

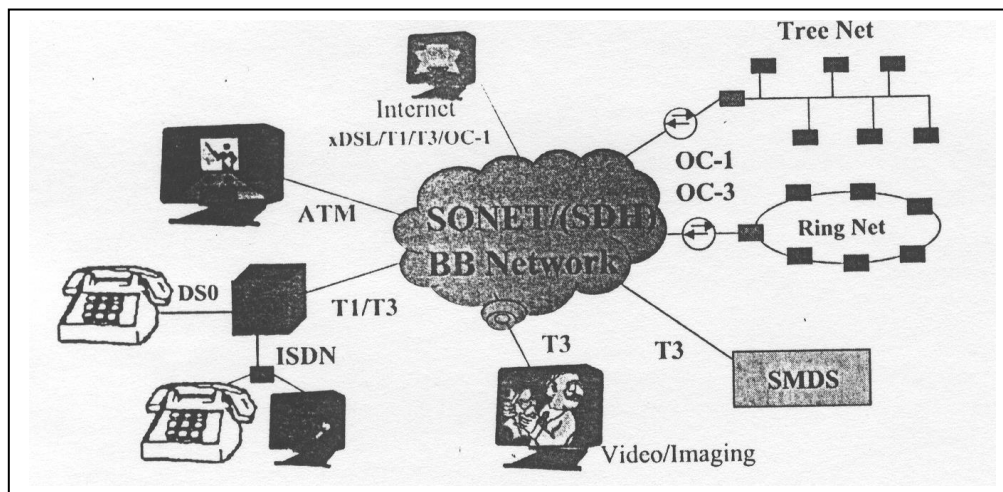
Κεφάλαιο 4:

Εισαγωγή στη Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (SDH)

4.0. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της οπτικής ίνας (optical fiber) σε ένα γρήγορο, οικονομικό μέσο μετάδοσης οδήγησε στο **SONET (Synchronous Optical Network)** καθιερωμένο στις ΗΠΑ και στο **SDH (Synchronous Digital Hierarchy)** στην Ευρώπη. Από το 1980, όπου πρωτοεμφανίστηκε η ίνα, το SONET και το SDH έχουν αντικαταστήσει σχεδόν όλα τα χάλκινα καλώδια με ίνες.

4.0.1 Τι είναι το SONET και το SDH;



Σχήμα 4.0.1 Υπηρεσίες SONET/SDH

- Τόσο το SONET όσο και το SDH είναι σύνολα διασυνδέσεων (interfaces) σε ένα οπτικό σύγχρονο δίκτυο. Το δίκτυο αποτελείται από στοιχεία (NE) τα οποία προσαρμόζονται (conform) σε αυτές τις διασυνδέσεις.

- Οι διασυνδέσεις SONET και SDH καθορίζουν όλα τα επίπεδα, από το φυσικό μέχρι το επίπεδο εφαρμογής.
- Το SONET και το SDH είναι σύγχρονα δίκτυα.

Τον τελευταίο καιρό, αναπτύσσονται συστήματα και δίκτυα τα οποία μεταφέρουν οποιοδήποτε τύπο πληροφορίας. Φωνή, δεδομένα εικόνας, το Διαδίκτυο (Internet), και δεδομένα από LANs, MANs, και WANs θα μεταφέρονται μέσω των δικτύων SONET και SDH (σχήμα 4.0.1).

4.1 Η αρχιτεκτονική Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας (SDH) των συστημάτων μετάδοσης, συνοπτικά.

4.1.1 Τι είναι η Πλησιόχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (PDH);

