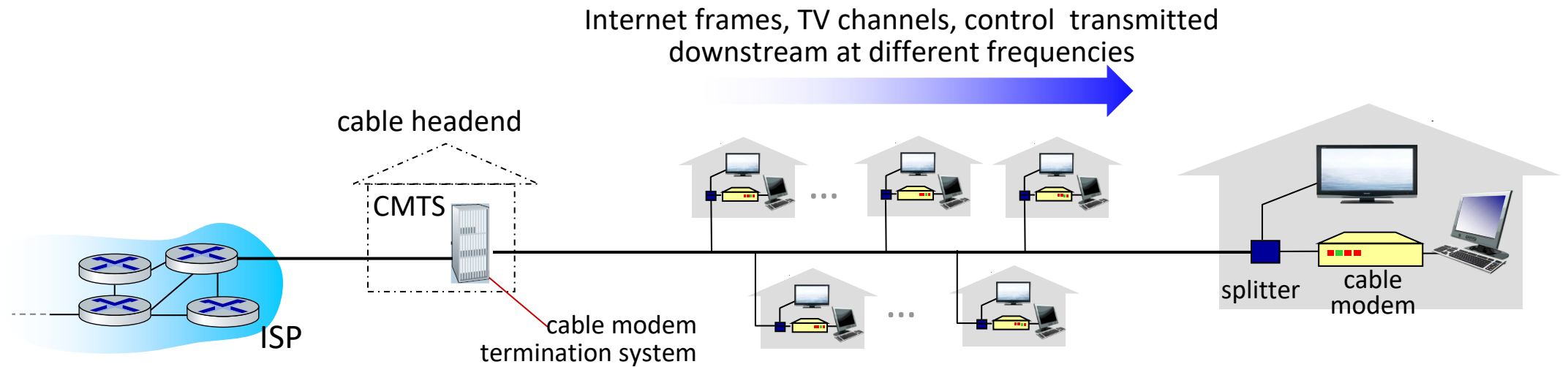
- HFC: Hybrid Fiber Coax (υβριδικό δίκτυο ίνας και ομοαξονικού καλωδίου) ή Cable access
- HFC: Συνδέει τα σπίτια με το CMTS και μετά με τον δρομολογητή του ISP
 - Τα σπίτια **διαμοιράζονται το δίκτυο πρόσβασης (ομοαξονικό καλώδιο)** μέχρι το CMTS
 - Cable / coax πρωτόκολλο: Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)
 - DOCSIS 1 (1997): 40 Mbps downstream, 10 Mbps upstream
 - DOCSIS 4 (2017): 10 Gbps downstream, 6 Gbps upstream

Δίκτυο πρόσβασης καλωδίου

- Το Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) είναι διεθνές τηλεπικοινωνιακό πρότυπο που ορίζει τη μεταφορά δεδομένων σε ένα υπάρχον σύστημα καλωδιακής τηλεόρασης (CATV)
- Χρησιμοποιείται από παρόχους καλωδιακής τηλεόρασης για παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Διαδίκτυο μέσω της υπάρχουσας υποδομής – του **υβριδικού δικτύου ίνας και ομοαξονικού** καλωδίου (HFC)
- Το DOCSIS περιλαμβάνει δύο κύρια στοιχεία: i) cable modem στον πελάτη και ii) σύστημα τερματισμού καλωδιακού μόντεμ (cable modem termination system - CMTS) στο headend (π.χ. Central Office or curb)
- Το CMTS έχει θύρες τερματισμού ενός ή συνήθως περισσότερων ομοαξονικών καλωδίων προς τους χρήστες και θύρες για επικοινωνία με τους δρομολογητές του ISP

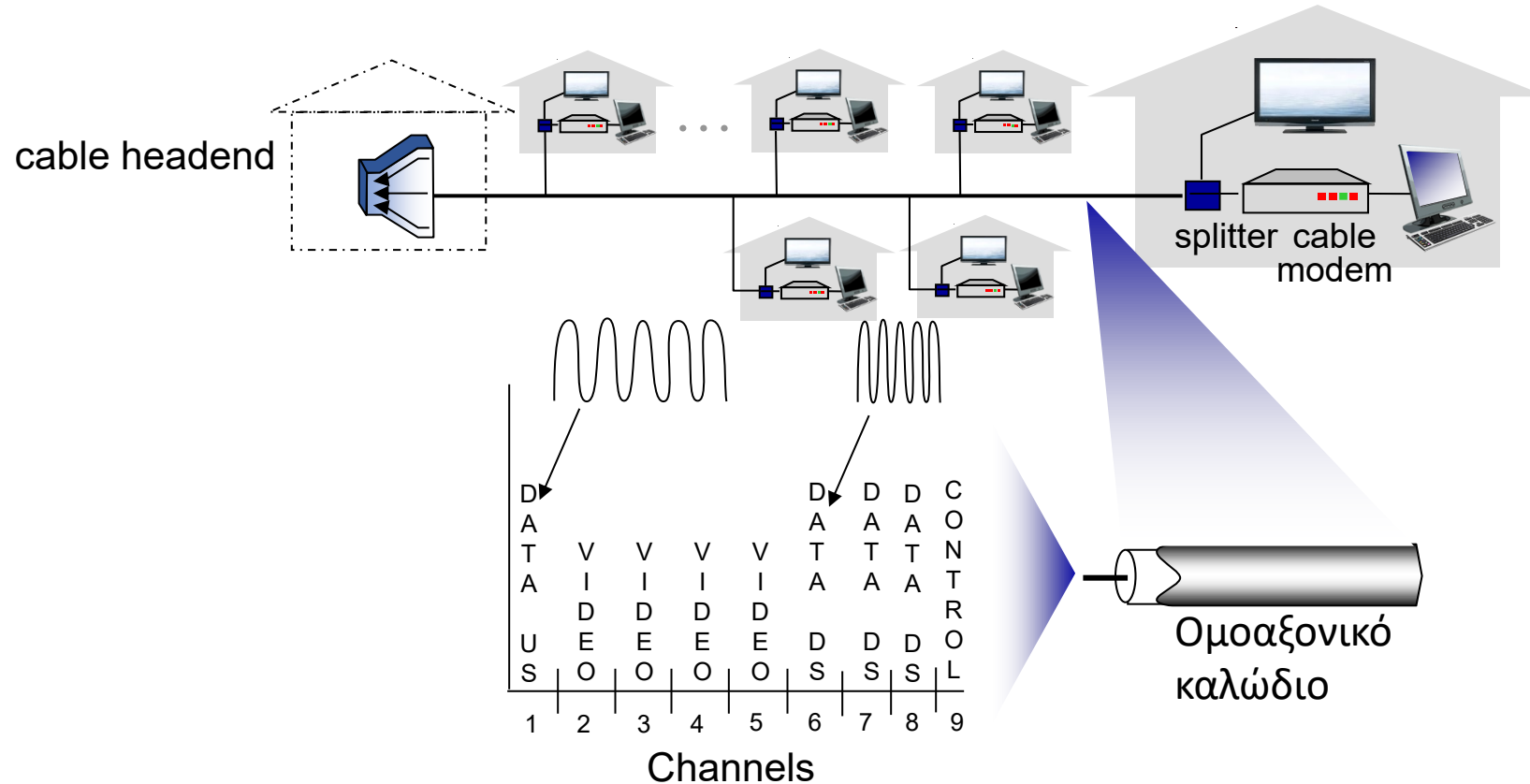


Δίκτυο πρόσβασης καλωδίου - MAC



- **Πολλαπλά** κανάλια στην κατερχόμενη ζεύξη (downstream)
 - ένα μόνο CMTS εκπέμπει στο ομοαξονικό καλώδιο – δεν υπάρχουν συγκρούσεις (εφαρμόζεται όμως στον CMTS μηχανισμός ελέγχου προώθησης των πακέτων ώστε να γίνει αποδοτική και δίκαιη χρήση της κατερχόμενης χωρητικότητας)
- **Πολλαπλά** κανάλια στην ανερχόμενη ζεύξη (upstream)
 - **πολλαπλή πρόσβαση:** FDM, TDM και random access !

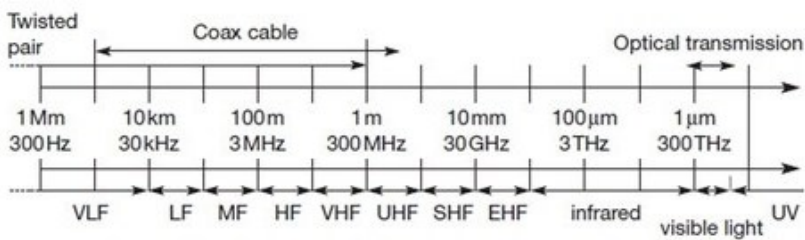
Δίκτυο πρόσβασης καλωδίου - MAC



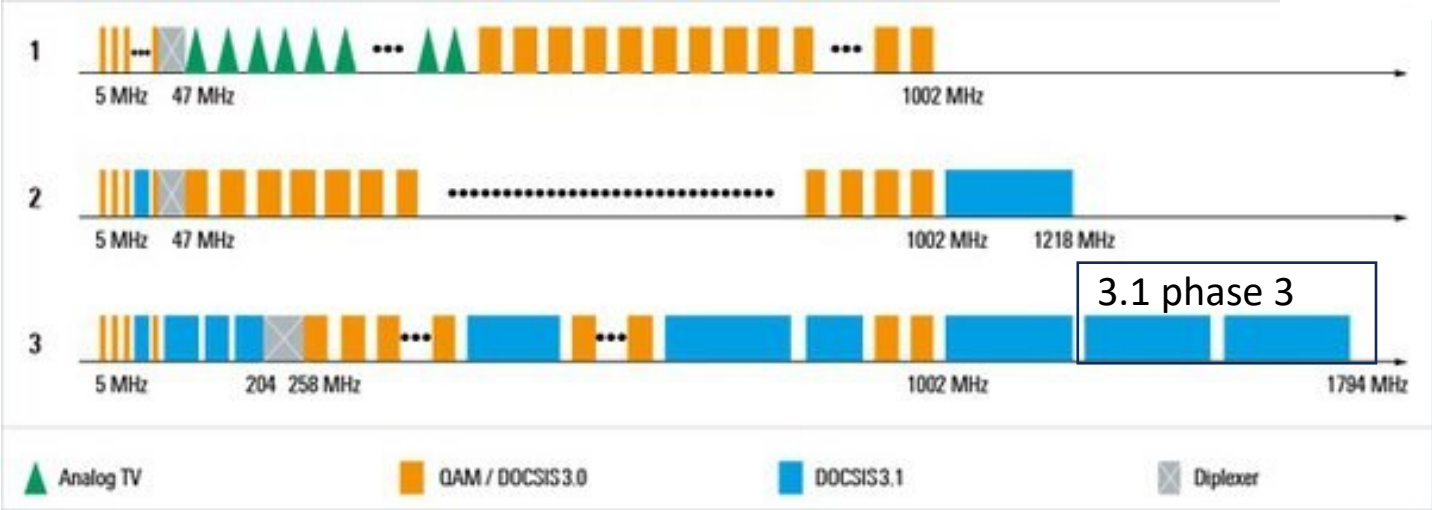
Frequency Division Multiplexing (FDM): διαφορετικά κανάλια μεταδίδονται σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, διαχωρισμός βίντεο από δεδομένα

Frequency Division Duplex: low frequencies for upstream, higher (& wider) for downstream
Επιπλέον μηχανισμός για επίλυση συγκρούσεων στις συχνότητες των δεδομένων

DOCSIS physical layer



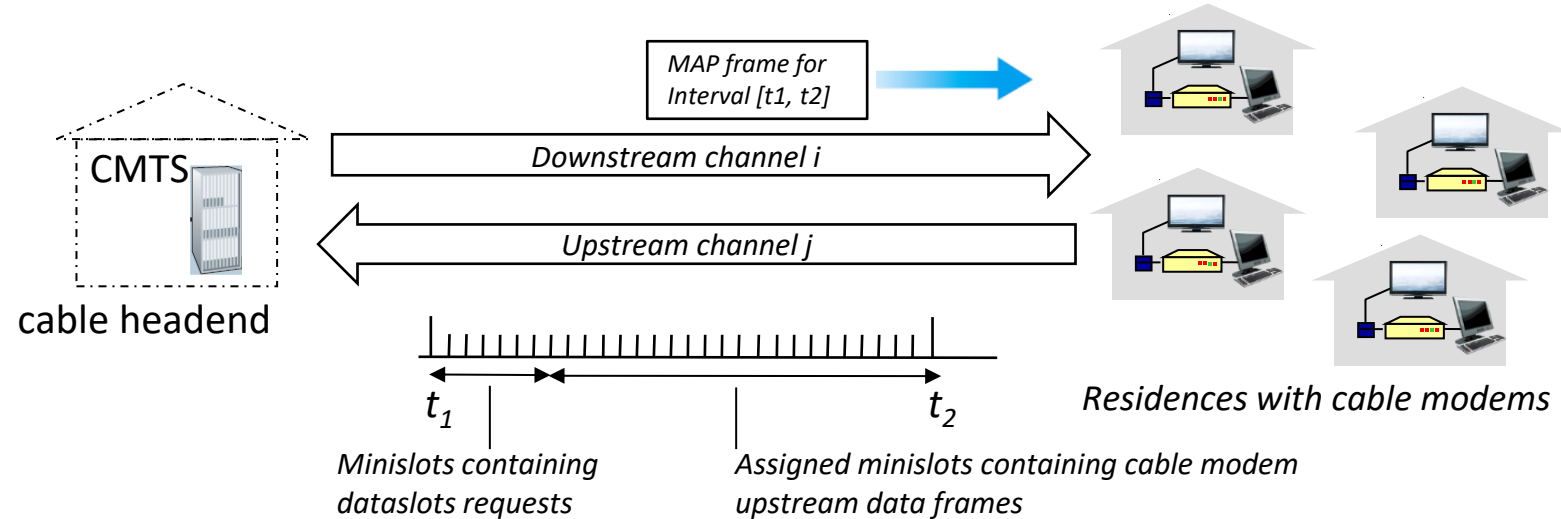
DOCSIS 3.0 & 3.1



Version	Downstream DOCSIS 3.0	Downstream DOCSIS 3.1	Upstream DOCSIS 3.0	Upstream DOCSIS 3.1
Total bandwidth (MHz)	54-1002	258 – 1218	5 - 42	5-230
# channels	8 (SC)	5x192	4 (SC)	2x96
Modulation	single carrier	OFDM	single carrier	OFDM
QAM order	up to 256 QAM	up to 4096 QAM	up to 64 QAM	up to 4096 QAM
Multiple access method			TDMA S-CDMA	TDMA- OFDMA
FEC	Reed Solomon	LDPC/BCH	Reed Solomon	LDPC/BCH
Max speed	1 Gbps	10 Gbps	100 Mbps	1 Gbps

