Αστικά δίκτυα και δίκτυα κορμού

Αλέξανδρος Σταυδάς
Έκτος Κύκλος

OTN
Optical Transport Network

Εισαγωγή στο OTN

- Το οπτικό δίκτυο μεταφοράς (OTN) είναι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική δικτύου της ITU-T για το δίκτυο μεταφοράς (transport network) που βασίζεται αποκλειστικά στην οπτική μετάδοση και μεταγωγή.
- Άρα, το OTN υποστηρίζει ενδογενώς πολυπλεξία μήκους κύματος WDM.
- Τα πλαίσια (frames) αποτελούνται από ένα περιτύλιγμα (wrapper) πλεονάζουσας πληροφορίας που περιστοιχίζει το περιεχόμενο (payload).
- Όπως και το SDH, το OTN αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα πολυπλεξίας.
- Το OTN μπορεί να μεταφέρει πολλά είδη σημάτων, συμπεριλαμβανομένων και των SONET, SDH και Ethernet.

Σκοποί του OTN

- Μεταφορά κάθε είδους ψηφιακής ροής με καλή επίδοση. Για το λόγο αυτό, έχει ισχυρό σύστημα διόρθωσης σφαλμάτων.

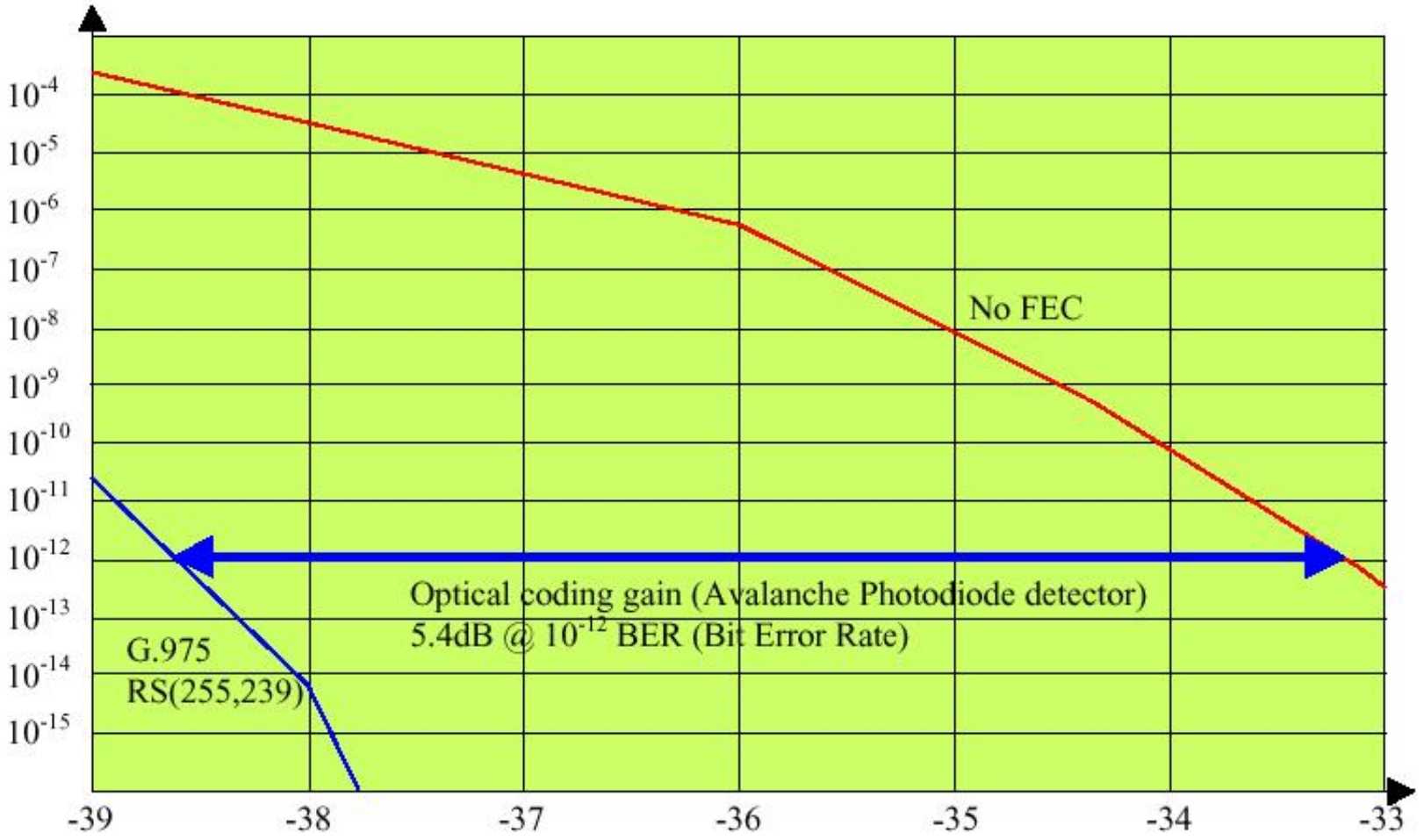
- Υποστήριξη δυναμικών υπηρεσιών νέας γενιάς με αποτελεσματικότερο τρόπο από τα προϋπάρχοντα WDM συστήματα μεταφοράς.

- Λειτουργικότητα τουλάχιστον στο επίπεδο του SDH ή και καλύτερη.

Έλεγχος Σφαλμάτων

- Το OTN περιλαμβάνει έλεγχο σφαλμάτων που βελτιώνει το λόγο σήματος προς θόρυβο μέχρι 6 dB επιτρέποντας: την χρήση μεγαλύτερου μήκους ινών, λιγότερων ενισχυτών, περισσότερων WDM καναλιών κλπ.
- Η μέθοδος ελέγχου σφαλμάτων που προβλέπεται από το πρότυπο είναι ο κώδικας Reed Solomon (255, 239).
- Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπεται να είναι ξεχωριστοί ανά κατασκευαστή.
- Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ευελιξία όταν απαιτείται η μεταφορά σημάτων με πολύ καλή ποιότητα QoS σε ότι αυτό σχετίζεται με τον αριθμό σφαλμάτων (BER).

Κέρδος από FEC



Πλεονεκτήματα του ελέγχου σφαλμάτων

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ίνες μεγαλύτερου μήκους για συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.

- Γραμμές σχεδιασμένες π.χ. για 2.5G μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα 10G ή από 10G στα 40G.
  Ερώτηση: τι σημαίνει 6 dB κέρδος?

- Έγκαιρη διάγνωση προβλημάτων στην γραμμή:
  Όταν αρχίζουν να εμφανίζονται προβλήματα, ο αριθμός των σφαλμάτων που διορθώνονται αυξάνει, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κριτήριο.

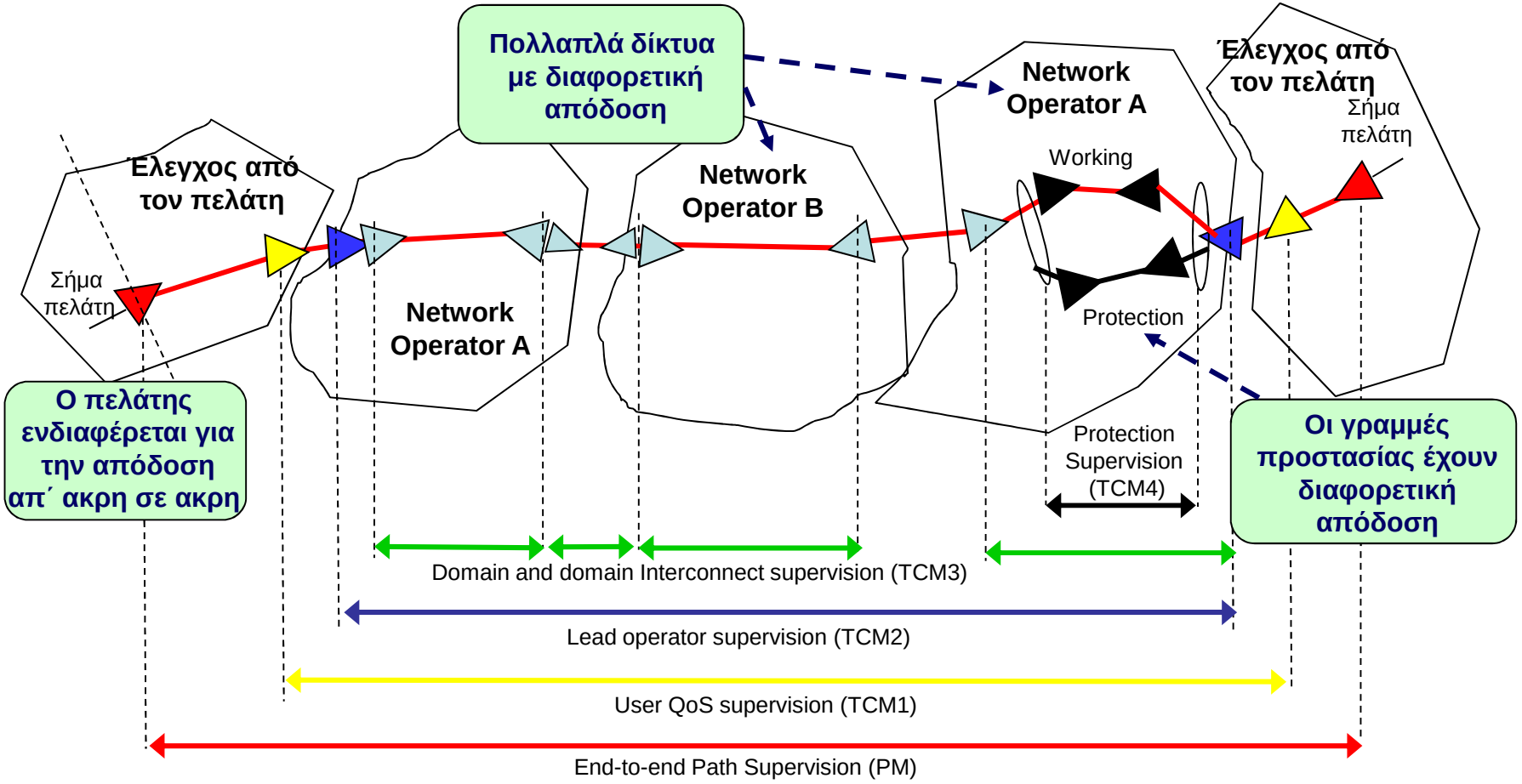
- Ο αριθμός των αναγεννητών 3R μπορεί να μειωθεί.