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 όλα τα συστήματα μεταγωγής και μετάδοσης ήταν αναλογικά. Σ' αυτή την περίοδο οι ειδικοί της μετάδοσης εργάζονταν στην παλμοκωδική διαμόρφωση (**pulse code modulation - PCM**) για το μετασχηματισμό των αναλογικών σημάτων ομιλίας σε ψηφιακές ροές bits. Στη συνέχεια, πολλά τέτοια bits (κανάλια) πολυπλέκονται σχηματίζοντας ένα σήμα με υψηλότερο ρυθμό. Ο βασικός στόχος τους ήταν να λύσουν το πρόβλημα των πολλών χάλκινων καλωδίων στους δρόμους και του λίγου χώρου για καινούργια. Χρησιμοποιώντας 4 χάλκινα καλώδια, μια ψηφιακή ροή μπορούσε να μεταδώσει πολλά σήματα ομιλίας με καλύτερη ποιότητα απ' ότι τα αναλογικά συστήματα. Έτσι, γύρω στο 1965 στο Holmdel στο New Jersey γεννήθηκε το Αμερικάνικο πρότυπο των 24 σημάτων ομιλίας που ήταν πολυπλεγμένα μαζί με ένα bit "πλαίσιασης" έτσι ώστε να σχηματίσουν ένα σήμα των 1,544 Mbit/s, που ονομάστηκε **DS-1 (digital stream)**. Κάθε σήμα ομιλίας χρειάζεται μια ροή 64 kbit/s. Αυτό είναι το προϊόν δειγματοληψίας των 8 KHZ (εξαιτίας του νόμου του Nyquist) και κωδικοποίησης 8 bit-ανά-δείγμα, μια επιλογή η οποία επιτρέπει στο σήμα ομιλίας να ανέχεται πολλαπλές μετατροπές από αναλογικό σε ψηφιακό και από ψηφιακό σε αναλογικό (A/D και D/A) που ήταν μία σημαντική απαίτηση για τον καιρό εκείνο. Το πρώτο αυτό επίπεδο πολυπλεξίας είναι γνωστό ως T1. Ο όρος T1 περιγράφει ένα σύστημα επαναλήπτη μετάδοσης πάνω από καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών αγωγών (ένα ζεύγος για εκπομπή και ένα για λήψη).

Λίγα χρόνια αργότερα γύρω στο 1968, οι Ευρωπαίοι επινόησαν ένα παρόμοιο πρότυπο με 30 κανάλια ομιλίας μαζί με ένα κανάλι για την πλαισίωση και ένα κανάλι για τη σηματοδότηση, με ένα συνολικό $32 \times 64 \text{ kbit/s} = 2,048 \text{ Mbit/s}$. Αυτό καλείται κοινώς E1 format.

4.1.2 Τι είναι η πλαισίωση;

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.2α η πλαισίωση είναι μια μέθοδος υπόδειξης από που αρχίζει το μέτρημα των καναλιών έτσι ώστε ο αποπολυπλέκτης να ξέρει ποιο είναι το κανάλι 1, 2 κ.λπ. Μια σειρά από bit που επαναλαμβάνεται σε κάθε πλαίσιο (8000 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο) σχηματίζει μια μορφή η οποία είναι δύσκολο να αντιγραφεί από τα δεδομένα. Έτσι παρατηρώντας τη ροή των bit για μία συγκεκριμένη περίοδο χρόνου ο μηχανισμός πλαισίωσης μπορεί να καταλάβει ποιο είναι το κανάλι 1.

Επειδή όλη η μεταγωγή ήταν αναλογική μέχρι το 1975, όλα τα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης λάμβαναν αναλογικά σήματα και χρησιμοποιούσαν ένα εσωτερικό κρυσταλλικό ρολόι για να τα μετατρέψουν σε ψηφιακή ροή και μετά ξανά σε αναλογικά. Παρενθετικά υπενθυμίζεται ότι ένας τύπος πολυπλεξίας χαρακτηρίζεται ως σύγχρονος ή ασύγχρονος ανάλογα με την ύπαρξη ή μη κάποιου κεντρικού ρολογιού, που ελέγχει και συγχρονίζει όλες τις πηγές των προς πολυπλεξία σημάτων. Λίγα χρόνια αργότερα, η τεχνολογία επέτρεψε ταχύτερη ψηφιακή μετάδοση πάνω σε χάλκινα καλώδια και μετά σε ομοαξονικά καλώδια.

Ο όρος πολύπλεξη-πολυπλεξία σημαίνει το να πάρεις έναν ορισμένο αριθμό από σήματα DS-1 ή E-1 και να τα τοποθετήσεις μαζί όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.2β. Ένα bit παίρνεται από κάθε tributary ροή (ροή εισόδου) και τοποθετείται σε μια ροή υψηλότερης τάξης. Η Ευρωπαϊκή ιεραρχία είναι:

* 4 E-1s κάνουν 1 E-2 περίπου στα 8 Mb/s

* 4 E-2s κάνουν 1 E-3 στα 34 Mb/s

* 4 E-3s κάνουν 1 E-4 στα 140 Mb/s

* 4 E-4s κάνουν 1 E-5 (μη τυποποιημένο) στα 565 Mb/s.