Various improvements (OFMD, higher QAM, FEC) enable DOCSIS 3.1 to achieve transmission rates of up to 10 Gbit/s in the downstream and 1 Gbit/s in the upstream

Δίκτυο πρόσβασης καλωδίου - MAC



Specific (freq.) data channel in upstream: TDM θυρίδες, ανταγωνισμός για κάποιες, ανάθεση άλλων

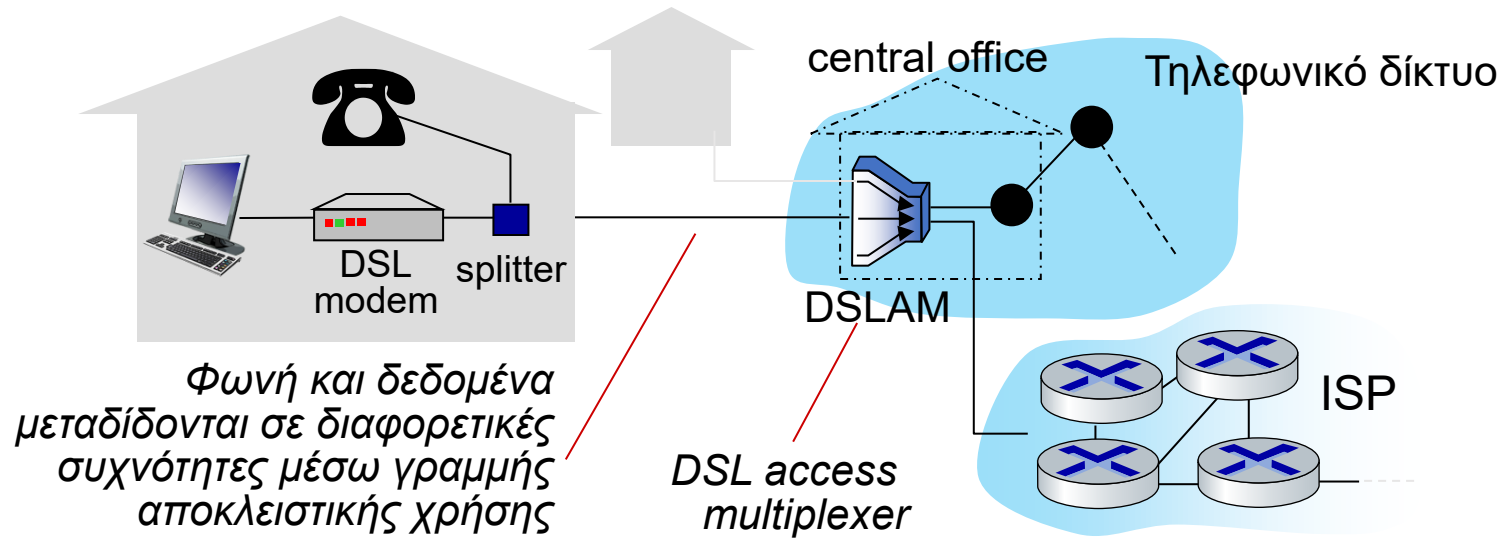
- Το upstream πλαίσιο έχει 2 μέρη: i) χρονοθυρίδες αιτήσεων, ii) χρονοθυρίδες δεδομένων
- 1^ο μέρος upstream πλαισίου: χρονοθυρίδες με αιτήσεις ζήτησης χρονοθυρίδων δεδομένων από τους χρήστες, συγκρούσεις – επίλυση με μηχανισμούς τυχαίας πρόσβασης (exponential backoff)
- Το CMTS ακούει τις (επιτυχημένες) αιτήσεις και τους αναθέτει χρονοθυρίδες
- Στο downstream πλαίσιο υπάρχει πεδίο MAP που το ακούνε/διαβάζουν όλοι: αναθέτει τις χρονοθυρίδες δεδομένων του επόμενου upstream πλαισίου
- 2^ο μέρος upstream πλαισίου: χρονοθυρίδες δεδομένων που έχουν ανατεθεί στο MAP του προηγούμενου downstream πλαισίου (μετάδοση χωρίς συγκρούσεις)

Περιεχόμενα

- Εισαγωγή
- Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων πρόσβασης
- Cable Access
- Digital Subscriber Line (DSL)
- Passive Optical Networks
 - Λειτουργία TDM – PON
 - Framing
 - QoS and DBA



Δίκτυο πρόσβασης Digital Subscriber Line-DSL

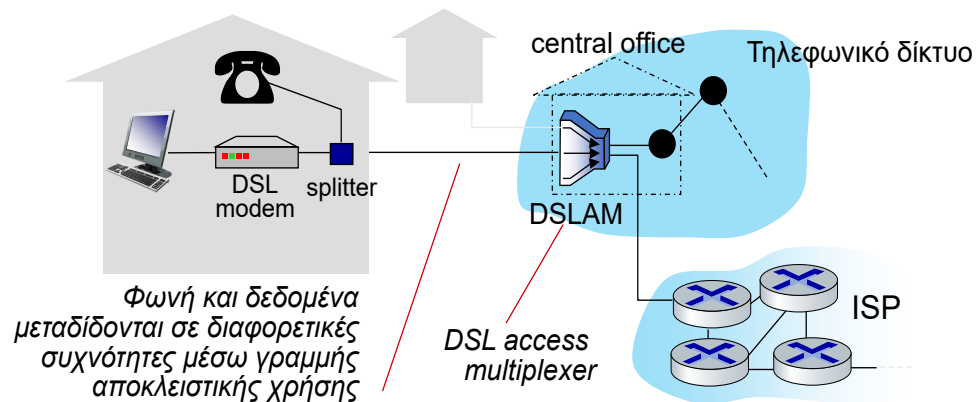


- Χρήση **υπάρχουσας** τηλεφωνικής γραμμής (χαλκός - συνεστραμμένο ζεύγος) από/προς το «κέντρο» του τηλεφωνικού παρόχου
 - τα δεδομένα πάνω από τη γραμμή DSL πάνε στο Διαδίκτυο
 - η φωνή στο τηλεφωνικό δίκτυο, σήμερα: voice-over-IP (ο διαχωρισμός σε 2 δίκτυα είναι σπάνιος)
- Μη διαμοιραζόμενο δίκτυο, P2P από το modem του χρήστη ως το DSL access multiplexer (DSLAM)
 - **ADSL** — Asymmetric DSL; 1.5 Mbps (5Km) – 8 Mbps (2Km) downstream, 64–640 kbps upstream
 - **VDSL** — Very high speed DSL; up to 52 Mbps downstream, 26 Mbps upstream, 3Km
- Ανάλογα την τεχνολογία DSL και απόσταση, το DSLAM μπορεί να είναι στο ΚΑΦΑΟ ή στα γραφεία (CO)

Δίκτυο πρόσβασης DSL

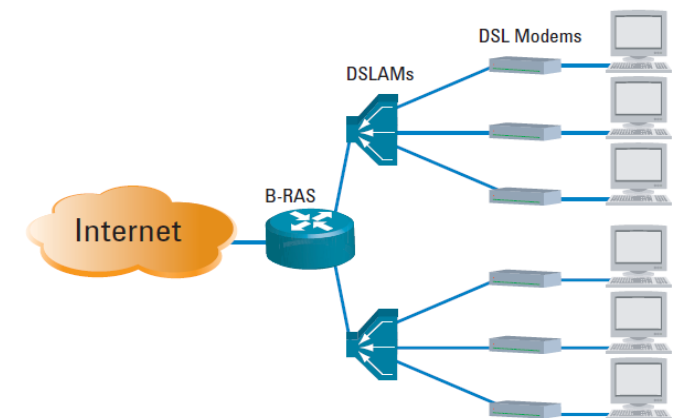
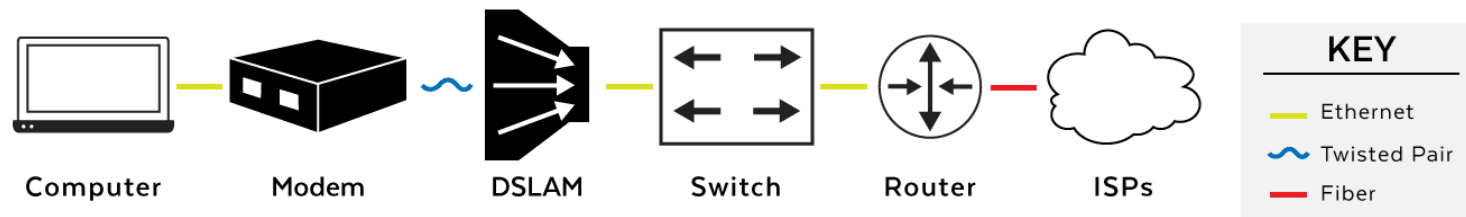
- Τα δεδομένα και η φωνή μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες προς/από το DSLAM
 - Χρησιμοποιούνται διαχωριστές ή φίλτρα
 - Παρόμοια λειτουργία, ο διαχωριστής διαιρεί το σήμα σε δύο μέρη, το φίλτρο μπλοκάρει π.χ. το DSL σήμα/δεδομένα και επιτρέπει την φωνή να περάσει
 - Σήμερα η σύνδεση του τηλεφώνου γίνεται συνήθως πάνω στον modem, με VoIP
- Στο DSLAM τερματίζουν/ πολυπλέκονται πολλοί χρήστες (π.χ. 32)

Ο χρήστης έχει αποκλειστικά τη γραμμή modem-DSLAM, μετά όχι (απλά η συμφόρηση γίνεται στο δεύτερο βήμα) – **oversubscription** πόσοι χρήστες πάνω στο DSLAM και με τι ρυθμό ‘βγαίνουν’



Δίκτυο πρόσβασης DSL

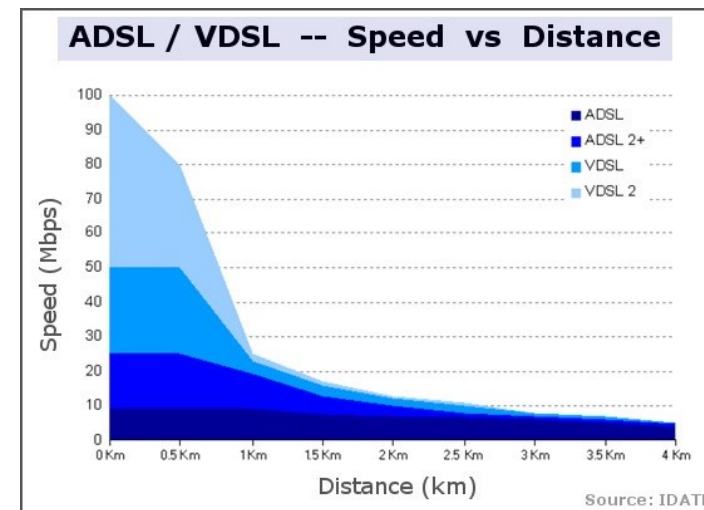
- Το DSLAM βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο (central office) ή στο ΚΑΦΑΟ
- Κίνηση από πολλούς χρήστες συναθροίζεται σε ένα DSLAM, πολλαπλά DSLAM συναθροίζονται μέσω L2 switches και μετά μέσω ενός router βγαίνουν στο Διαδίκτυο
- Συνήθως ο πρώτος router ονομάζεται broadband remote access server (BRAS, B-RAS)
 - Ο BRAS υπάρχει και στα cable/HDF και στα PON δίκτυα πρόσβαση
 - Παρέχει λειτουργίες authentication, authorization and accounting
 - Παρέχει L3 συνδεσιμότητα και δρομολογεί την IP κίνηση στο δίκτυο του ISP, όντας ο 1^{ος} IP κόμβος
 - Από τον χρήστη ως εκεί ή επικοινωνία είναι L2
 - Επιβάλλει πολιτικές ποιότητας υπηρεσίας (quality of service - QoS)



Παραλλαγές DSL

- Οι παραλλαγές DSL (A-, V-DSL) χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες φάσματος και τεχνικές διαμόρφωσης (QAM)
 - Χρήση πλατύτερου φάσματος / υψηλότερων συχνοτήτων δίνει μεγαλύτερες ταχύτητες, αλλά το σήμα έχει μεγαλύτερη εξασθένηση και ευαισθησία στις παρεμβολές (άρα μικρότερη απόσταση μετάδοσης)
- Οι περισσότερες παραλλαγές DSL έχουν ασύμμετρες ταχύτητες upstream και downstream
- Οι πραγματικές ταχύτητες επηρεάζονται από την κατάσταση των καλωδίων, απόσταση και θόρυβο ή παρεμβολές στη γραμμή
- Το VDSL συνήθως τερματίζει στο ΚΑΦΑΟ και υπάρχει ίνα ΚΑΦΑΟ - central office (P2P ή Fiber to the Curb - FTTC)

Type	Description	Data Rate Upstream Data Rate	Max Downstream Data Rate	Max Reach	POTS Support
HDSL	High Bit Rate - DSL	1.54Mbps	1.54Mbps	3650mtrs	No
ADSL	Asymmetric - DSL	800Kbps	8Mbps	5500mtrs	Yes
SDSL	Symmetric - DSL	2.3Mbps	2.3Mbps	6700mtrs	No
VDSL	Very High Bit Rate - DSL	16Mbps	52Mbps	1200mtrs	Yes
VDSL2	Very High Bit Rate - DSL (2nd Generation)	100Mbps	100Mbps	<1500mtrs	Yes



ADSL physical layer

- 256 (sub)channels (υποφέρουσα ή τόνος), 4.3125 KHz each
 - $256 \times 4.3125 \text{ kHz} = 1.104 \text{ MHz}$