Έλεγχος απόδοσης

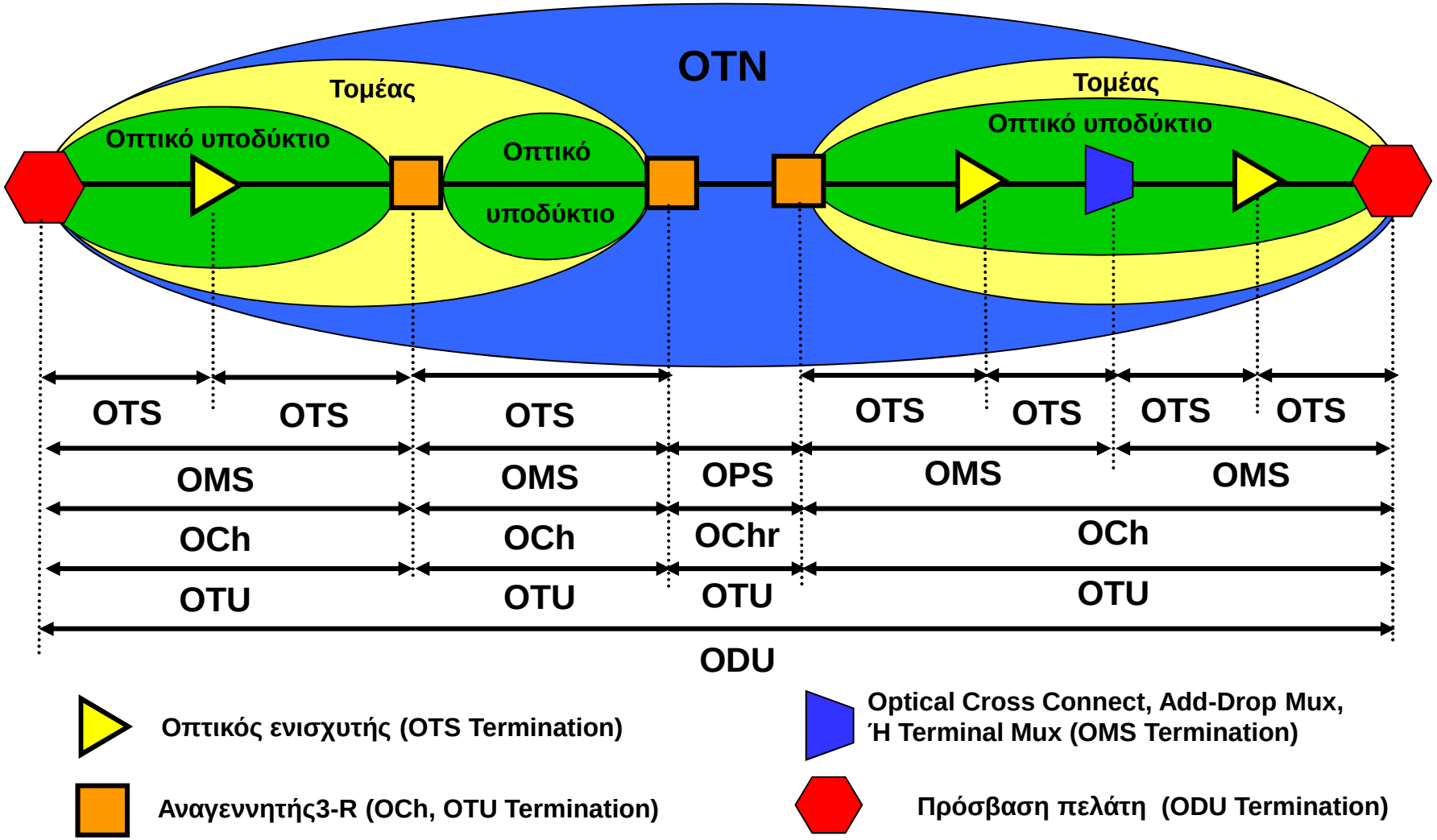
- Το OTN παρέχει έξι διαδοχικούς μηχανισμούς ελέγχου απόδοσης.
- Μεγάλη χρησιμότητα όταν το σήμα μεταφέρεται από διαφορετικά δίκτυα, ή από δίκτυα που κάνουν διάκριση υπηρεσιών.
- Μπορεί να γίνει έλεγχος της ποιότητας κάθε ξεχωριστού δικτύου, αλλά και της όλης σύνδεσης.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει αν η παρεχόμενη υπηρεσία ικανοποιεί το σχετικό SLA.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ιεραρχικά, σειριακά η και με τους δύο τρόπους.