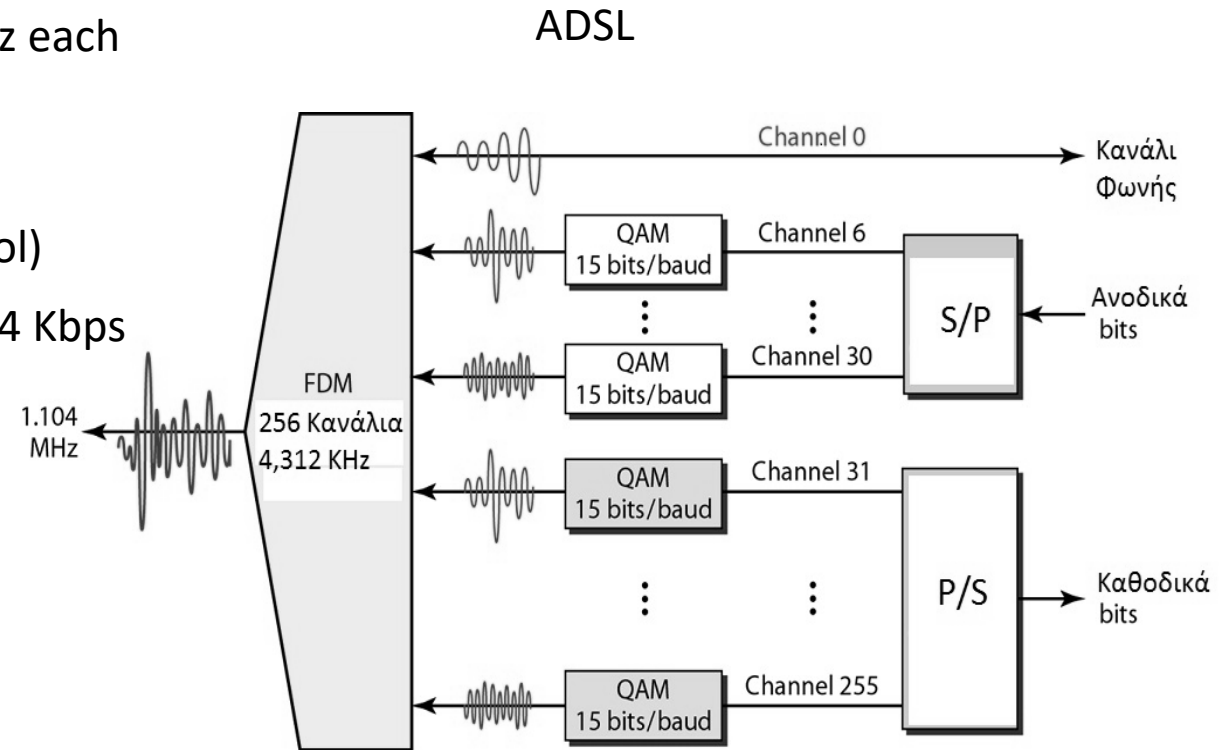
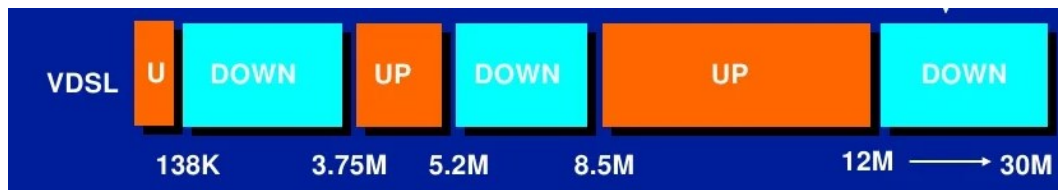
- First channel (0-4.3125 KHz) voice

- Max mod. format: 32K-QAM = 2^{15} QAM (15 bits/symbol)

Max rate per channel: 15 bits/symbol $\cdot$ 4.3125 KHz = 64.4 Kbps

Max data rate = $N_{\text{channel}} \cdot 64 \text{ Kbps}$

e.g. DownStream = $224 \cdot 64 \text{ Kbps} = 14.3 \text{ Mbps}$



VDSL διαφορετικές ζώνες φάσματος και διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης

Cable (HFC) vs DSL

- Η κύρια διαφορά μεταξύ Cable (HFC) και DSL είναι το μέσο μετάδοσης
- Cable χρησιμοποιεί την υποδομή καλωδιακής τηλεόρασης (ομοαξονικά καλώδια)
 - broadcast (τηλεόραση)
 - χρησιμοποιεί ένα καλώδιο ανά περιοχή, που σημαίνει ότι όσο περισσότεροι το χρησιμοποιούν, τόσο πιο 'αργό' γίνεται
 - Έχει καλή απόδοση σε μεγάλες αποστάσεις (χρήση π.χ. σε αγροτικές περιοχές των ΗΠΑ), καλύτερο καλώδιο, χρήση ενισχυτών
- DSL χρησιμοποιεί την υποδομή τηλεφώνου (συνεστραμμένο ζεύγος)
 - P2P προς κάθε χρήστη (switched)
 - Ανεξάρτητα από το πόσοι χρησιμοποιούν Internet/τηλέφωνο, έχει σταθερή ταχύτητα ως το DSLAM (η συνάθροιση και συμφόρηση γίνεται μετά....)
 - Δεν πληρούν όλοι τις προϋποθέσεις για γρήγορες εκδόσεις (π.χ. VDSL2), επειδή πρέπει να βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το DSLAM

Next-generation Access Network - FTTx

- Τα δίκτυα πρόσβασης στο μέλλον θα βασίζονται σε τεχνολογίες οπτικών δικτύων λόγω της αυξημένης εμβέλειας και του εύρους ζώνης τους
- Η οπτική ίνα είναι ικανή να παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και βίντεο υψηλής ευκρίνειας σε αποστάσεις 20 χιλιομέτρων και άνω στους συνδρομητές
- Ινα:
 - Χαμηλή εξασθένηση → μεγάλες αποστάσεις
 - Υψηλή χωρητικότητα → πολλοί χρήστες
 - Πολύ ακριβή εγκατάσταση (σκάψιμο), μερικές φορές δεν είναι οικονομικά βιώσιμη
 - Άλλες τεχνολογίες πρόσβασης συμπληρώνουν (π.χ. ασύρματα)
- Το FTTx παρέχει οπτικές ίνες απευθείας στο σπίτι ή πολύ κοντά στο σπίτι (από όπου μπορούν να αναλάβουν τεχνολογίες όπως το VDSL υψηλών ρυθμών)

Περιεχόμενα

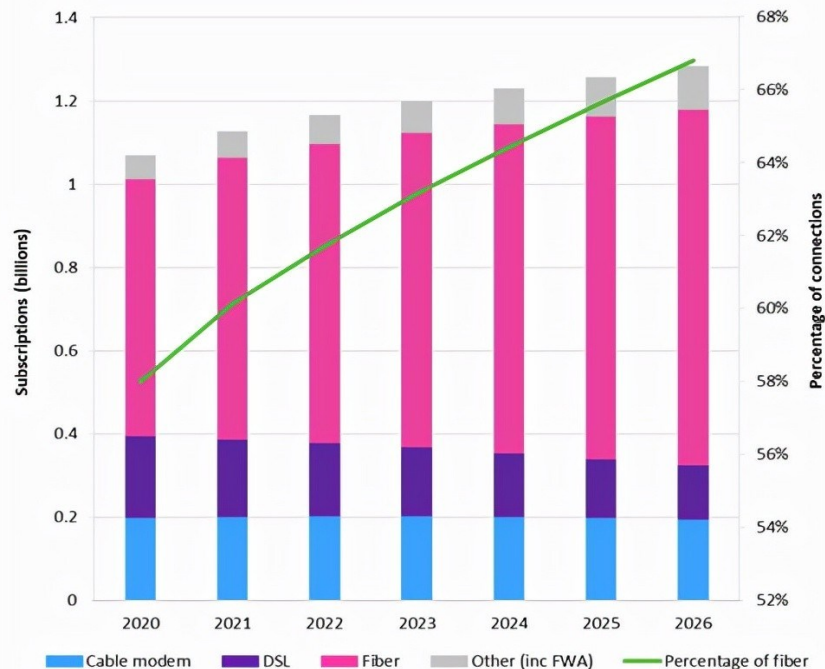
- Εισαγωγή
- Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων πρόσβασης
- Cable Access
- Digital Subscriber Line (DSL)
- **Passive Optical Networks**
 - Λειτουργία TDM – PON
 - Framing
 - QoS and DBA



Παθητικά Οπτικά Δίκτυα – Passive Optical Networks (PON)

- Πάνω από 700 εκατομμύρια Fiber to the x (FTTx) συνδρομητές παγκοσμίως (2022)
- Ετήσια ζήτηση: 7.2 εκ. θύρες OLT και 140 εκ. ONU

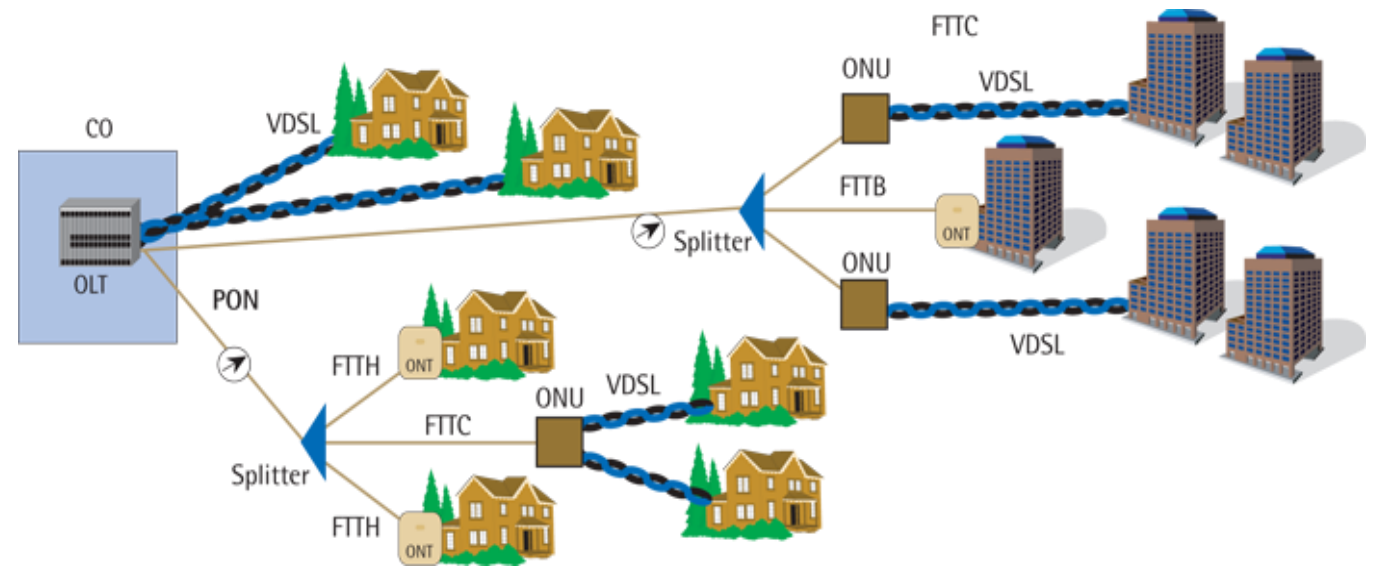
Global consumer broadband subscriptions by technology and percentage of fiber connections



Source: Omdia

FWA: Fixed Wireless Access

© 2021 Omdia

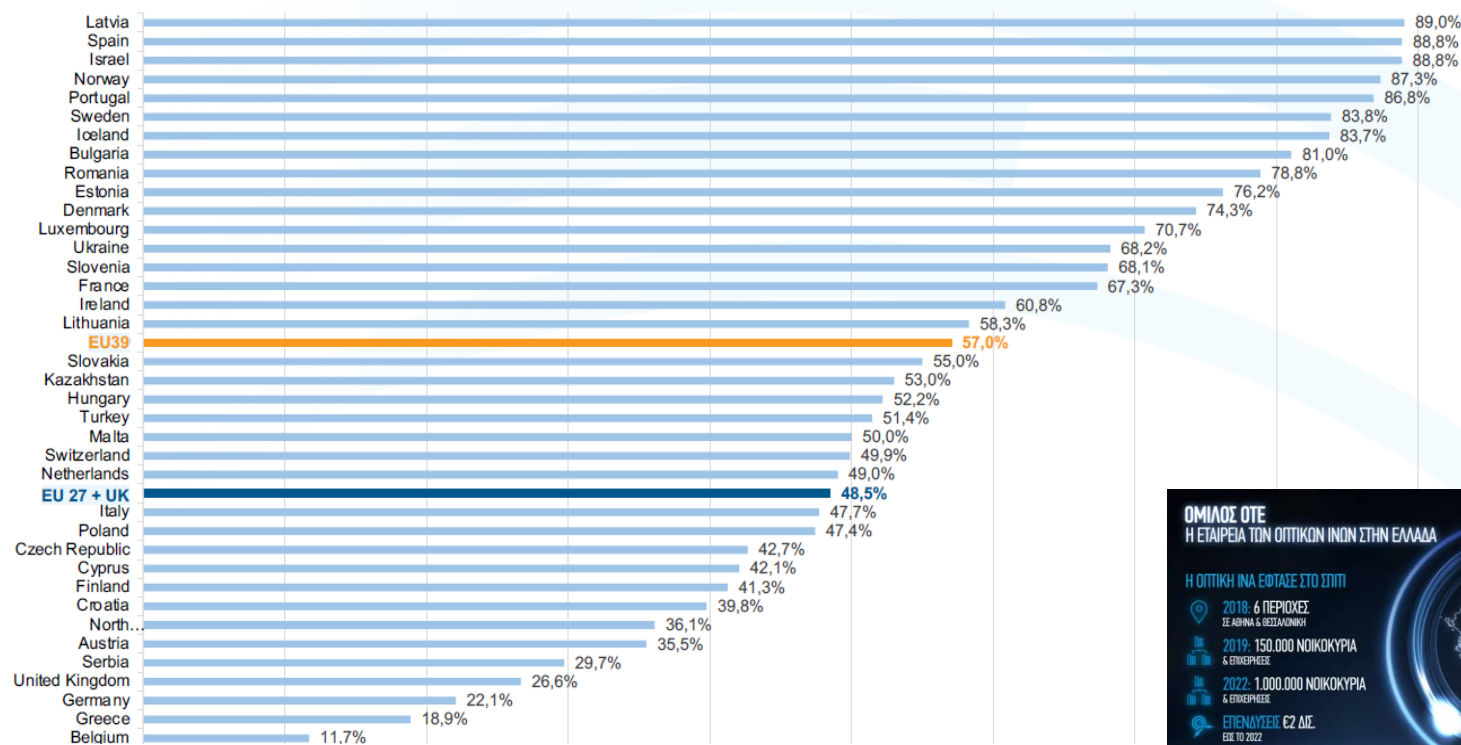


PON – δίκτυα πρόσβασης

European leaderboards - EU39

EU39 : 3 out of 5 countries now have more than 50% of total homes with fibre!