Τομείς έλεγχου απόδοσης

PM, TCM1, TCM2, TCM3, TCM4 είναι τα πεδία του ODU που χρησιμοποιούνται

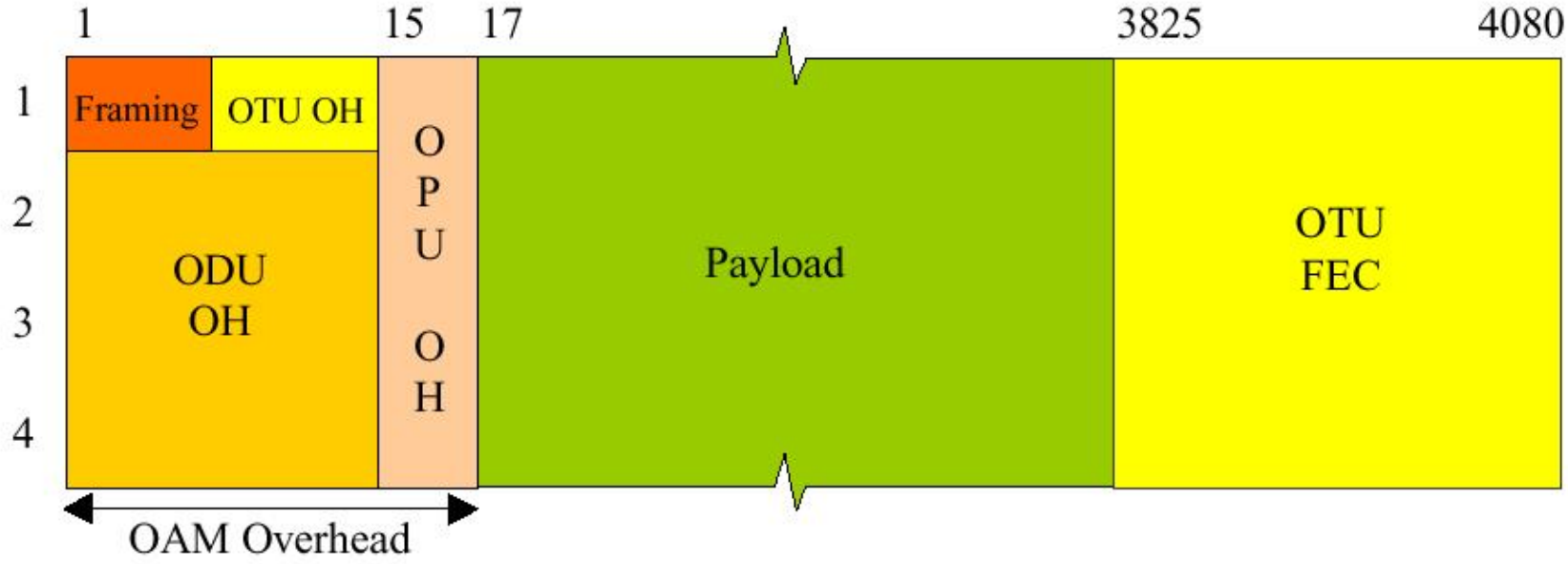


Δίκτυο OTN

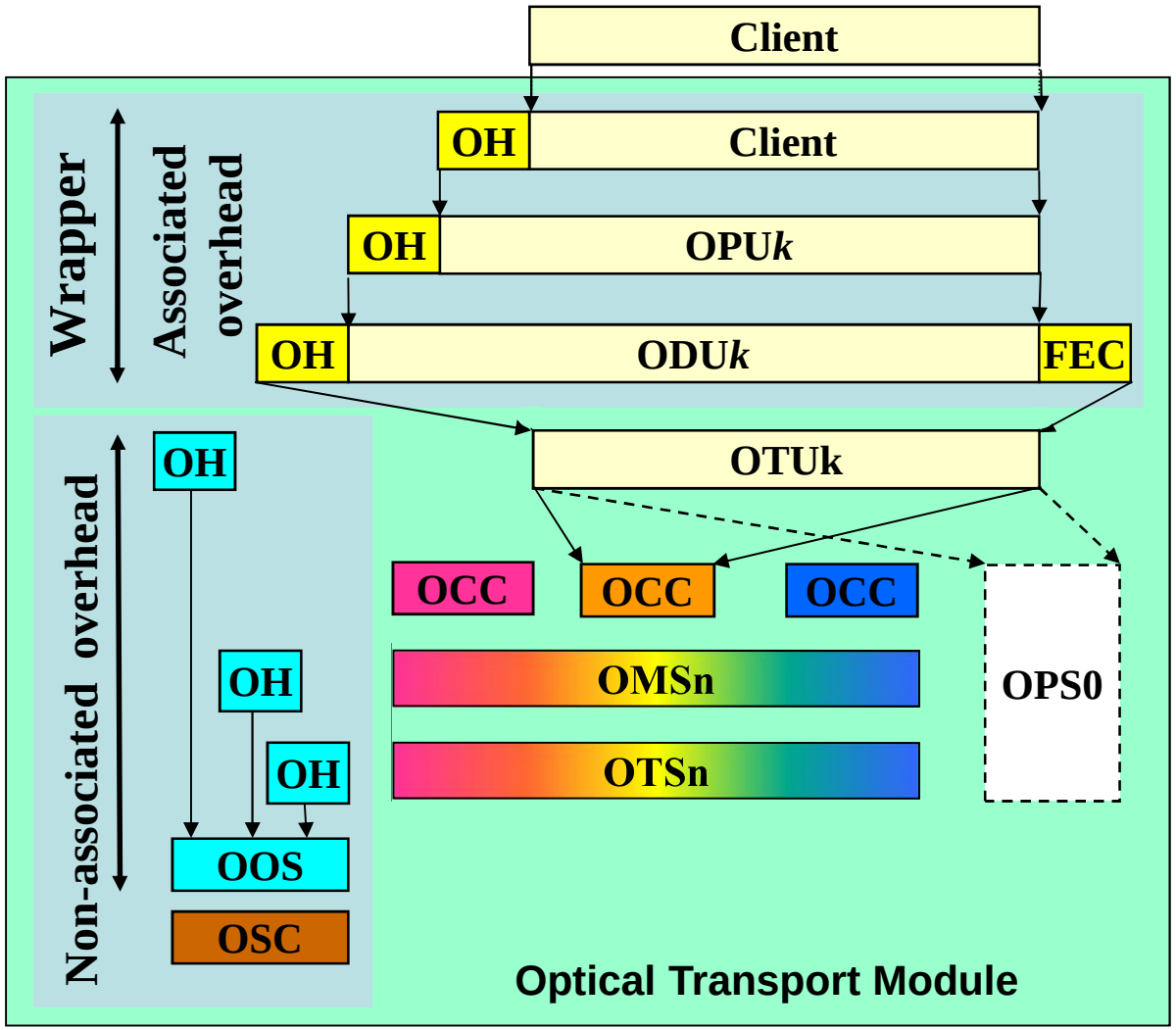

OTN
Τομέας
Οπτικό υποδύκτιο
Οπτικό
υποδύκτιο
Τομέας
Οπτικό υποδύκτιο
OTS
OTS
OTS
OTS
OTS
OTS
OTS
OMS
OMS
OPS
OMS
OMS
OCh
OCh
OChr
OCh
OTU
OTU
OTU
OTU
ODU
Οπτικός ενισχυτής (OTS Termination)
Optical Cross Connect, Add-Drop Mux,
Ή Terminal Mux (OMS Termination)
Αναγεννητής3-R (OCh, OTU Termination)
Πρόσβαση πελάτη (ODU Termination)

Το πλαίσιο του OTN

- OPU: Optical Channel Payload Unit
- ODU: Optical Channel Data Unit
- OTU: Optical Channel Transport Unit
- FEC: Forward Error Correction



Επίπεδα του OTN



OCh Payload Unit (OPUk)

OCh Data Unit (ODUk)

OCh Transport Unit (OTUk)

Optical Channel (OCh)

Optical Channel Carrier (OCC)

Optical Multiplex Section

Optical Transmission Section

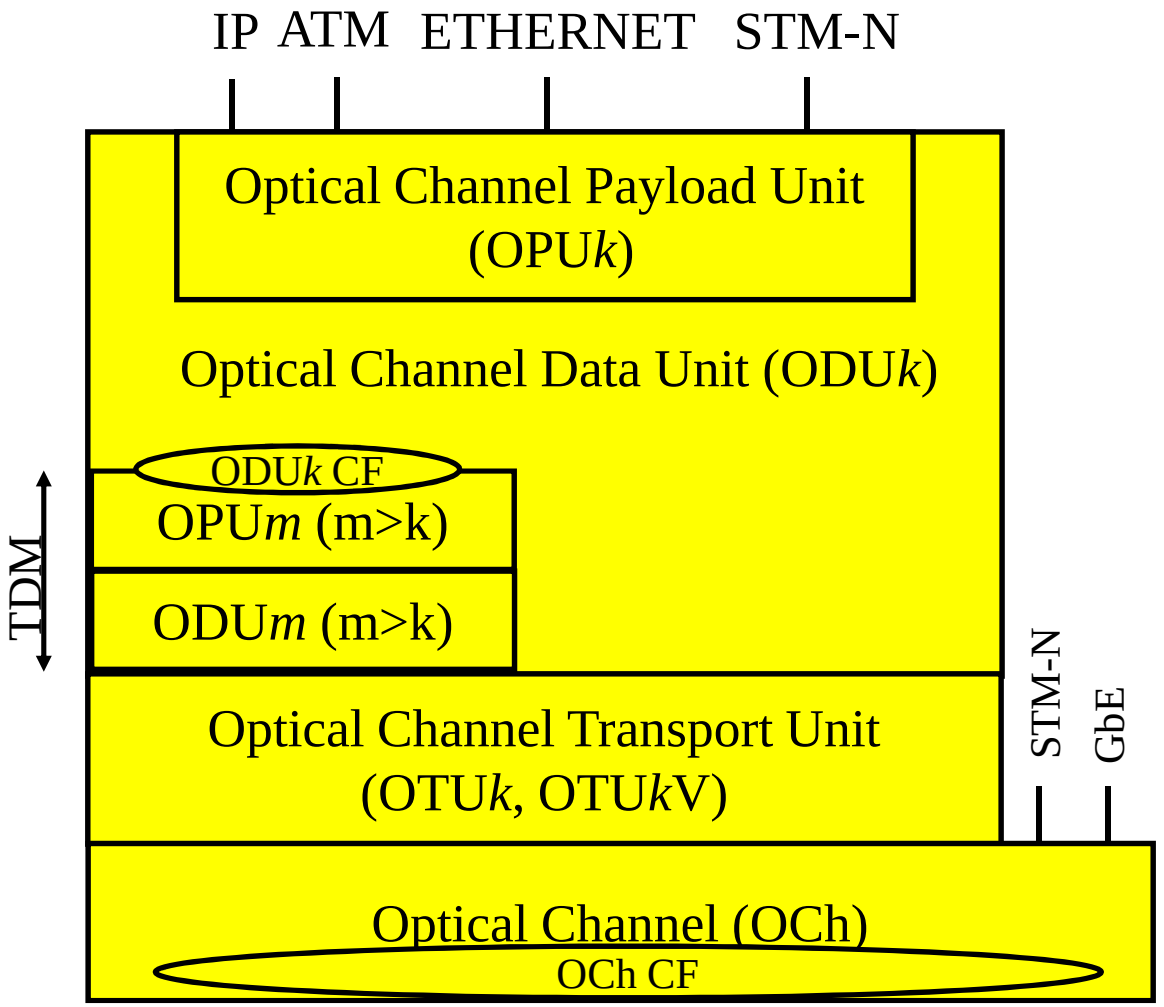
OTM Overhead Signal

Optical Supervisory Channel

Optical Physical Section

Επίπεδα του OTN

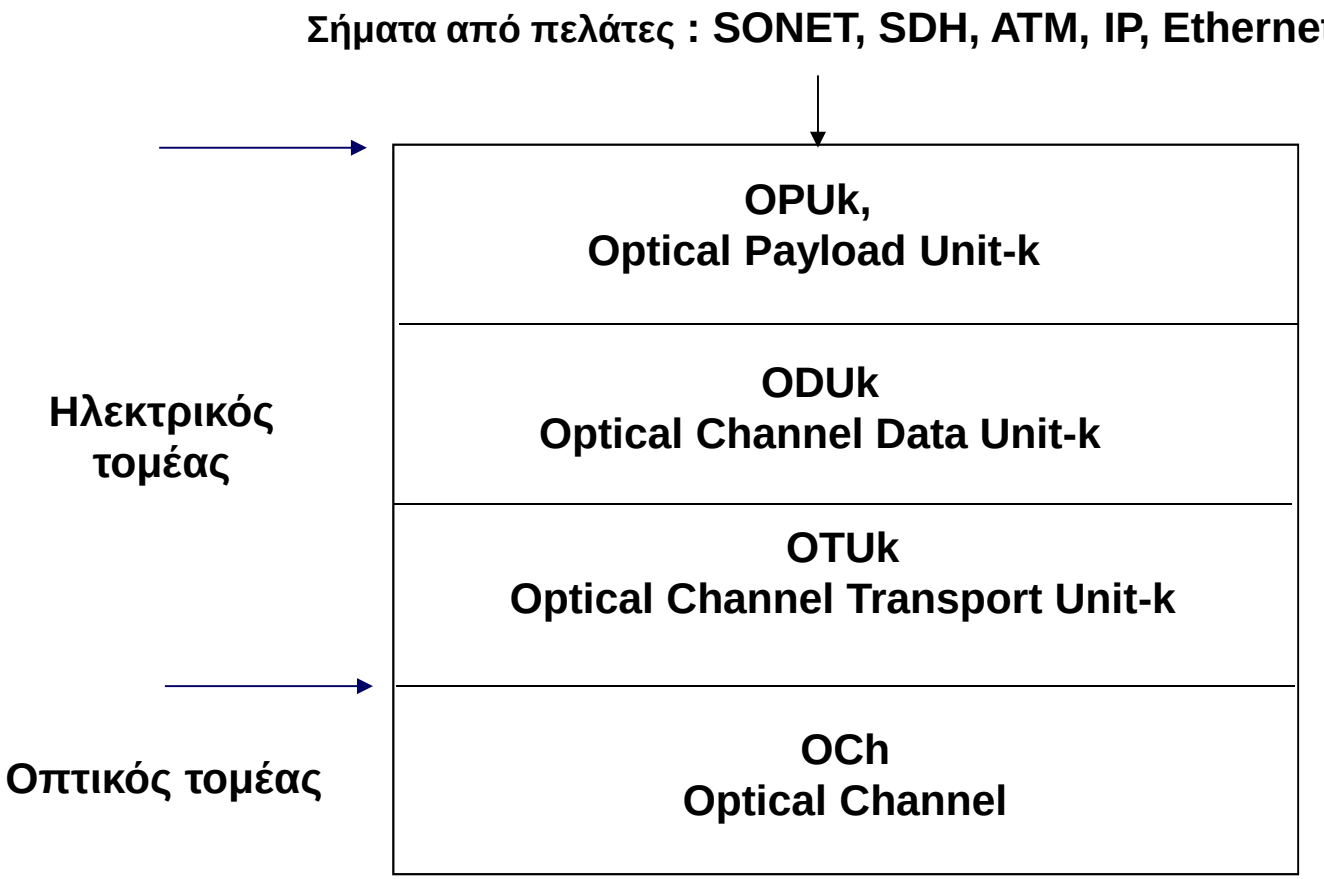
- Optical Channel layer network consists of 3+1 structures:
  - Digital (ηλεκτρονικό):
    - OCh Data Unit (ODU*k*)
    - OCh Payload Unit (OPU*k*, k=1,2,3)
    - OCh Transport Unit (OTU*k*, OTUkV)
  - Analogue (οπτικό) : OCh
- Multiplexing (TDM)
  - ODU*k* multiplexing
- ODUk virtual concatenation



CF: Connection Function

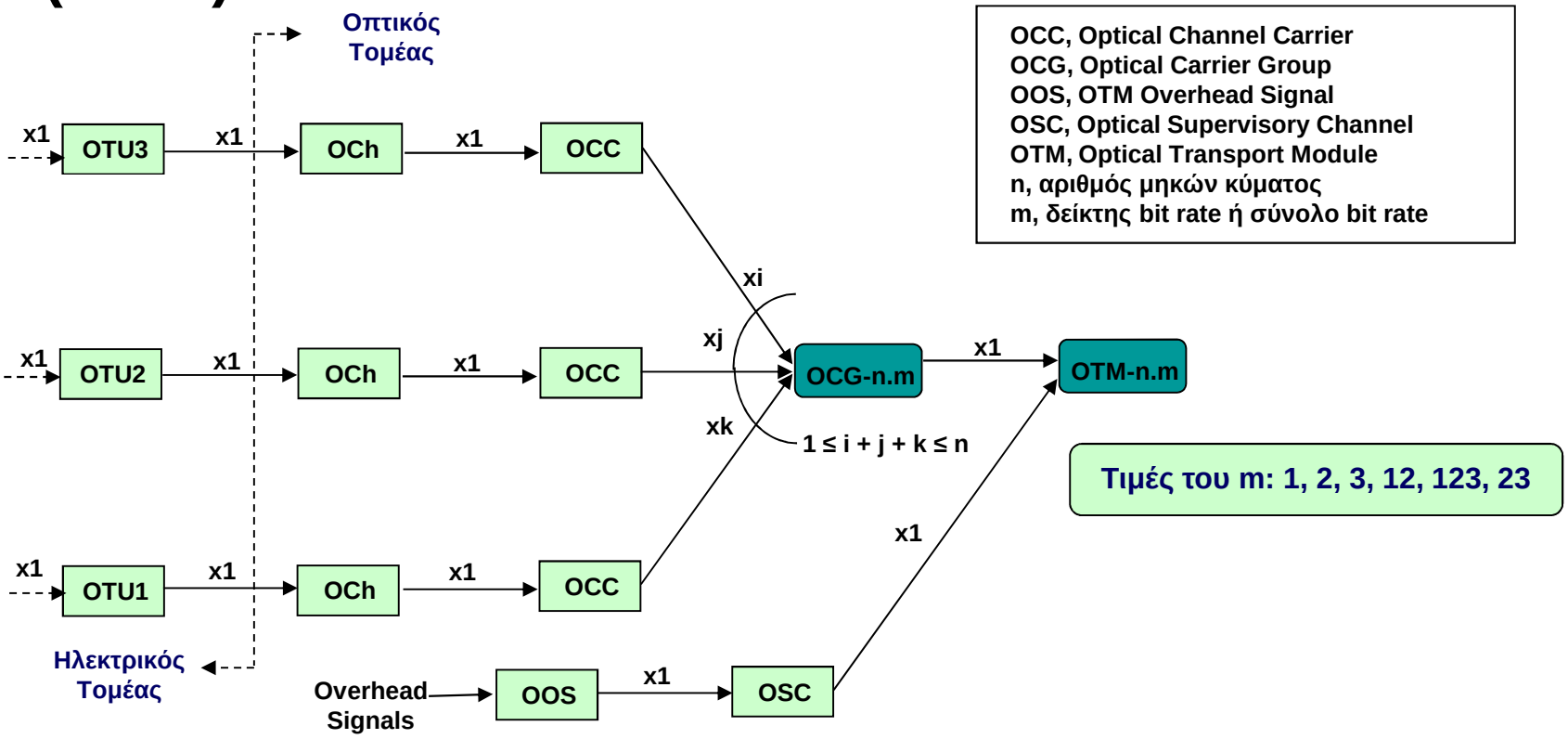
Επίπεδα του OTN – Απλοποίηση

- Δεν θα ασχοληθούμε με όλα τα επίπεδα, και έτσι έχουμε την απλοποιημένη μορφή με 4 στρώματα



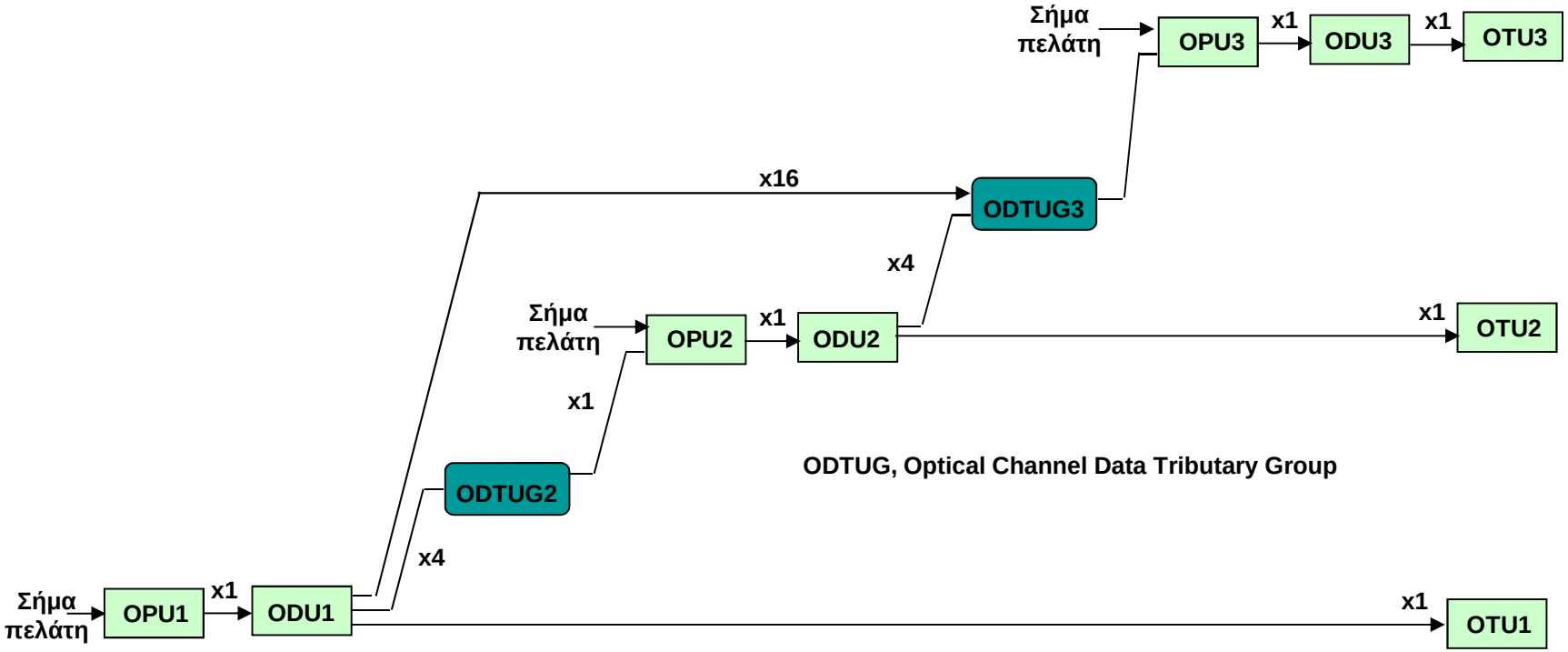
Πολυπλεξία OTN

- Το OTU γίνεται στο οπτικό επίπεδο (μετάδοση μεταγωγή) OCh και μετέπειτα σε OCC τα οποία μπορούν να πολυπλεχτούν σε Optical Carrier Group (WDM)