FTTH/B coverage* as of September 2021 (* Homes passed / Households)



- Παγκόσμια: UAE, Singapore, China, South Korea, Japan > 80%
- Στην Ελλάδα το FTTH/B δεν είναι πολύ διαδεδομένο
- VDSL συνδέσεις γίνονται με FTTC or PtP ίνα στο “καφάο”
- Μεγάλες επενδύσεις >2018 σε FTTH/B

<https://www.key4biz.it/wp-content/uploads/2022/05/Market-Panorama-2022.pdf>



FTTx

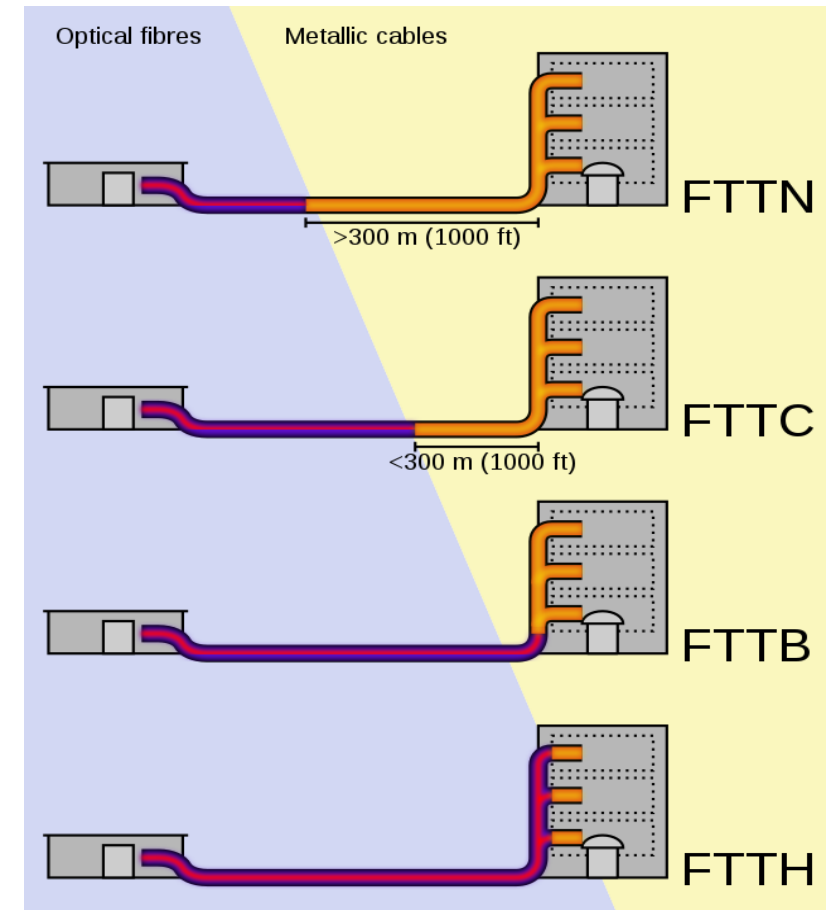
Fiber to the x (FTTx)

x = ανάλογα με τον τερματισμό της οπτική ίνα

- Ίνα στο ΚΑΦΑΟ (Fiber To The Cabinet)
- Ίνα στο κτίριο (Fiber to the building – FTTB)
- Ίνα στο σπίτι (Fiber To The Home – FTTH)

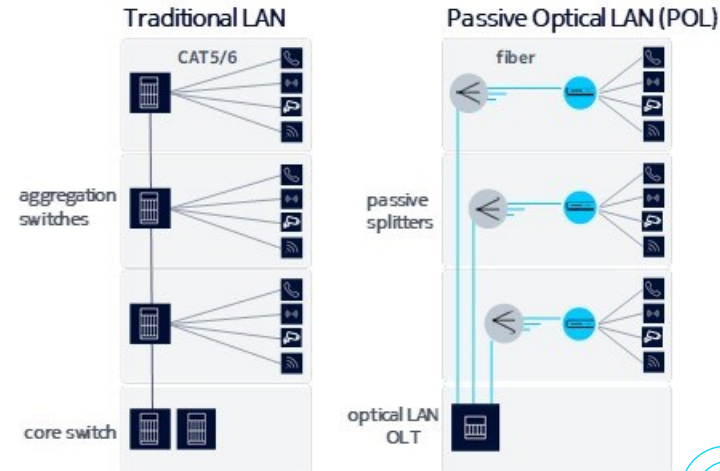
- FTTE (fiber-to-the-edge) , FTTP (fiber-to-the-premises), FTTM (fiber-to-the-machine), FTTA (fiber-to-the-antenna), FTTN (fiber-to-the-neighborhood) ...

- Έρευνα για FTTR - Fiber to the Room !



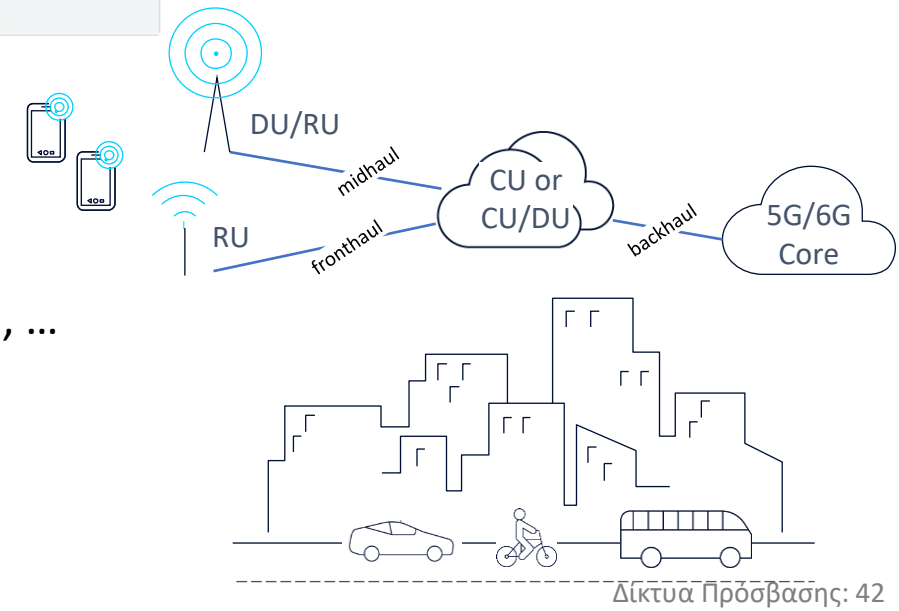
PON – άλλες αγορές εκτός FTTH/B

Passive optical LAN (POL): εφαρμογή PON σε τοπικά δίκτυα (local area network – LAN) εκτός των δικτύων πρόσβασης



- Less active equipment
- Less power consumption
- Less floor space
- Easier maintenance
- Cost-efficient upgrades
- Carrier grade reliability
- Military grade security

- Κινητά δίκτυα
 - back-/ mid-/ fronthaul κίνηση για 5G/6G δίκτυα
- Βιομηχανία και κάθετες αγορές
 - Αυτοματισμός στη βιομηχανική παραγωγή, smart city, smart grid, ...
- Ενδοεπικοινωνία σε κέντρα δεδομένων (Intra-datacenter)
 - μικρά DC / edge cloud, συνδέσεις intra-pod / intra-rack