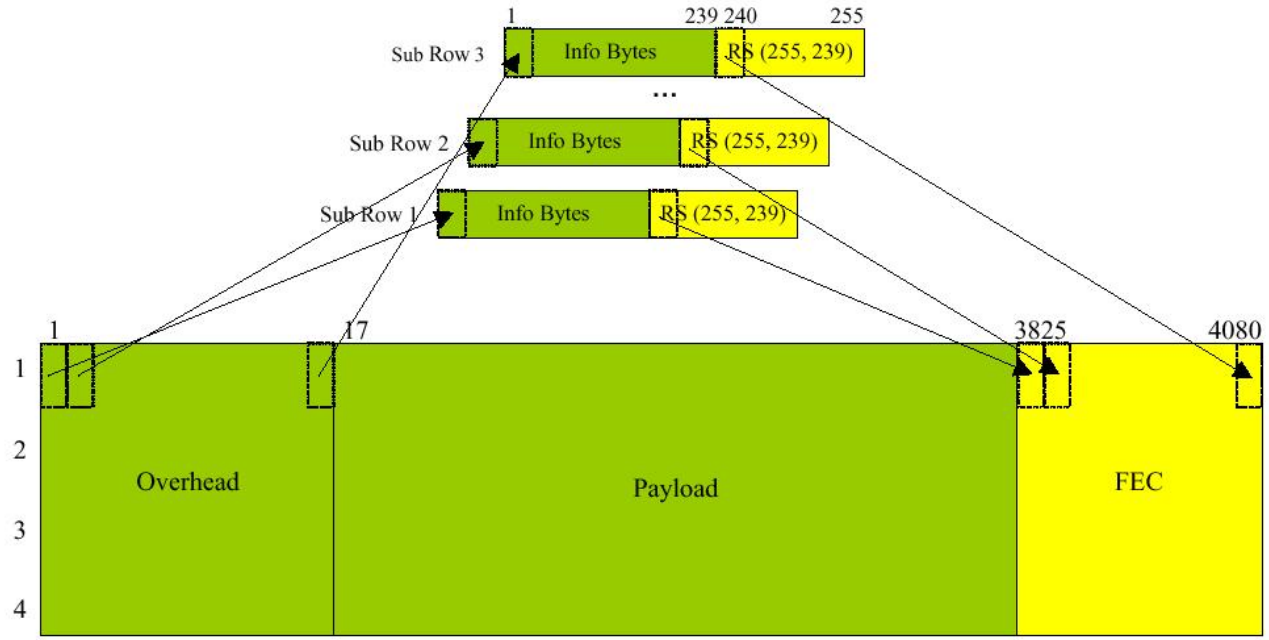
Πολυπλεξία OTN

- Τα ODU μπορούν να πολυπλεχτούν για να σχηματίσουν σήματα μεγαλύτερης τάξης.
  - ODU1 και ODU2 μπορούν να συνυπάρχουν μέσα σε ένα ODTUG3 (π.χ. 8 ODU1 και 2 ODU2)



Πολυπλεξία των FEC

- Επιτρέπει την διόρθωση σφαλμάτων με συνολική επιβάρυνση το 1/16 του ρυθμού μετάδοσης.
- Επιτρέπει την διόρθωση πολλών συνεχόμενων λαθών
  - Κάθε RS (255,239) κώδικας διορθώνει μέχρι 8 σφάλματα
  - Μπορούν να διορθωθούν τουλάχιστον 505 συνεχόμενα λάθη



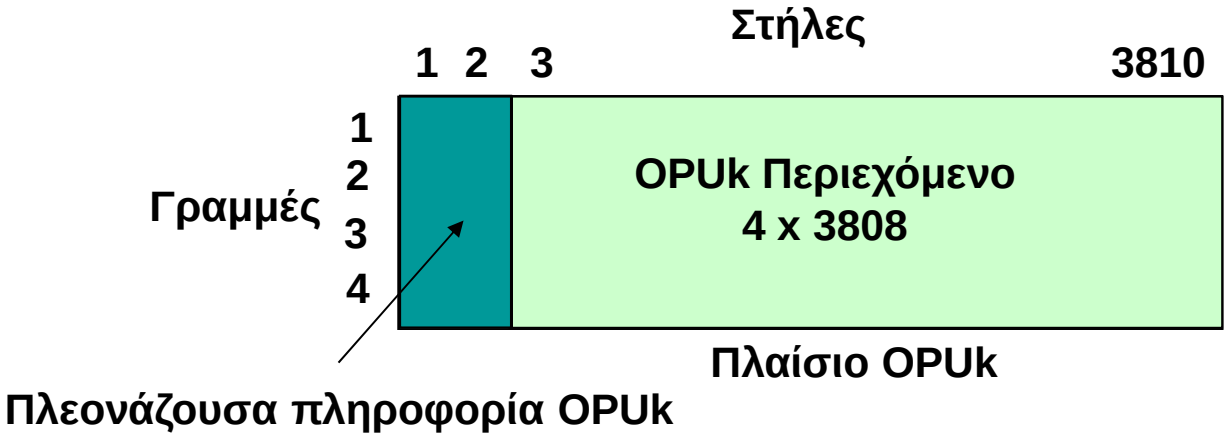
Ρυθμοί μετάδοσης OTN

G.709 Interface	Line Rate	Corresponding SONET/SDH Rate	Line Rate
OTU-1	2.666 Gbps	OC-48/STM-16	2.488 Gbps
OTU-2	10.709 Gbps	OC-192/STM-64	9.953 Gbps
OTU-3	43.018 Gbps	OC-768/STM-256	39.813 Gbps

- **Στην πράξη χρησιμοποιείται ένας ακόμα ρυθμός μετάδοσης, που δεν περιλαμβάνεται στο πρότυπο, για το 10 Gigabit Ethernet LAN. Η δομή είναι η ίδια, και ο ρυθμός μετάδοσης βρίσκεται στα 11.095Gbps.**
- **Δεν υπάρχει άμεση σχέση με το πλαίσιο του SONET/SDH**
  - **ένα OC-192 (STM-64) μεταφέρεται από περίπου ένα OTU-2.**

Πλεονάζουσα πληροφορία OPU

- Το πλαίσιο OPU αποτελείται από 4 γραμμές και από 3810 στήλες
- Οι πρώτες δύο στήλες χρησιμοποιούνται για πλεονάζουσα πληροφορία



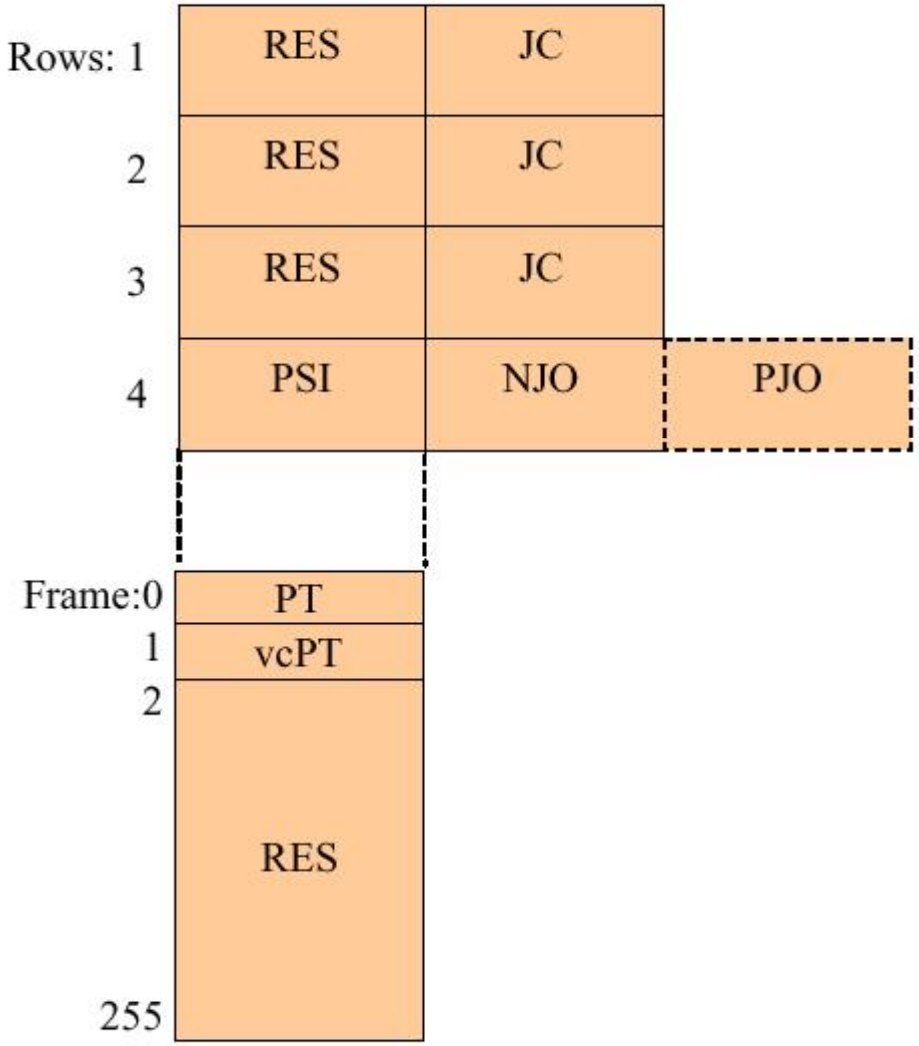
OPUk	OPUk Payload nominal bit rate	OPUk Period
1	2,488,320,000 bits/s	48.971 μs
2	9,995,276,962 bits/s	12.191 μs
3	40,150,519,322 bits/s	3.305 μs

Πλεονάζουσα πληροφορία OPU

- **JC Justification control**
  - Χρειάζονται για συγχρονισμό
  - Επαναλαμβάνεται για ασφάλεια τρεις φορές
  - 2 από τα τρία αρκούν
    - PJO positive justification opportunity
    - NJO negative justification opportunity

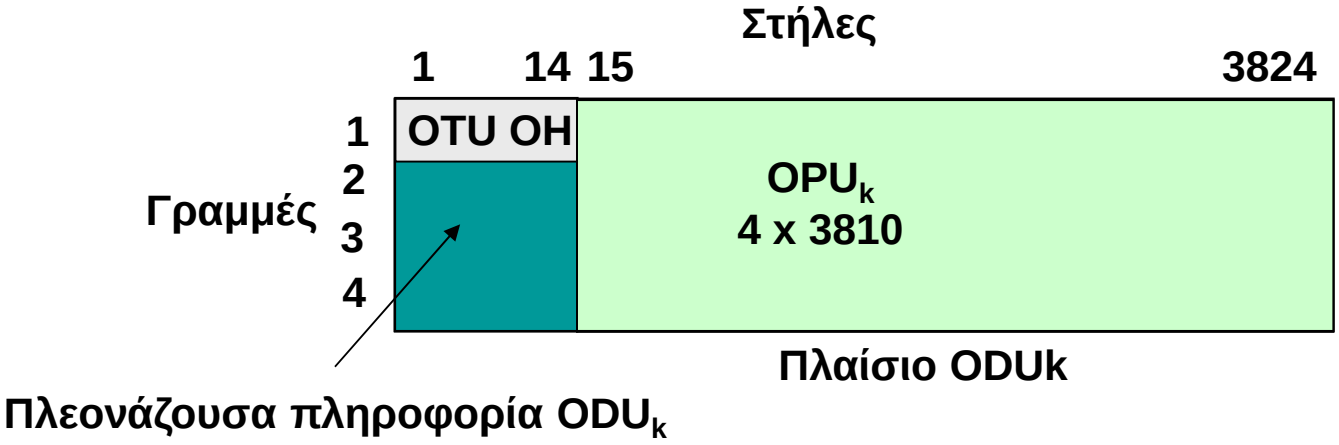
- **PSI Payload structure identifier**
  - PT payload type
  - Υποστηρίζει virtual concatenation (PT, VcPT=payload type)

Πλεονάζουσα πληροφορία OPU



Πλεονάζουσα πληροφορία ODU

- Το πλαίσιο του ODU αποτελείται από 4 γραμμές και από 3824 στήλες
- Οι πρώτες 14 στήλες των γραμμών 2-4 χρησιμοποιούνται για πλεονάζουσα πληροφορία

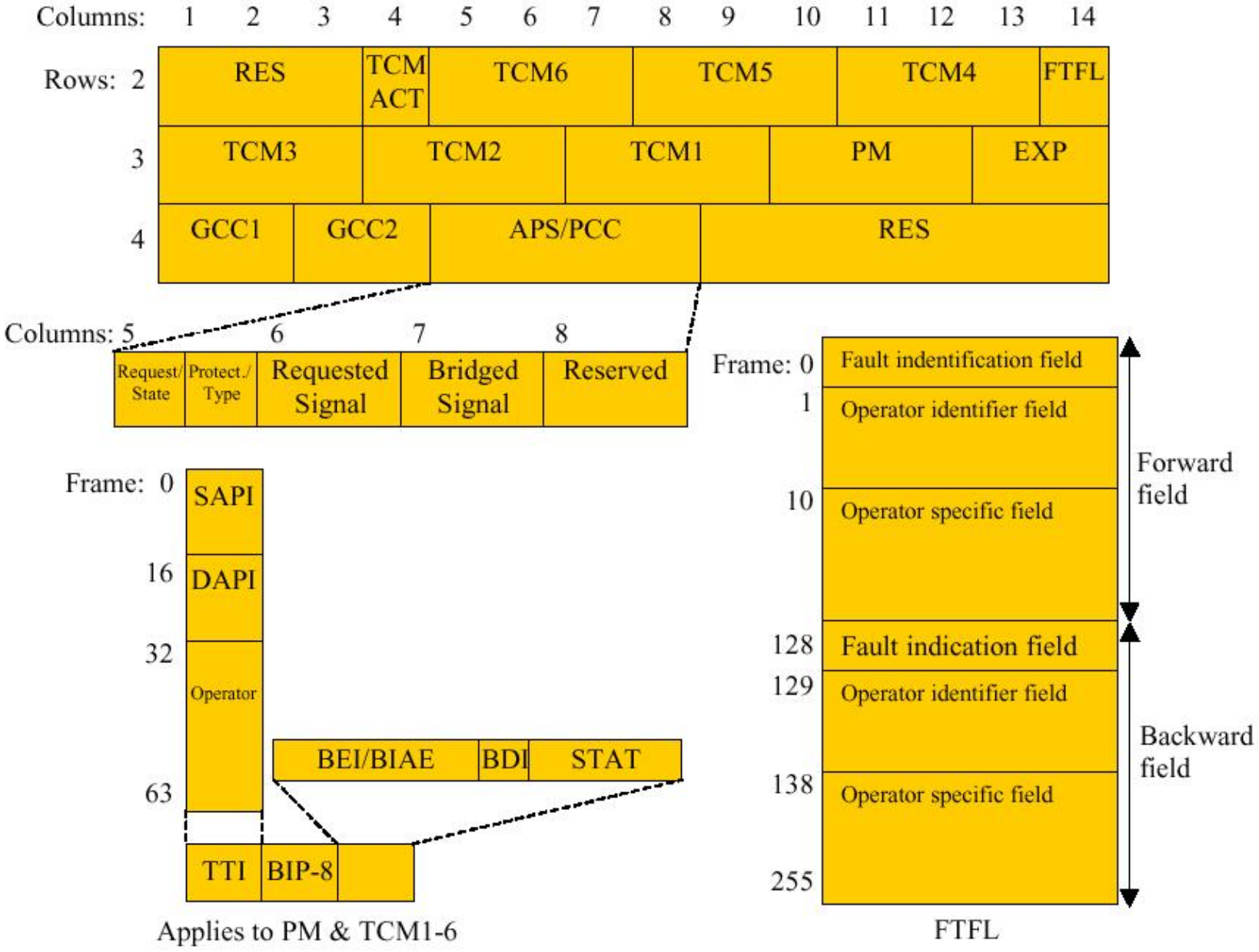


ODU$_k$	ODU$_k$ Payload nominal bit rate
K = 1	2,498,775,126 bits/s
K = 2	10,037,273,924 bits/s
K = 3	40,319,218,983 bits/s

Πλεονάζουσα πληροφορία ODU

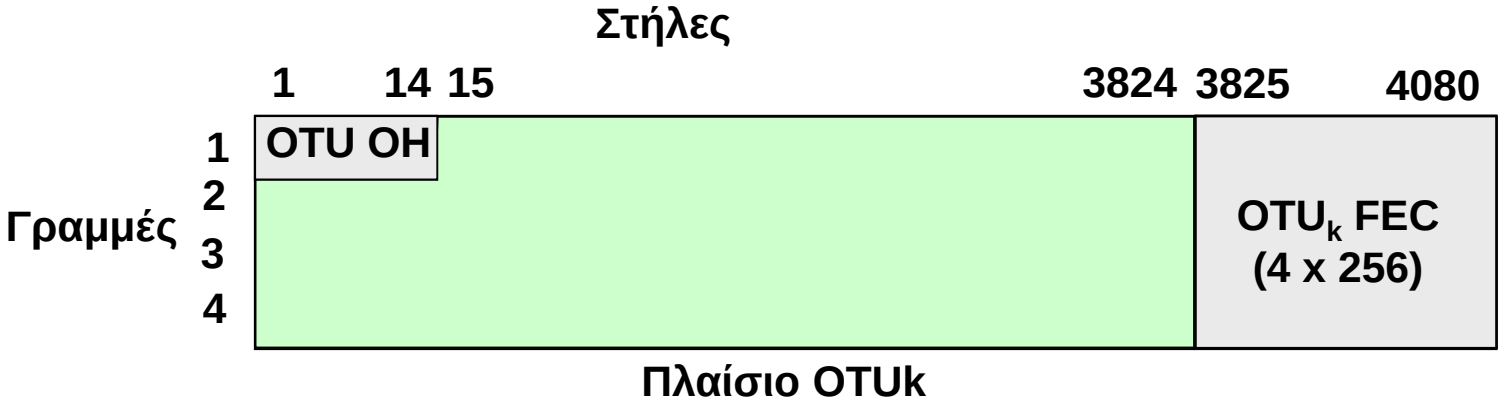
- TCM, Tandem Connection Monitoring
  - Έλεγχος απόδοσης
- TCM ACT, TCM activation
- PM, Path monitoring
- APS/PCC Automatic protection switching/protection communication channel
- FTFL fault type, fault location
  - Αποτελείται από 256 byte στο multi-frame

Πλεονάζουσα πληροφορία ODU



Πλεονάζουσα πληροφορία OTU

- Το πλαίσιο του OTU αποτελείται από 4 γραμμές και από 4080 στήλες
- Τα πρώτα 14 στοιχεία της πρώτης γραμμής αποτελούν την πλεονάζουσα πληροφορία του OTU