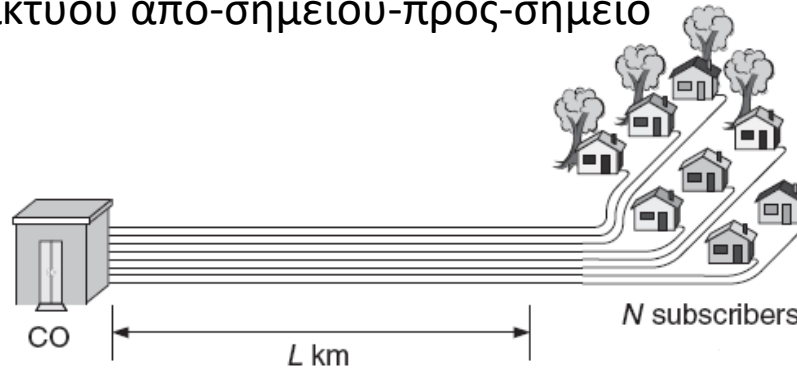
Γιατί PON

Αρχιτεκτονική δικτύου από-σημείου-προς-σημείο

Point-to-point network

N fibers

$2N$ transceivers

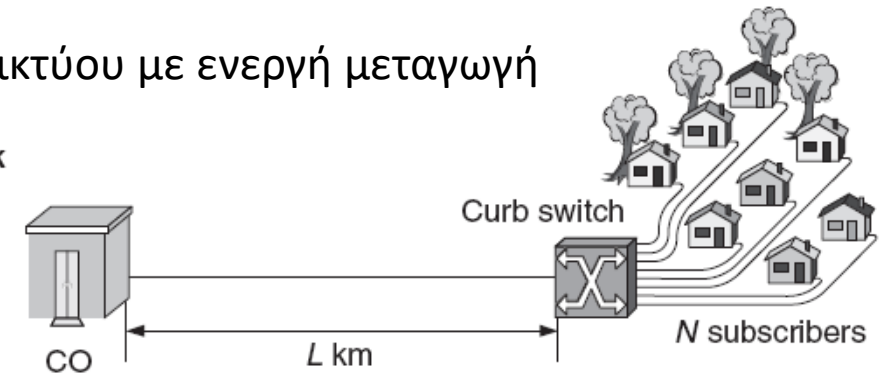


Αρχιτεκτονική δικτύου με ενεργή μεταγωγή

Curb-switched network

1 fiber

$2N+2$ transceivers

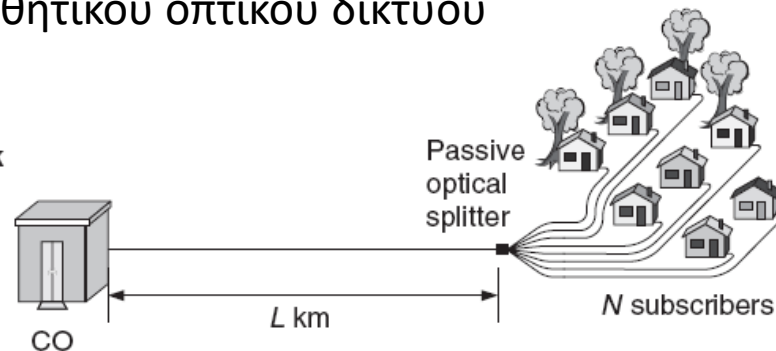


Αρχιτεκτονική παθητικού οπτικού δικτύου

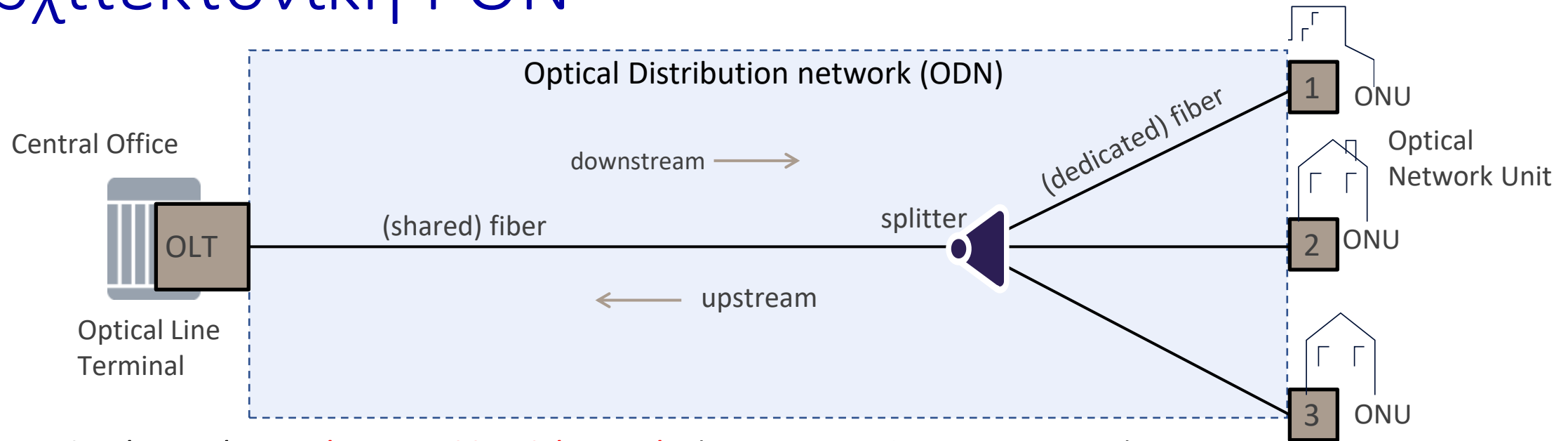
Passive optical network

1 fiber

N transceivers

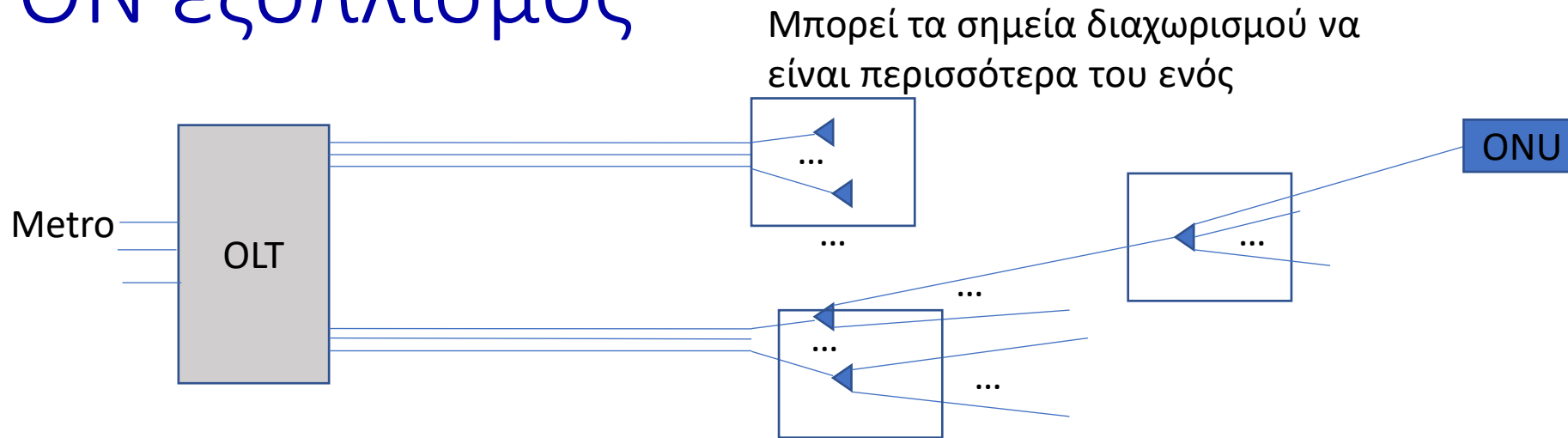


Αρχιτεκτονική PON

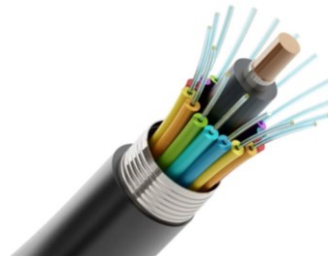


- Τοπολογία: από-σημείο-σε-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint – PTMP)
 - **Σημείο**: το κεντρικό γραφείο (central office) Optical Line Terminal (OLT)
 - **Πολλαπλά σημεία**: Optical Network Unit (ONU) – έως 128 (συνήθως 32 ή 64)
 - OLT – ODN (Κοινή ίνα – παθητικός οπτικός διαχωριστής – μεμονωμένες ίνες) – ONUs
 - Το ODN μπορεί να είναι πιο σύνθετο π.χ 2 επίπεδα splitter και οπτικό patchpanel
- Χαμηλό κόστος
 - 1 πομποδέκτης στο OLT (burst mode - σχετικά ακριβός), φτηνοί πομποδέκτες στα ONUs (χρήστες)
 - Κοινή ίνα (συνήθως το μεγαλύτερο μήκος π.χ. 18 km σε σχέση με τις μεμονωμένες ίνες π.χ. 2 km)
 - Παθητικό

PON εξοπλισμός



OLT chassis
(multiple OLTs / PONs)



Καλώδιο με
πολλαπλές ίνες
(πολλαπλά PON)

splitters

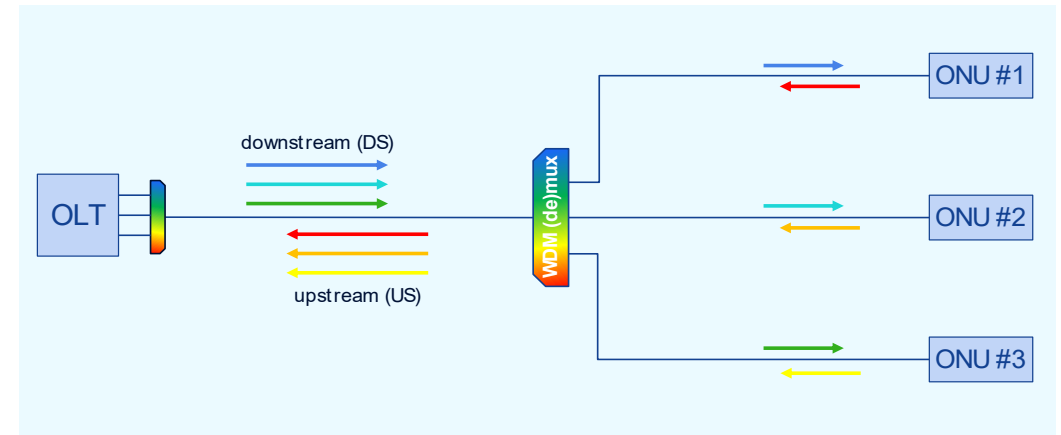
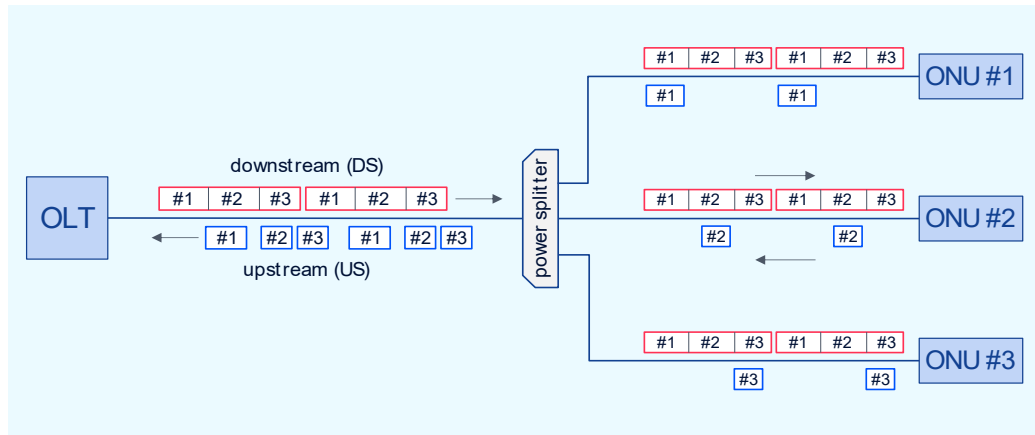


Συνήθως 2 επίπεδα splitters
π.χ. i) 1x4 και ii) 1x4 (συνολικό 1x16)

ONUs



PON – πολυπλεξία κίνησης



TDM-PON

- η πιο διαδεδομένη και πιο οικονομική λύση
- κοινόχρηστο οπτικό κανάλι, τοπολογία σημείο προς πολλαπλά σημεία (PTMP)
- βέλτιστη για δυναμική κίνηση και στατιστική πολυπλεξία

Περισσότερες παραλλαγές

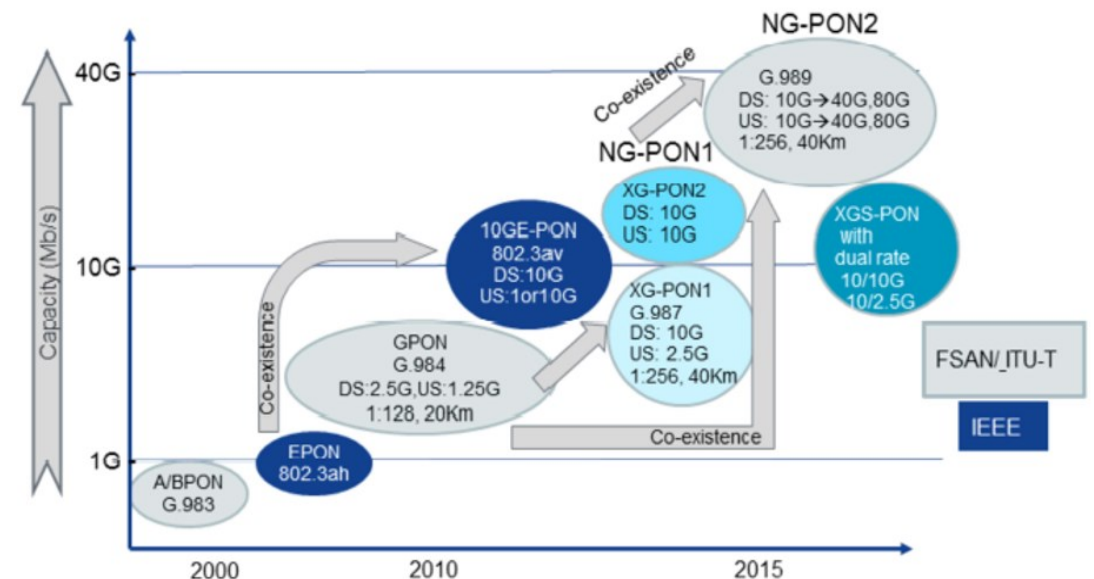
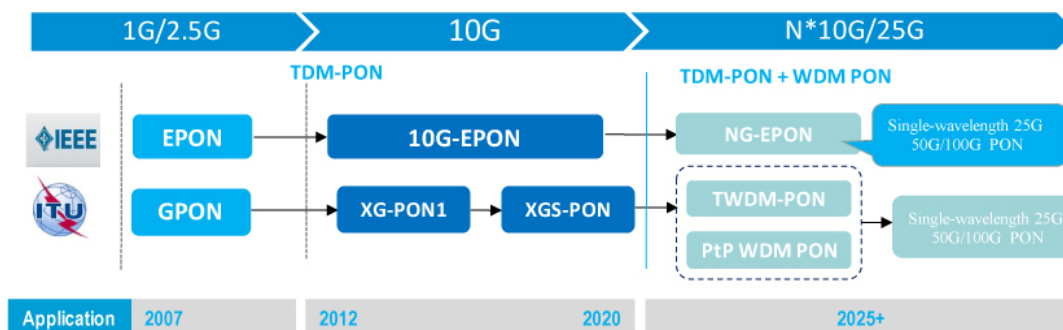
- TWDM-PON: πολλαπλά μήκη κύματος, το καθένα με TDM
- WDM overlay: από σημείο σε σημείο (PTP) μήκη κύματος ταυτόχρονα με TDM-PON (1 μήκος κύματος)

WDM-PON

- όχι ευρέως διαδεδομένη, όχι (ακόμα) φθηνό...
- αποκλειστικά οπτικά κανάλια, από σημείο σε σημείο (PTP)
- βέλτιστη για υψηλό σταθερό ρυθμό ανά κόμβο

Πρότυπα Παθητικών Οπτικών Δικτύων

- 2 κύριοι φορείς προτυποποίησης της PON τεχνολογίας: IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) και ITU (International Telecommunications Union)
- IEEE Standards
 - 802.3ah – EPON/GEPON (Ethernet PON/ Gigabit Ethernet PON)
 - 802.3av – 10G-EPON
- ITU – T Standards
 - G.984 – GPON (Gigabit PON)
 - G.987 –XG-PON / XGS-PON



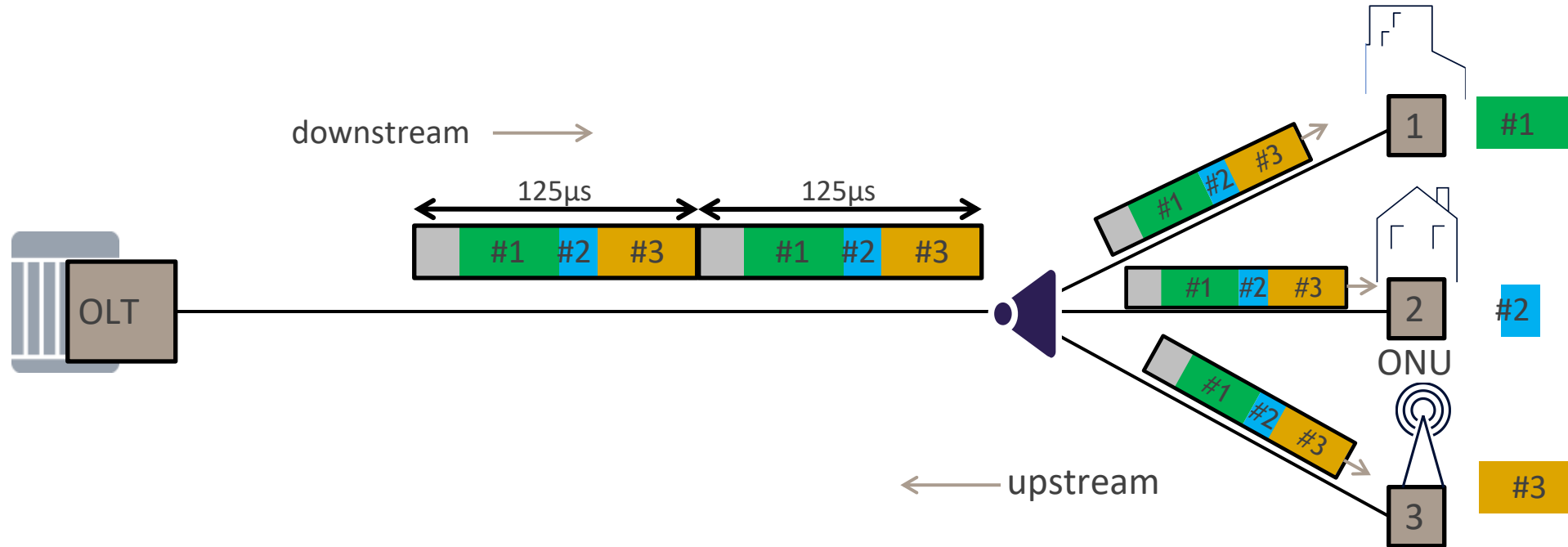
GPON & EPON

- Διαφορετικά μήκη κύματος, splitting ratio, αποστάσεις, διαφορετικοί ρυθμοί
- Διαφορετικά πρωτόκολλα, ενθυλάκωση, παροχή QoS, διαδικασία χρονοπρογραμματισμού
- Και οι δύο χρησιμοποιούν το TDM και τον χρονοπρογραμματισμό και κάνουν ίδια πράγματα αλλά με διαφορετικούς τρόπους

Εστιάζουμε στο ITU-T (GPON, XGPON) και περιγράφουμε μερικές διαφορές τους

Specifications	GPON	EPON
Downlink Rate	1244/2488 Mbit/s	1250
Uplink Rate	155/622/1244/2488 Mbit/s	1250
Line Coding	NRZ	8B/10B
Ethernet Transmission Efficiency	93% uplink, 94% downlink	61% uplink, 73% downlink
Splitter Ratio	64-128	32-64
Transmission Distance	60km	20
TDM Capability	TDM over ATM/Packet	TDM over Ethernet
Video Capability	Support cable TV and IPTV	Not support cable TV
Security	Support Advanced Encryption Standard(AES)	Undefined
OAM	Provide ONT management control standard	Ethernet(SNMP available)

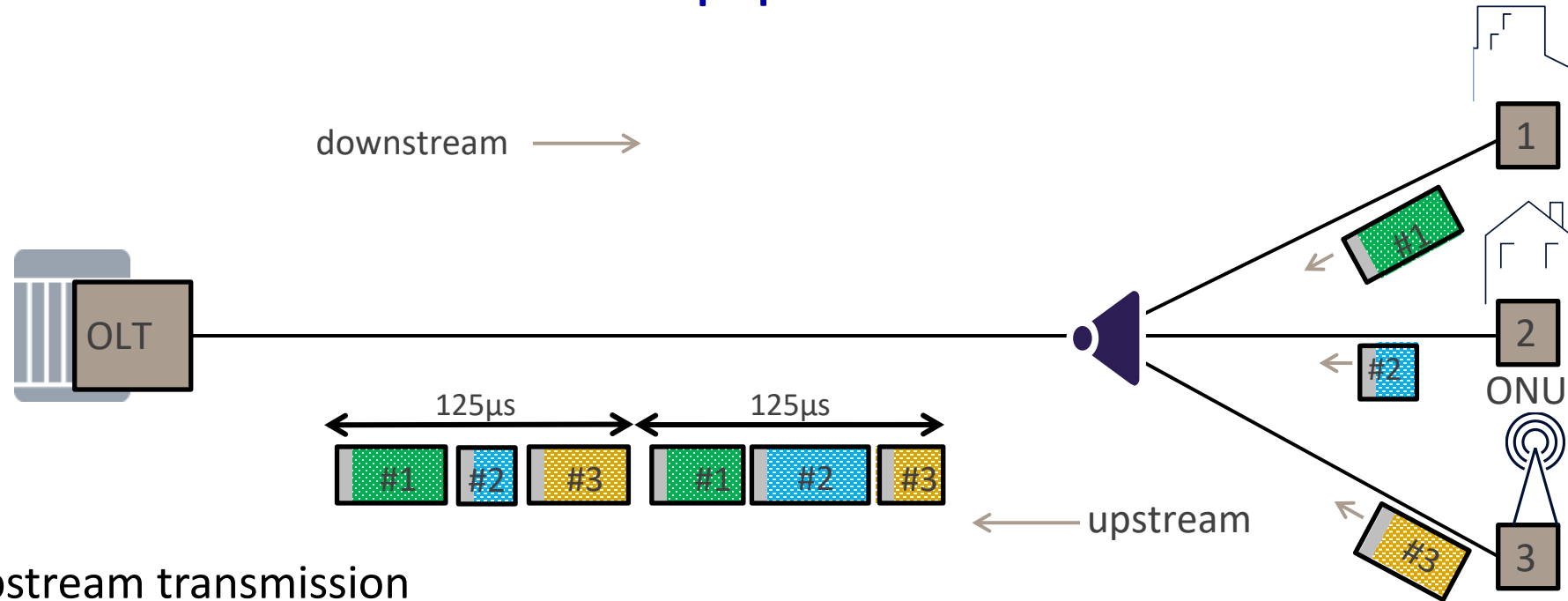
TDM GPON λειτουργία



Downstream transmission (OLT -> ONUs)

- Συνεχής μετάδοση (Continuous Mode)
- Μετάδοση προς όλα τα ONUs: PON πλαίσια (frames) των 125 μs
 - 125 μs frame period (= SONET !) στα ITU PON (GPON, XGPON,...)
 - Στα IEEE E-PON δεν υπάρχουν πλαίσια, αλλά 'συνεχόμενες' μεταδώσεις bursts από το OLT
- Τα ONUs λαμβάνουν όλα τα δεδομένα αλλά επεξεργάζονται μόνο όσα απευθύνονται σε αυτά
- Το OLT δίνει οδηγίες για το upstream transmission (χρόνο μετάδοσης) σε κάθε ONU στην επικεφαλίδα του downstream PON πλαισίου (BWMap)

TDM GPON λειτουργία

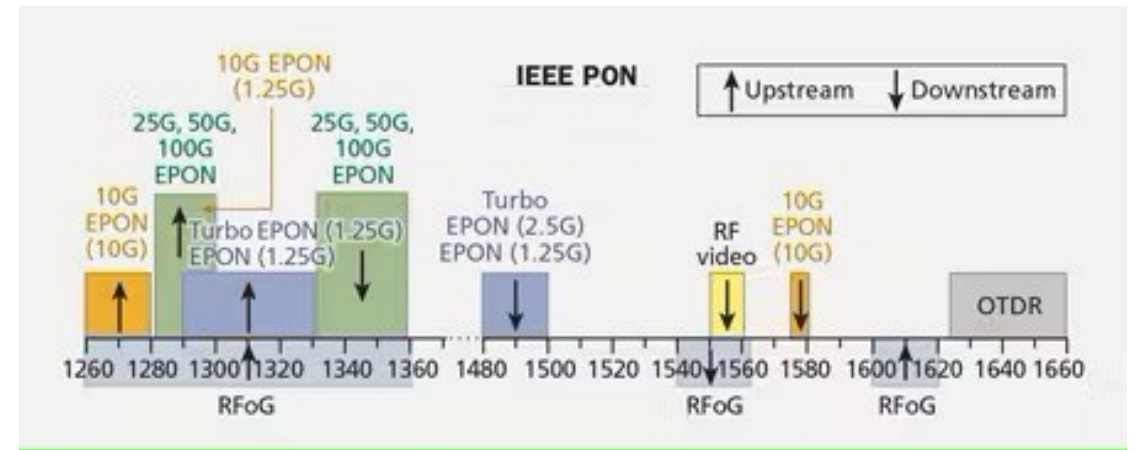
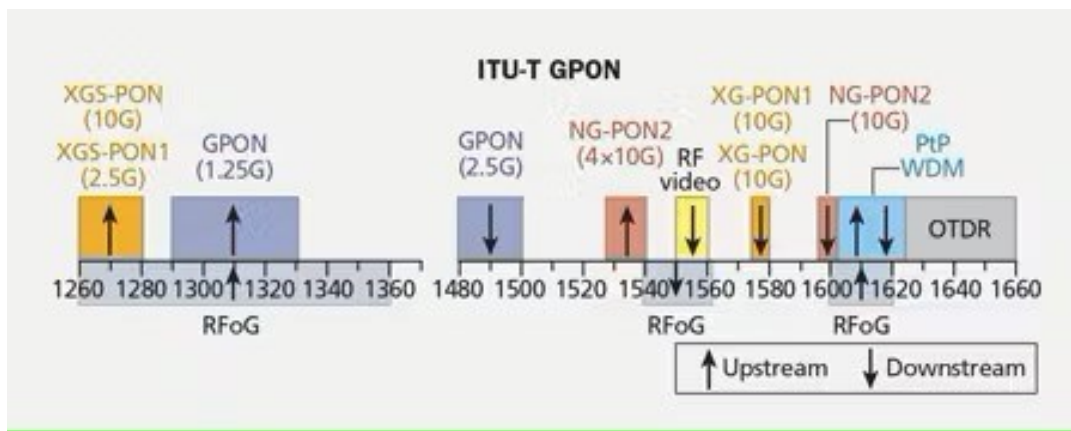


Upstream transmission

- Σε καταιγισμούς (bursts) –guard-time μεταξύ καταιγισμών – πέρα από δεδομένα το ONU βάζει και επικεφαλίδα με διάφορες πληροφορίες συμπεριλαμβάνοντας το μέγεθος του buffer του
- Αποφυγή συγκρούσεων: συγχρονισμός και χρονοπρογραμματισμός (MAC)
 - Συγχρονισμένα ONUs (με βάση τη λήψη του downstream πλαισίου και την απόστασή τους από το OLT) – σε επόμενο slide
 - Χρονοπρογραμματισμός: ανάθεση καταιγισμών από το OLT
 - Αλγόριθμος ανάθεσης Dynamic Bandwidth Allocation (DBA)
 - Στατική ανάθεση (τμήματος) της χωρητικότητας και δυναμική ανάθεση του υπολοίπου
 - Ενημέρωση για την ανάθεση (από το OLT στα ONUs) στα downstream πλαίσια (BWMap)

Φάσμα

- Οι διαφορετικές γενιές PON χρησιμοποιούν διαφορετικά τμήματα του φάσματος
 - Για συνύπαρξη, π.χ. σε ένα Optical Distribution Network (ODN) παραπάνω από μιας γενιάς/τεχνολογίας PON
- Ίδια ίνα για upstream και για downstream
 - Σε αντίθεση με core & metro που συνήθως έχουμε 1 ίνα ανά κατεύθυνση, διαφορετικό φάσμα για upstream & downstream για αποφυγή παρεμβολών
- Πλατύ φάσμα – φτηνά laser



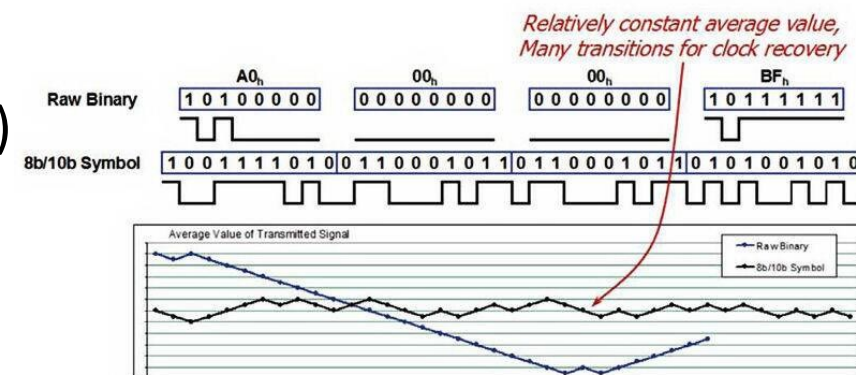
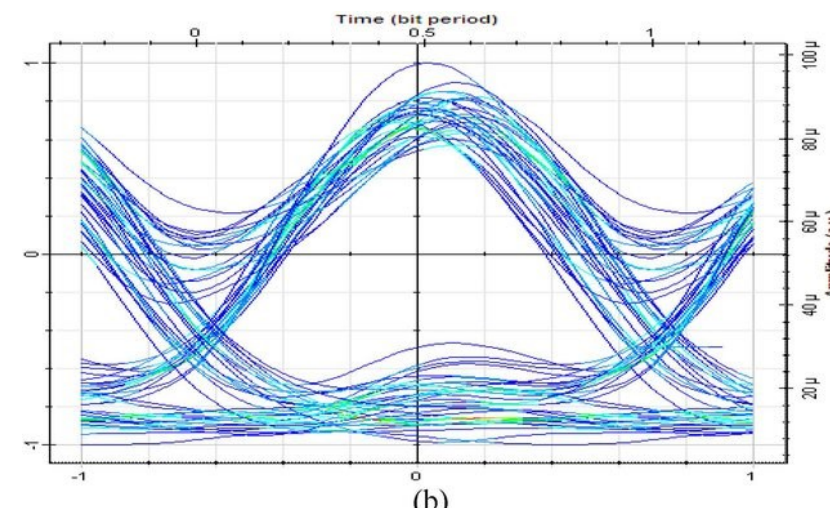
Physical layer

■ GPON

- NRZ code (high is 1 and low is 0) + scrambling (in the payload)
- FEC BCH
 - Every 239 data bytes, 16 parity (255 Byte FEC block)
 - Up to 8 byte errors can be corrected
 - Improves the power budget by >3 dB
 - Use of FEC is negotiated between OLT and ONU

■ EPON

- 802.3z (1000BASE-X) 8B/10B code (8 data bits → 10)
 - Special function codes (e.g. idle, start of packet, end)
 - 1000 Mbps is expanded to 1250 Mbps
- FEC Reed-Solomon
 - Similar features to GPON