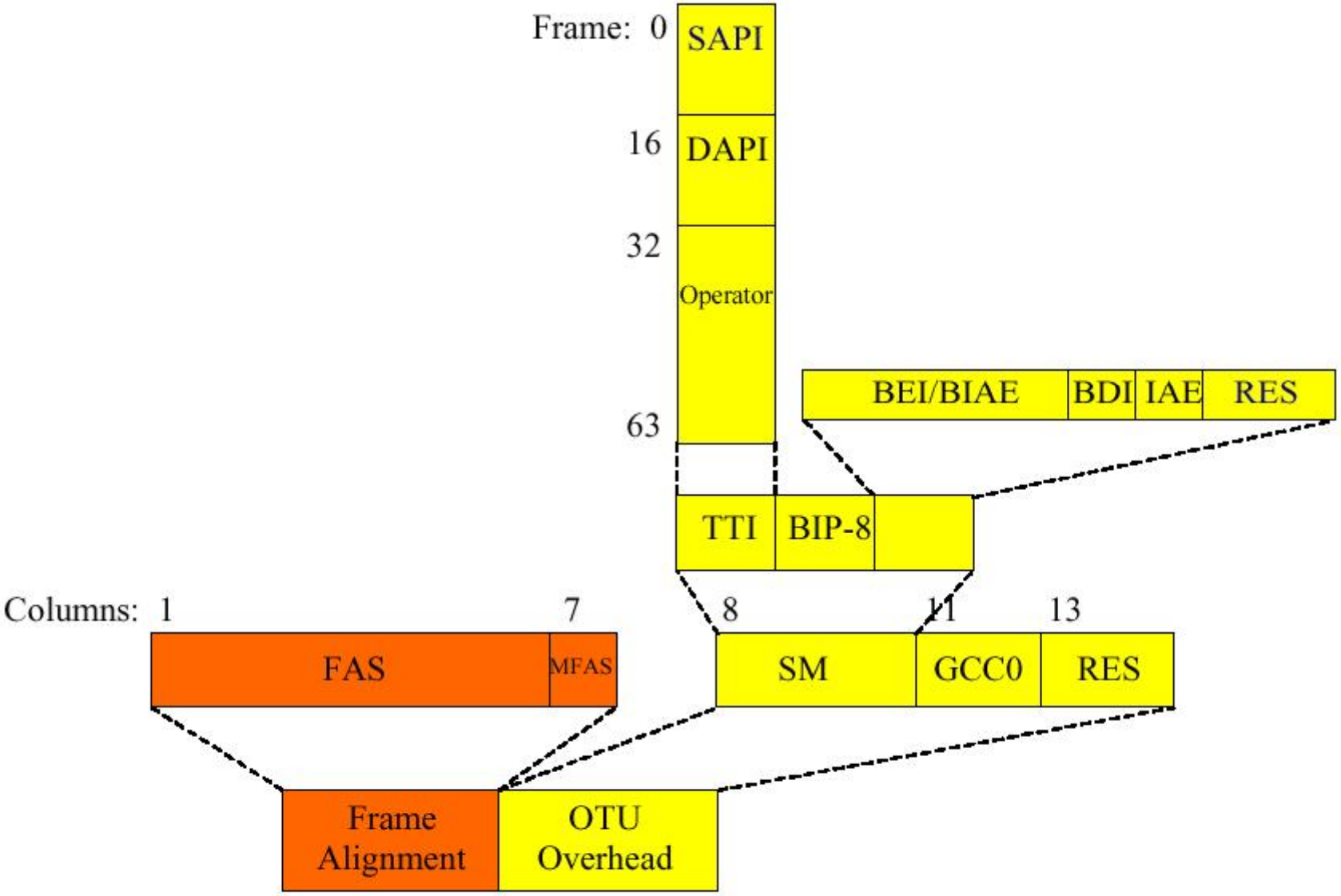


OTU_k	OTU_k Payload nominal bit rate
K = 1	2,666,057,123 bits/s
K = 2	10,709,225,316 bits/s
K = 3	43,018,413,513 bits/s

Πλεονάζουσα πληροφορία OTU

- FAS, Frame Alignment signal, περιέχει την τιμή 0xf6f6f6282828
- MFAS, Multi-Frame Alignment Signal, μετρητής από 0 –255 που χρησιμοποιείται για να συναρμολογηθούν τα μεγαλύτερα πεδία.
- SM, Section Monitoring
- TTI, Trail Trace Identifier
  - Αποτελείται από πολλά διαδοχικά TTI στο multi-frame
  - SAPI, DAPI {Source, Destination} Access Point Identifiers
- GCC0, General Communications Channel

Πλεονάζουσα πληροφορία OTU



Ενδείξεις σφάλματος

- Οι κύριες ενδείξεις σφάλματος αναφέρονται στην πλαισίωση
  - Out of Frame (OOF),
  - Loss of Frame (LOF),
  - Out of Multiframe (OOM), και
  - Loss of Multi-frame (LMF)
- Εντοπίζονται με χρήση της πλεονάζουσας πληροφορίας.
- OOF έχουμε αν αποτύχει ο συγχρονισμός του πλαισίου (με χρήση των byte 3, 4, και 5 του FAS) για πέντε συνεχόμενα πλαίσια.
- Παρομοίως, OOM έχουμε όταν το MFAS είναι εκτός ακολουθίας για πέντε συνεχόμενα πλαίσια.
- LOF και LOM έχουμε όταν τα αντίστοιχα OOF και OOM συνεχίζουν για περισσότερο από 3 ms.

Ενδείξεις σφάλματος

- Trace Identifier Mismatch (TIM) όταν το SAPI ή το DAPI του TTI δεν αντιστοιχούν στις αναμενόμενες τιμές.
- Payload Mismatch (PLM) όταν το PT δεν είναι το αναμενόμενο.
- AIS (Alarm Indication Signal)
  - Η πλεονάζουσα πληροφορία του ODU γίνεται όλη «1», εκτός από το FTFL στο ODU, ή μια συγκεκριμένη ακολουθία αντικαθιστά 2047 bit αποκαλούμενη PN-11 ολόκληρο το OTU πλαίσιο.
- Locked defect (LCK)
  - Ενεργοποιείται από το διαχειριστή για να πραγματοποιήσει εξωτερικούς ελέγχους. Εναλλασσόμενα «1» και «0» αντικαθιστούν τα ODU, OPU, και το φορτίο.
- Open Connection Indication (OCI).
  - Μια ακολουθία από επαναλαμβανόμενα «01100110» αντικαθιστά τα ODU, OPU, και το φορτίο

Επιπρόσθετος έλεγχος σφαλμάτων

- Τα ODU SM, ODU PM, και ODU TCMi περιέχουν πεδία BIP-8 και BEI.
- Τα BIP-8 είναι bit ελέγχου σφαλμάτων. Η τιμή τους υπολογίζεται πριν το FEC κατά την μετάδοση, και μετά κατά την λήψη.
- Κάθε BIP-8 επιτρέπει την αναγνώριση σφαλμάτων 8 bit σε κάθε 15,240 byte που αντιστοιχεί σε BER $6.56X10^{-5}$.
- Το πεδίο BEI χρησιμοποιείται για την αναφορά προς τα πίσω των σφαλμάτων που εντοπίστηκαν από το BIP-8.

Χαρακτηριστικά

- **Περιληπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του OTN σε σύγκριση με το NG-SONET**

Χαρακτηριστικό	NG-SONET	OTN
Virtual Concatenation	Ναι (STS & VT)	Ναι
Link Capacity Adjustment Scheme	Ναι	Ναι
Generic Framing Procedure	Ναι	Ναι
Έλεγχος απόδοσης	1 κανάλι	6 κανάλια
Διόρθωση σφαλμάτων	Μόνο έλεγχος	Ναι
Μεταφορά 10 Gbit/s	Ναι	Ναι

ASON
Automatically Switched Optical Network
(Εισαγωγή)

Automatically Switched Optical Network

- **Δυναμικό σύστημα ελέγχου δικτύων OTN (SDH/SONET) που βασίζεται στην σηματοδοσία μέσω ενός κατανεμημένου επιπέδου-ελέγχου (CP) για αυτόματη και δυναμική πραγματοποίηση συνδέσεων. Αυτό επιτρέπει την :**
  - **Βελτιωμένη υποστήριξη παροχής συνδέσεων απ' άκρο σε άκρο (end-to-end provisioning), αναδρομολόγησης και αποκατάστασης.**
  - **Νέες υπηρεσίες μεταφοράς, όπως:**
    - **bandwidth on demand**
    - **Γρήγορη αποκατάσταση υπηρεσιών,**
    - **Ιδιωτικά δίκτυα με δυνατότητες μεταγωγής κλπ.**
  - **Υποστηρίζει μεγάλο αριθμό μεθόδων διασύνδεσης πελατών:**
    - **SDH/SONET**
    - **IP**
    - **Ethernet**
    - **ATM**

Ιστορικό

- Η ανάπτυξη του ASON ξεκίνησε για να ικανοποιήσει την ανάγκη των μελών της ITU για πλήρη ορισμό της λειτουργίας των αυτόματα μεταγόμενων δικτύων μεταφοράς σε όλα τα επίπεδα.
- Το ASON δεν είναι ένα πρωτόκολλο ή μια συλλογή από πρωτόκολλα. Είναι μια αρχιτεκτονική που ορίζει τα μέρη του επίπεδου ελέγχου του οπτικού δικτύου και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους.
- Εντοπίζει τα σημεία (διεπαφές) που χρειάζεται επικοινωνία μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών, οπότε και χρειάζονται τυποποιημένα πρωτόκολλα.
- Στα υπόλοιπα σημεία δεν υπάρχει τυποποίηση έτσι ώστε οι κατασκευαστές να μπορούν να παρέχουν πρόσθετες δυνατότητες και να διαφοροποιούν τα προϊόντα τους.

Χαρακτηριστικά

- Το ASON βασίζεται σε έννοιες από προϋπάρχοντα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεταφοράς, όπως τα SONET/SDH, SS7 και ATM.
- Ως γενικευμένη αρχιτεκτονική αναφοράς, το ASON σχεδιάστηκε να είναι πλήρες, χρήσιμο για αρκετά χρόνια, επεκτάσιμο, και εξαιρετικά ανθεκτικό σε σφάλματα.
- Απευθύνεται σε δίκτυα μεταφοράς, τα οποία έχουν υψηλό λειτουργικό κόστος.
- Όπως σε κάθε βιομηχανικέ δραστηριότητα, σκοπός είναι η προσθήκη αυτοματισμού να επιτρέψει την διεκπεραίωση των ίδιων λειτουργιών με χαμηλότερο κόστος.

Πρότυπα

- **Πληροφοριακά, τα βασικά πρότυπα της ITU που σχετίζονται με το ASON είναι τα ακόλουθα:**
  - **Architecture for Automatically Switched Optical Networks (G.8080).**
  - **Distributed Call and Connection Control (G.7713), που ασχολείται με την σηματοδοσία.**
  - **Architecture and Requirements for Routing in the Automatic Switched Optical Networks (G.7715).**
  - **Generalized Automated Discovery Techniques (G.7714).**
- **Διάφορα πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται με το ASON:**
  - **Σηματοδοσία βασισμένη στο PNNI (G.7713.1)**
  - **Γενικευμένη σηματοδοσία βασισμένη στο RSVP-TE (G.7713.2)**
  - **Γενικευμένη σηματοδοσία βασισμένη στο CR-LDP (G.7713.3)**
  - **Πρωτόκολλο για ανακάλυψη γειτόνων σε δίκτυα SONET/SDH και OTN (G.7714.1).**