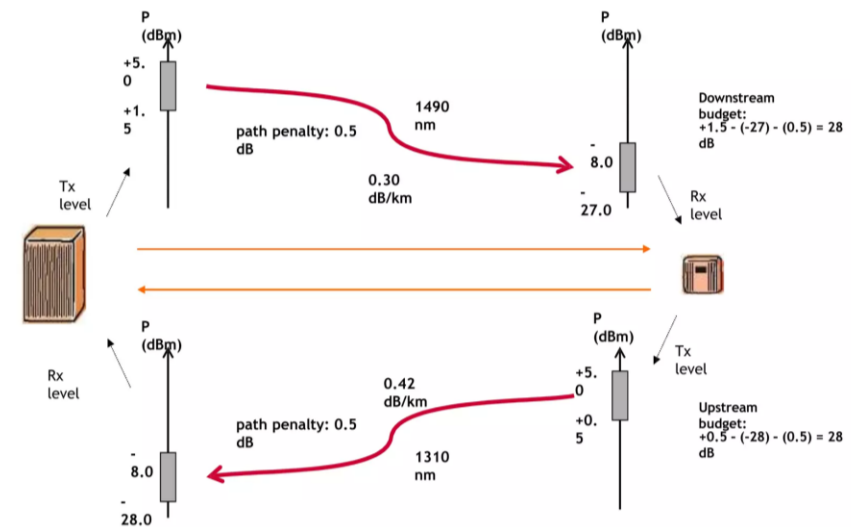


Απώλειες και απόσταση

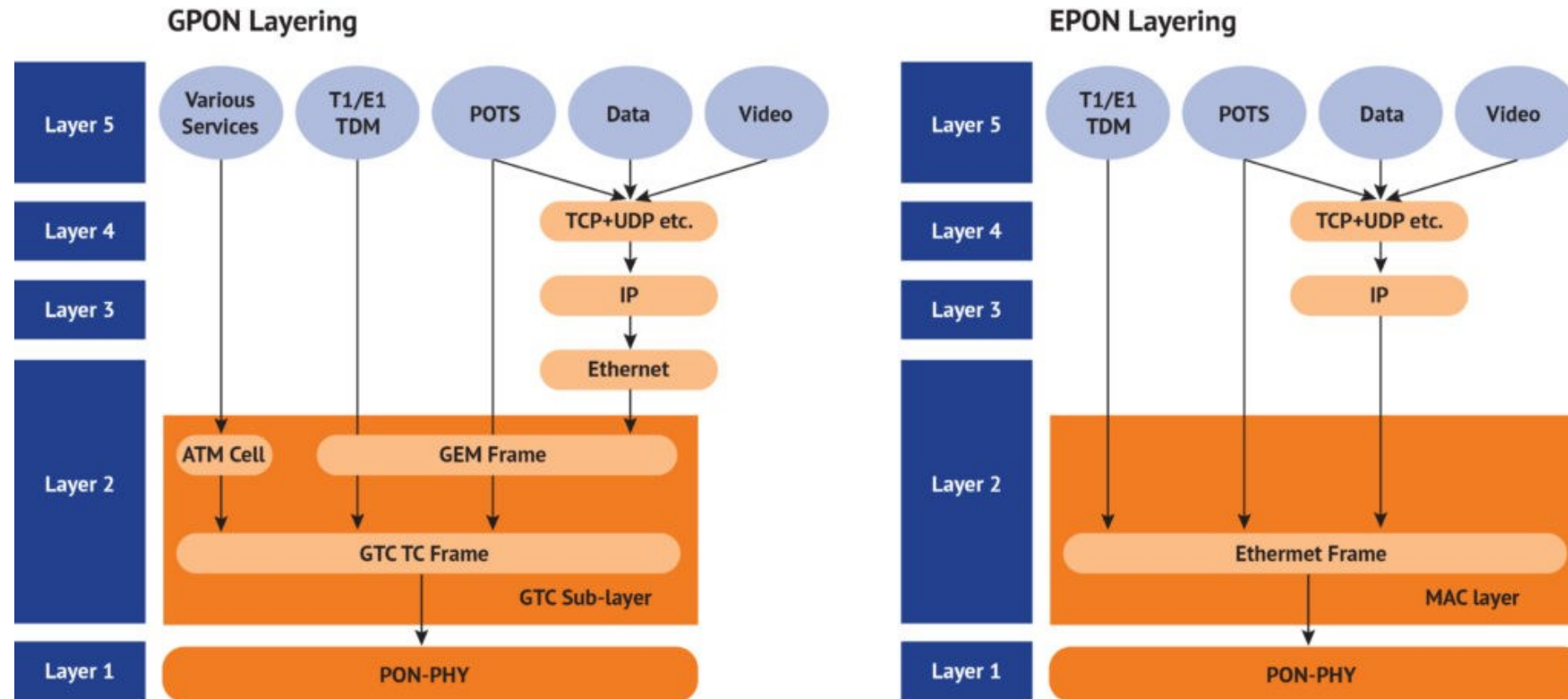
- Τυπικός σχεδιασμός για απώλειες 28.5 dB
- Κλάσεις δικτύων και κλάσεις πομποδεκτών (π.χ. Class B+: OLT launch power: +1.5 / + 5 dBm, ONU sensitivity: -27 / -8 dBm)
- Πίνακες για απόσταση, split, τύπο πομποδεκτών

Optical Component	dB	Quantity	Result (dB)
Splitters:			
Splitter 1 x 64	20.1	1	0
Splitter 1 x 32	17.4		17.4
Splitter 1 x 16	13.8		0
Splitter 1 x 8	10.5		0
Splices:			
Access splices	0.1	2	0.2
Mating splices	0.1	5	0.5
Maintenance splices	0.1	2	0.2
Fiber:			
1285 – 1330 nm in dB/km	0.4	20	8
1480 – 1575 nm in dB/km	0.3	0	0
Aging margin	0.7	1	0.7
Other Losses:			
Measurement Error	0.4	1	0.4
Connectors	0.35	2	0.7
WDM (for RF video only)	1.3	0	0
			28.1

GPON LINK BUDGET (CLASS B+)EXAMPLE



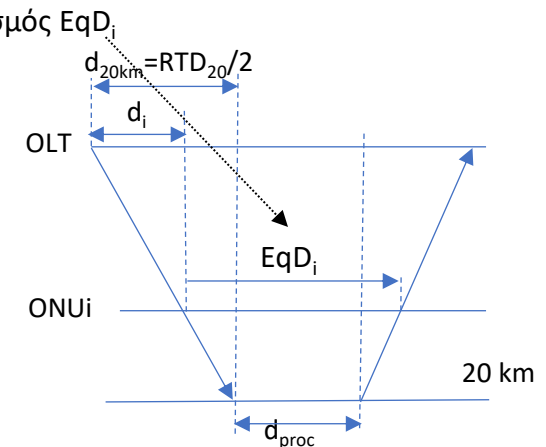
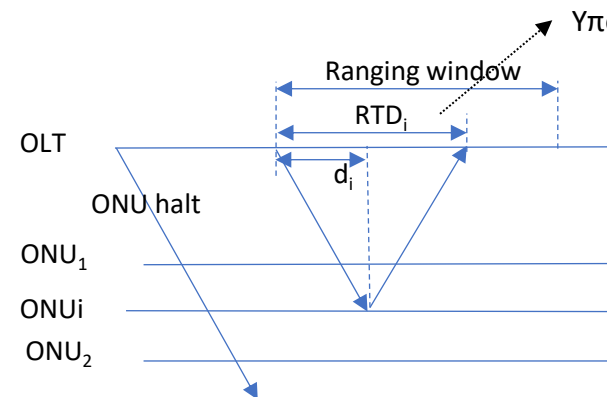
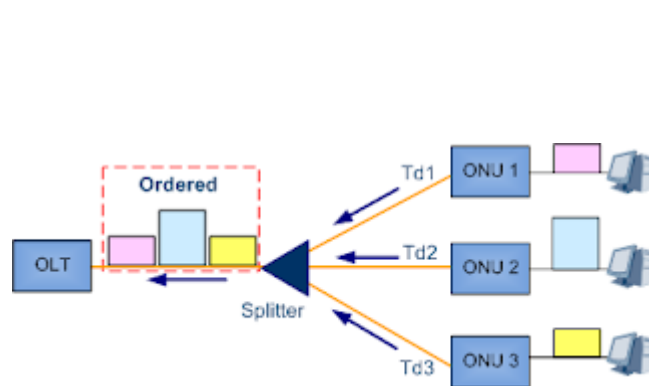
Ενθυλάκωση - Encapsulation



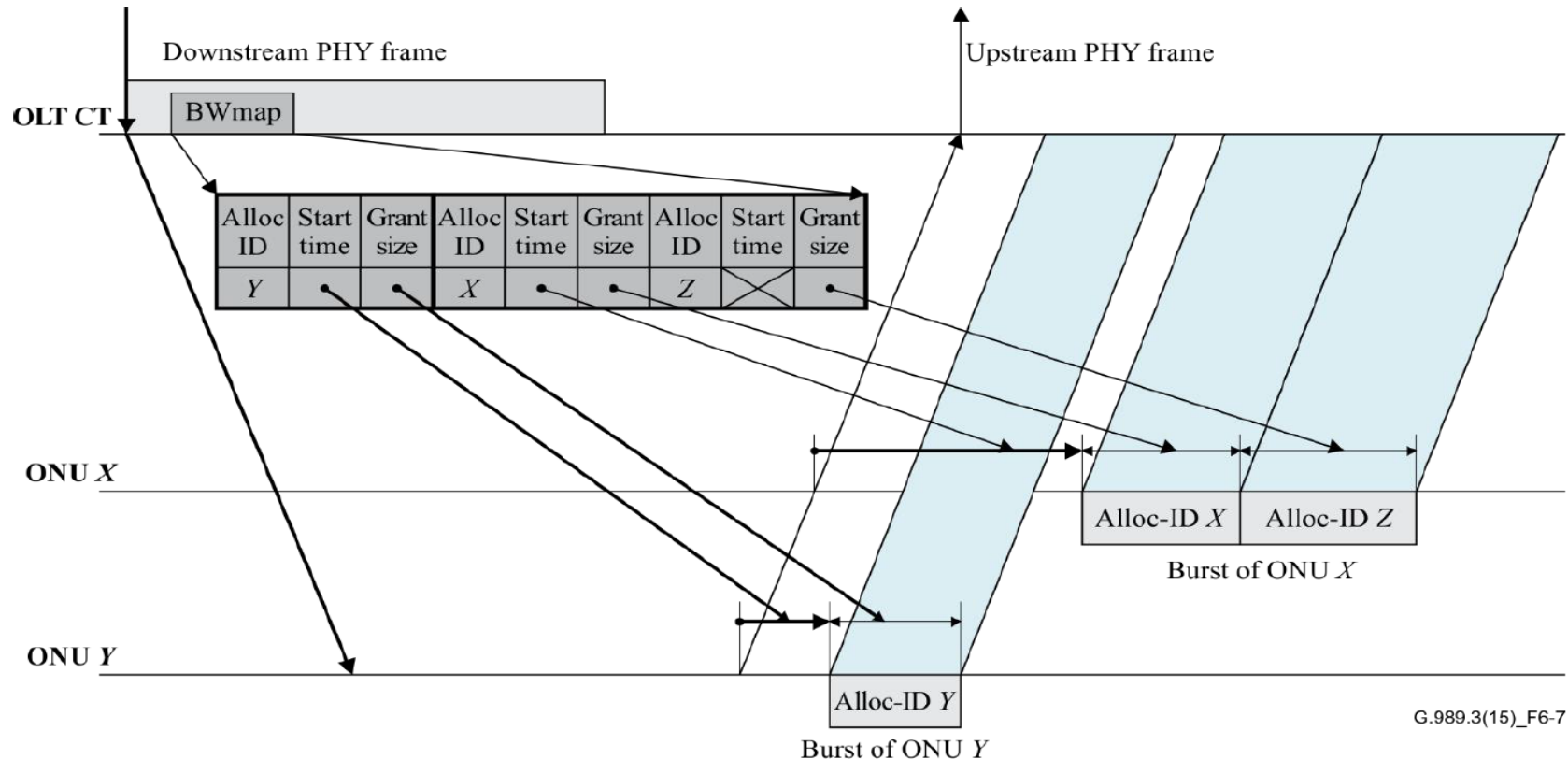
- EPON: Ethernet frames are carried natively on the PON with no changes. There is no extra adaption and encapsulation
- GPON: Ethernet frames are encapsulated into GTC (GPON Transmission Convergence) Encapsulation Method (GEM) frames. GEM frames are, in turn, encapsulated into a GTC TC frame (the PON DS frame – introduced in a previous slide) that is transported synchronously every 125 μ sec over the PON

TDM PON: Συγχρονισμός ONU - Ranging

- Δεδομένου ότι οι ONU βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το OLT, τα upstream δεδομένα (burst) πρέπει να σταλούν στις σωστές χρονικές στιγμές, έτσι ώστε να μην γίνουν συγκρούσεις στην κοινή ίνα
- Ο μηχανισμός **Ranging** συγχρονίζει τις ONUs ώστε το upstream frame να ξεκινάει ταυτόχρονα σε όλες τις ONUs
 - Ανά τακτά χρονικά διαστήματα το OLT στέλνει μήνυμα halt και ξεκινάει ένα ranging/ quiet window
 - στη διάρκεια του ranging/ quiet window το OLT στέλνει σε ένα συγκεκριμένο ONU (i) μήνυμα αίτησης μέτρησης καθυστέρησης Round-Trip-Delay
 - Με την απάντηση το OLT μετράει το Round-Trip-Delay ($RTD_i = 2d_i$) και υπολογίζει καθυστέρηση εξισορρόπησης **EqD_i**
 $EqD_i = RTD_{20km} - RTD_i + d_{proc}$, όπου d_{proc} σταθερά (μέγιστος χρόνος επεξεργασίας DS frame, π.χ. 20 msec)
 - Αρχή upstream frame στο ONU(i) = άφιξη downstream frame(i) + EqD_i
- Με αυτόν τον τρόπο (πρόσθεση καθυστέρησης εξισορρόπησης) όλα τα ONUs βρίσκονται στην ίδια 'εικονική' απόσταση (20 km) από το OLT και το upstream frame ξεκινάει ταυτόχρονα



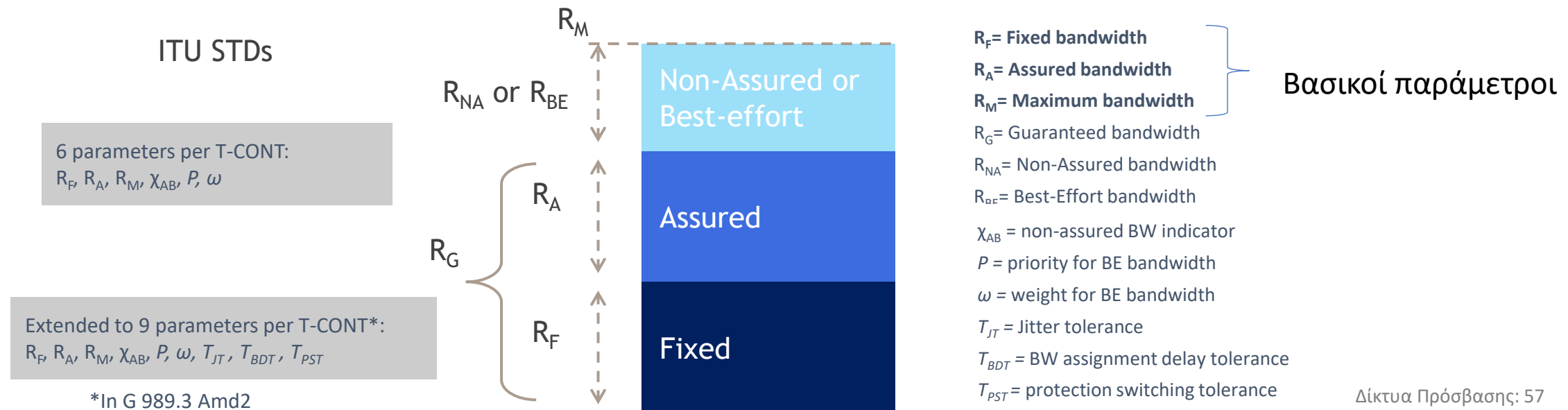
TDM PON – BWMap



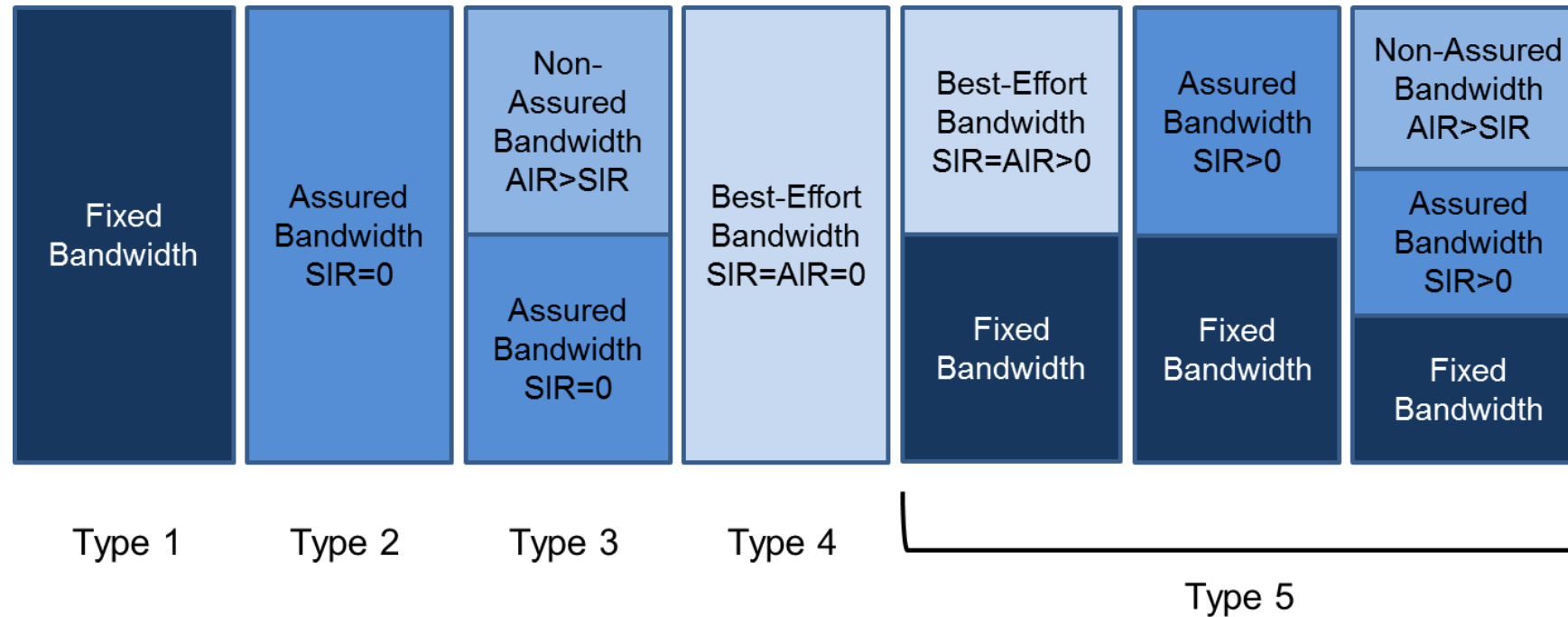
Το OLT δίνει οδηγίες για το upstream transmission (χρόνο μετάδοσης) σε κάθε ONU στην επικεφαλίδα του προηγούμενου downstream PON πλαισίου

Ποιότητα υπηρεσιών - T-CONT traffic descriptors

- Ένα ONU μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα T-CONT
- Transmission CONTainer (T-CONT): η οντότητα στο GPON στην οποία ανατίθεται upstream χωρητικότητα (πολλά GEM ports μπορούν να ανήκουν σε ένα T-CONT, αλλά η ανάθεση χωρητικ. γίνεται σε T-CONT)
- Ένα T-CONT καταχωρείται στο OLT με ένα σύνολο παραμέτρων περιγραφής κίνησης (traffic descriptors)
- Το OLT κάνει ορισμένους ελέγχους κατά την εγγραφή: το εγγυημένο BW ($R_F + R_A$) για όλα τα T-CONT θα πρέπει να επαρκεί ($< \text{PON rate}$), εφικτοί περιορισμοί καθυστέρησης (T_{BDT}) κ.λπ.
- Το OLT χρησιμοποιεί αυτές τις παραμέτρους περιγραφής κυκλοφορίας στη διαδικασία DBA

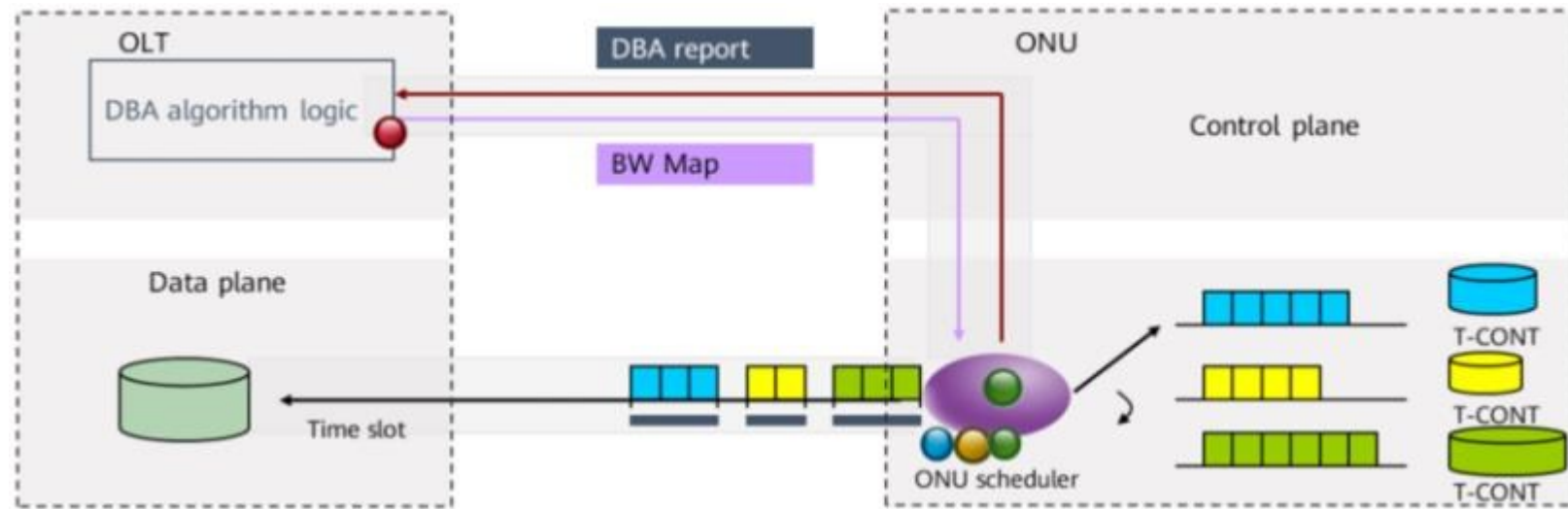


T-CONT Types (Upstream QoS)



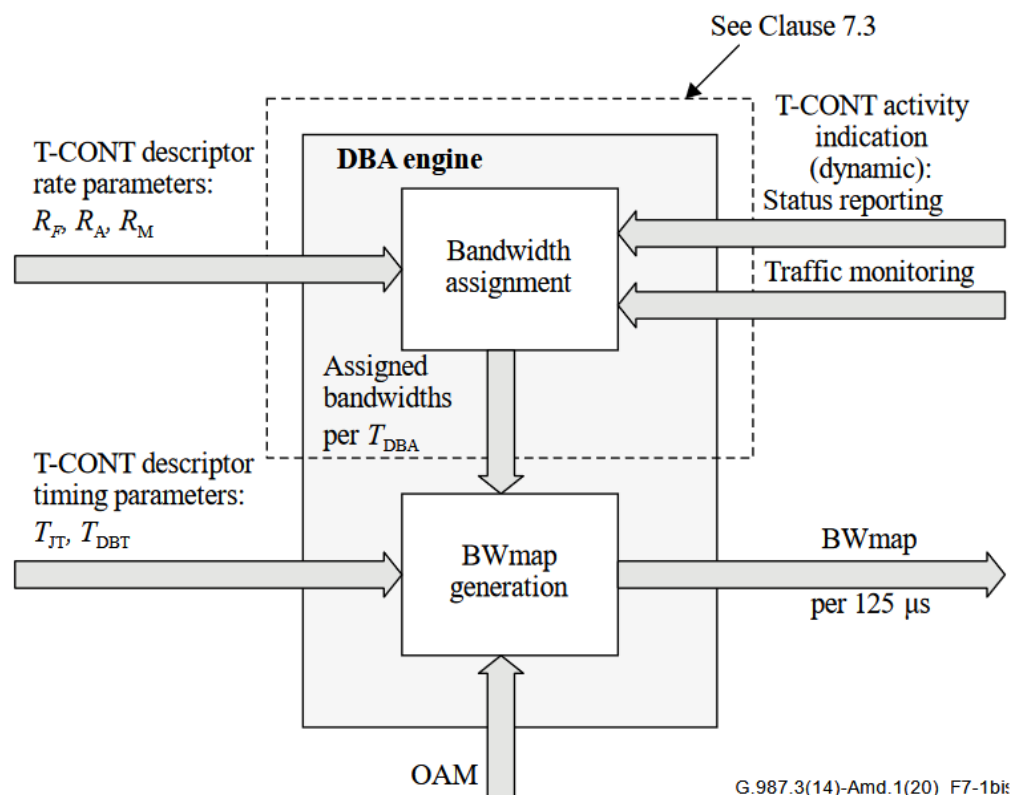
- Ανάλογα με τις (βασικές) παραμέτρους (R_F Fixed bandwidth, R_A Assured bandwidth, R_M = Maximum bandwidth = non assured/best effort) ένα T-CONT χαρακτηρίζεται σε έναν τύπο QoS
- QoS type $1 > 2 > 3 > 4$, Type 5 είναι μίξη κάτι από όλα
- Σχετίζεται με το πως αναθέτει χωρητικότητα το DBA process: πρώτα Fixed, μετά assured, μετά BE

DBA logical representation



- Το DBA process του OLT συλλέγει αναφορές μεγέθους των buffers (DB Report upstream - DBRu) και βλέπει πως χρησιμοποίησαν τις προηγούμενες αναθέσεις τα T-CONTs, εκτελεί υπολογισμούς, αναθέτει χρονοθυρίδες και στέλνει τις αναθέσεις στα T-CONTs με τη μορφή ενός 'χάρτη' (BWMap)
 - Το BWMap υπάρχει σε κάθε downstream frame (125 μ s) και περιέχει τις αναθέσεις για το επόμενο upstream frame
 - Μπορεί να μην εξυπηρετηθούν όλα τα T-CONT στο επόμενο upstream frame, η ανάθεση διαφορετικού χρόνου σε κάθε T-CONT
- Το ONU/T-CONT στέλνει δεδομένα σε καταιγισμούς (bursts) στις χρονοθυρίδες που του έχουν ανατεθεί σύμφωνα με τις πληροφορίες του BWMap και πληροφορίες για το μέγεθος των buffer

Dynamic Bandwidth Allocation process



- DBA τρέχει σε κύκλους π.χ. 8 msec στο OLT
- Είσοδοι
 - T-CONT traffic descriptors (fixed R_F , assured R_A , best effort BW) = 'στατικοί' παράμετροι
 - Εκτίμηση κίνησης κάθε T-CONT = 'δυναμικοί' παράμετροι
 - traffic monitoring (TM): η κίνηση που έστειλε το T-CONT στον προηγούμενο κύκλο
 - status reporting (SR): ενημέρωση από το ONU του μεγέθους του T-CONT buffer (DBRu reports)
- DBA αναθέτει χωρητικότητα (bit/sec) στα T-CONT
 - Αναθέτει πρώτα το εγγυημένο BW (R_F, R_A)
 - Μετά το υπόλοιπο BW «δίκαια» (fair) σύμφωνα με την εκτίμηση κίνησης και τους T-CONT traffic descriptors
- Οι ανατεθειμένες χωρητικότητες δίνονται στο BWmapper, που τις χρησιμοποιεί μαζί με παραμέτρους χρονισμού T-CONT traffic descriptors (T_{JT}, T_{DBT}), για να δημιουργήσει το BWmap ενός upstream frame (κάθε 125 μs)

Physical Layer Operation Administration and Maintenance (PLOAM)

- Το Physical Layer Operation Administration and Maintenance (PLOAM) είναι πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα PON για τη διαχείριση και τη συντήρηση του φυσικού επιπέδου
- Το PLOAM εκτελεί διάφορες λειτουργίες
 - Ανακάλυψη
 - Όταν ένα ONU (επανα)συνδέεται στο PON, περιμένει ένα μήνυμα halt (ranging/ quiet window) και στέλνει μήνυμα στο OLT για να ταυτοποιηθεί (μετά ακολουθεί η διαδικασία ενεργοποίησης και ranging)
 - Υπάρχει (μικρό) ενδεχόμενο συγκρούσεων όταν παραπάνω από μία ONU προσπαθούν να συνδεθούν
 - Ενεργοποίηση
 - Ενός νέου ONU από το OLT. Το OLT στέλνει PLOAM μήνυμα ενεργοποίησης στο ONU, το οποίο περιλαμβάνει διάφορες παραμέτρους διαμόρφωσης
 - Ranging
 - Διαδικασία μέτρησης της απόστασης / καθυστέρησης εξισορρόπησης (EqD) ενός ONU
 - Εντοπισμός σφαλμάτων, παρακολούθηση της απόδοσης,
 - Το ONU στέλνει περιοδικά PLOAM μηνύματα κατάστασης στο OLT, BER, signal power, etc, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της απόδοσης και εντοπισμό βλαβών. Εάν εντοπιστεί βλάβη, το OLT στέλνει PLOAM μήνυμα στο ONU και απομονώνει το σφάλμα, αποτρέποντας από το να επηρεάσει όλο το δίκτυο
 - Ασφάλεια (μεταφορά κλειδιού), κ.α.

TDM-PON: Encryption

- Δεδομένου ότι downstream όλα τα δεδομένα φτάνουν σε όλα τα ONU/ONT, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί κρυπτογράφηση για ιδιωτικότητα
- Η κρυπτογράφηση ξεκινά από το OLT που στέλνει συγκεκριμένο μήνυμα PLOAM (Physical Layer Operation Administration and Maintenance) στο ONU
- Το ONU δημιουργεί το κλειδί και το στέλνει πίσω στο OLT
- Εφόσον το κλειδί αποστέλλεται upstream, δεν είναι ορατό από τα άλλα ONUs
- Μετά τα δεδομένα κρυπτογραφούνται από το OLT (μόνο το payload) χρησιμοποιώντας το κλειδί και AES (Advanced Encryption Standard) - AES128 (GPON)
- Μόνο το ONU που έχει δημιουργήσει το κλειδί μπορεί να τα αποκρυπτογραφήσει
- Για να γίνει το σύστημα πιο ασφαλές, τα κλειδιά αλλάζουν συχνά