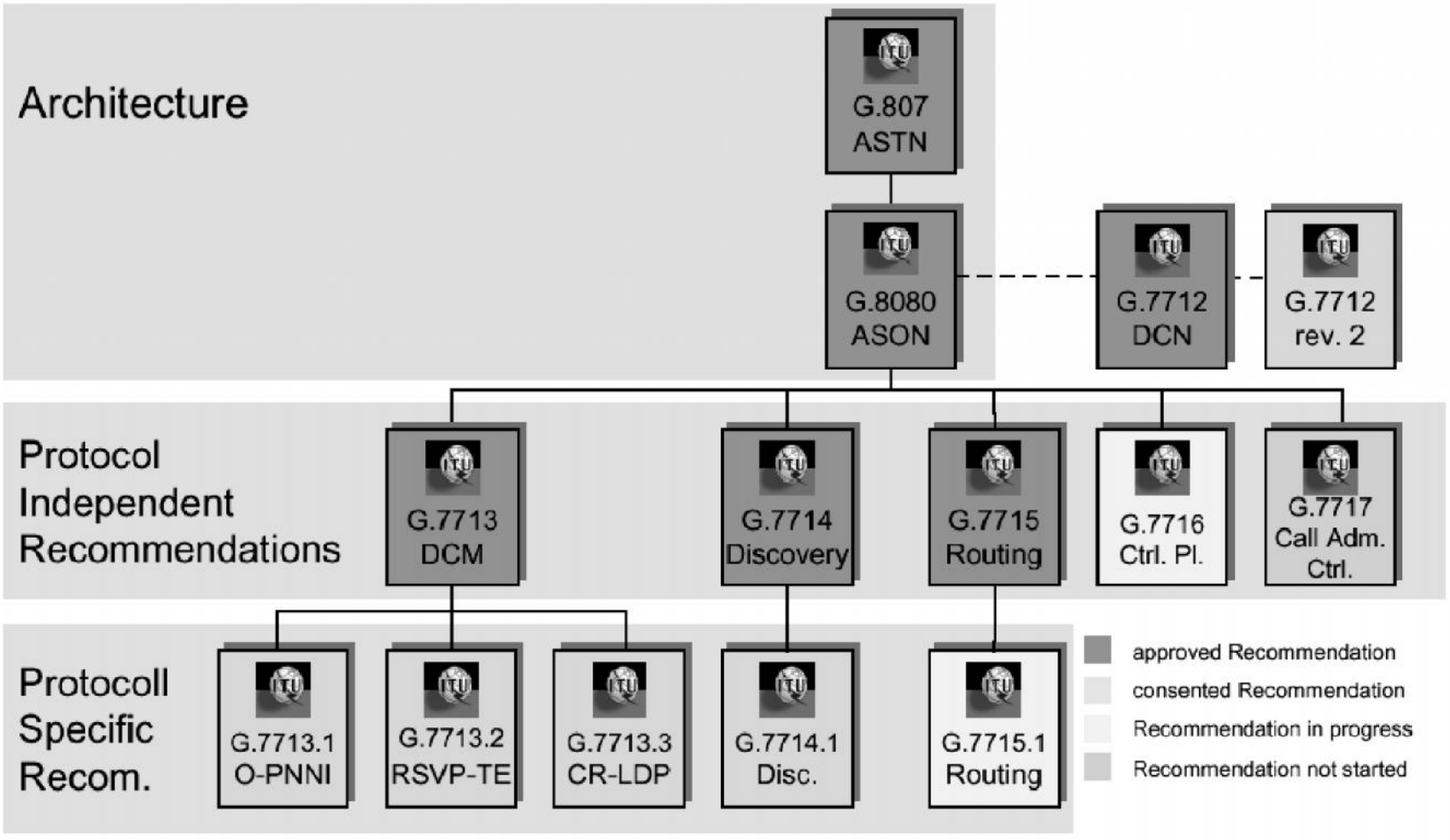
Το ASON ως πλευρά του ASTN

- Το «Automatic switched transport network (ASTN)» είναι ένα δίκτυο μεταφοράς (transport network), όπου η δημιουργία και η διαχείριση συνδέσεων πραγματοποιείται μέσω ενός επιπέδου ελέγχου (CP, G.807).

- Το ASTN είναι ανεξάρτητο τεχνολογίας μεταφοράς (το ASON αφορά σε οπτικά δίκτυα).

- Το ASON είναι τμήμα του ASTN.

Πρότυπα


Architecture
G.807 ASTN
G.8080 ASON
G.7712 DCN
G.7712 rev. 2
Protocol Independent Recommendations
G.7713 DCM
G.7714 Discovery
G.7715 Routing
G.7716 Ctrl. Pl.
G.7717 Call Adm. Ctrl.
Protocoll Specific Recom.
G.7713.1 O-PNNI
G.7713.2 RSVP-TE
G.7713.3 CR-LDP
G.7714.1 Disc.
G.7715.1 Routing
approved Recommendation
consented Recommendation
Recommendation in progress
Recommendation not started

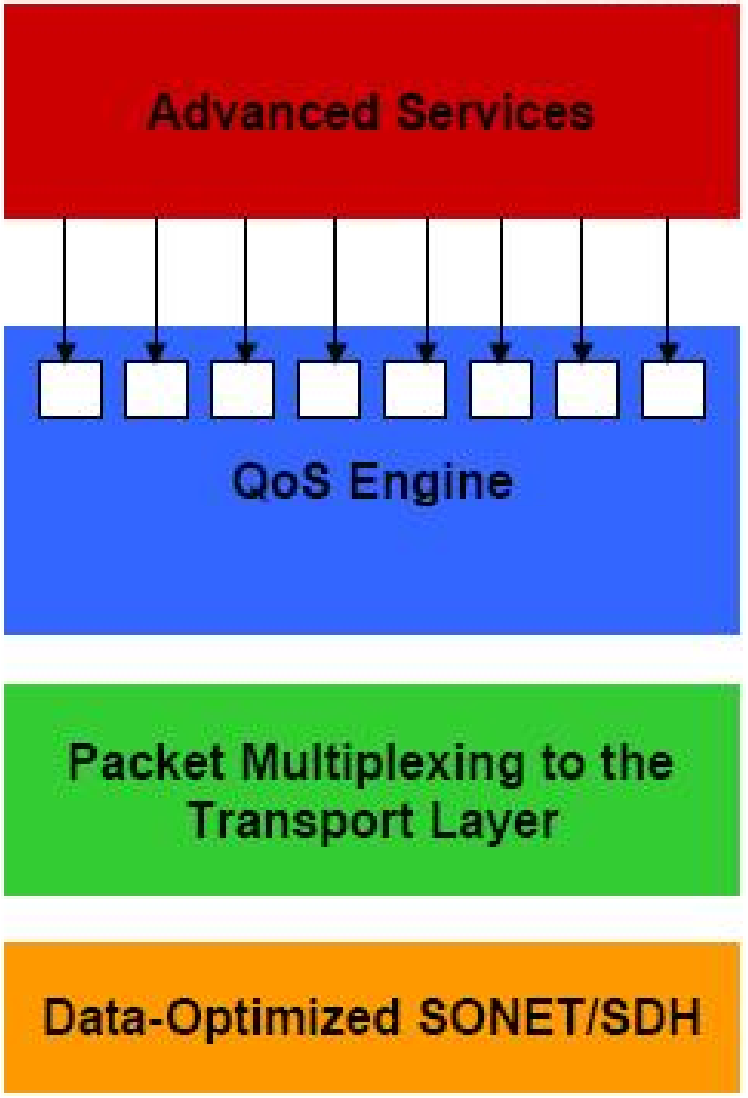
Συνεργία πολλών επιπέδων

Deploying advanced services is key to profitability
Ethernet, Video, VoIP, and SAN Interconnect key service needs

QoS is necessary for advanced services and providing SLAs

Packet Multiplexing is crucial for network efficiency and scalability

SONET/SDH will need to become more efficient. GFP, CCAT, VCAT, and LCAS all offer incremental improvements



Γιατί ASON

		Cost Effective	Time to Provision	Length of Service
SONET	1988	$$$$	6 months	6 Years
Automated Switched Intelligent Optical Network	1999	$$$	6 Days	6 Months
	2000	$$	6 Minutes	6 Days
	2001	$	Real Time	Real Time

Πλεονεκτήματα από τη χρήση ASON

- Γρήγορη παροχή συνδέσεων
- Νέες υπηρεσίες
- Ευκολότερη και φτηνότερη διαχείριση του δικτύου
- Επιπρόσθετοι μηχανισμοί αξιοπιστίας
- Οπτικά κανάλια με λιγότερους μετατροπείς (αναγεννητές) O/E/O

Γρήγορη παροχή συνδέσεων

- Οπτικά κανάλια μπορούν να δημιουργηθούν μέσα σε λίγα λεπτά.
- Οι πόροι του δικτύου μπορούν να διαχειριστούν αυτόματα ανάλογα με την μορφή της κυκλοφορίας
- Μειώνονται οι απαιτούμενες μη αυτοματοποιημένες εργασίες. Ημι-αυτόματη ρύθμιση των στοιχείων του δικτύου
- Σχεδόν ιδανική δρομολόγηση. Γρήγορη εγκατάσταση συνδέσεων που περνάνε από δίκτυα διαφορετικών παρόχων.

Νέες υπηρεσίες

- Ευκολία διαφοροποίησης των SLA για τις παρεχόμενες συνδέσεις
  - Ως προς το παρεχόμενο BER
  - Ως προς τη Διαθεσιμότητα (availability)
  - Ως προς την Ασφάλεια
  - Πρόσθετοι μηχανισμοί προστασίας και αποκατάστασης
- Εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (Virtual private networks-VPN)
- Υπηρεσίες που γίνονται εφικτές μέσα από «διαχείριση της κυκλοφορίας» π.χ. Load balancing

Νέες υπηρεσίες

- **Bandwidth on demand**
  - **Μακροχρόνιες συνδέσεις με SLAγια τον μέσο όρο του ρυθμού μετάδοσης**
  - **Βραχυχρόνιες συνδέσεις για τροποποιήσεις του ρυθμού μετάδοσης**
    - **Επιτρέπει την άμεση χρέωση των πελατών για την χρήση**
    - **Παράλληλα προσφέρει καλύτερη υπηρεσία στους πελάτες**
  - **Επιτρέπει την ευκαιριακή χρήση μεγάλων ρυθμών, π.χ. για βραδυνά back-up**
- **Τμηματική διαχείριση του δικτύου**
  - **Μεγαλύτερη ευελιξία**
    - **Κλειστές ομάδες με διαφορετική πρόσβαση**
    - **Πρόσθετη ασφάλεια**