Οι ρυθμοί μετάδοσης φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Επιπέδων Πολυπλεξίας	Αριθμός Καναλιών Φωνής	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (B. Αμερική)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ευρώπη)	Ρυθμός [Mbps] Μετάδοσης (Ιαπωνία)
0	1	0,064	0,064	0,064
1	24 30 48	1,544 3,152	2,084	1,544 3,152
2	96 120	6,312	8,448	6,312
3	480 672 1344 1440	44,376 91,053	34,368	32,064 97,728
4	1920 4032 5760	274,176	139,264	397,200
5	7680		565,148	

Πίνακας 4.1.2α Πλησιόχρονες Ψηφιακές Ιεραρχίες

Η Βόρειο-Αμερικάνικη ιεραρχία είναι παρόμοια αλλά λιγότερο κανονική. Σε κάθε βήμα, ο πολυπλέκτης πρέπει να λάβει υπόψη του το γεγονός ότι τα ρολόγια των παράλληλων εισόδων (tributaries) είναι όλα ελαφρώς διαφορετικά. Έτσι αναπτύχθηκε η μέθοδος αυτή που ονομάστηκε πλησιόχρονη ψηφιακή ιεραρχία (**PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy**, από την ελληνική λέξη "πλησίον - plesio" υπό την έννοια του "σχεδόν - almost"). Σε κάθε ρολόι επιτρεπόταν μια ορισμένη διακύμανση ταχυτήτων. Ο πολυπλέκτης διάβαζε κάθε tributary στη μεγαλύτερη επιτρεπόμενη ταχύτητα ρολογιού και όταν δεν υπήρχαν bit στον εξομαλυντή εισόδου (λόγω του ότι τα bits φτάνουν με ένα πιο αργό ρολόι), πρόσθετε ένα bit παραγεμίσματος (stuffing) ώστε να γεμίζει το σήμα σύμφωνα με την υψηλότερη ταχύτητα ρολογιού. Επίσης είχε ένα μηχανισμό που σηματοδοτούσε προς τον αποπολυπλέκτη ότι έχει εκτελέσει τη διαδικασία του παραγεμίσματος και ο αποπολυπλέκτης έπρεπε να ξέρει πιο bit να απορρίψει (αυτή η μέθοδος λέγεται positive stuffing).

Αυτή η μέθοδος PDH είναι η βάση για όλα τα τωρινά εγκατεστημένα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης, εκτός από τα SDH/SONET που περιγράφονται σ' αυτό το βιβλίο.

Σε αντιστοιχία με την Ευρωπαϊκή ιεραρχία, η Β. Αμερικάνικη είναι:

* 4 σήματα DS1 (T-1) πολυπλέκονται σε ένα πολυπλέκτη M12 και δίνουν 1 DS2 ρυθμού περίπου 6Mbps (T-2)

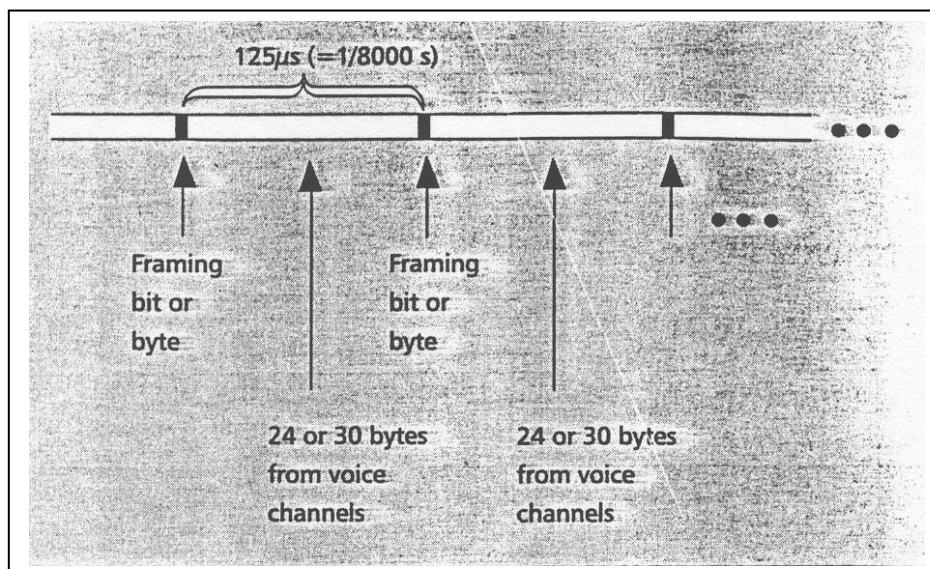
* 7 σήματα DS2 (T-2) πολυπλέκονται σε ένα πολυπλέκτη M23 και δίνουν 1 DS3 ρυθμού περίπου 44Mbps (T-3)

* 6 σήματα DS3 (T-3) πολυπλέκονται σε ένα πολυπλέκτη M34 (6:1) και δίνουν 1 DS4 ρυθμού περίπου 274 Mbps (T-4)

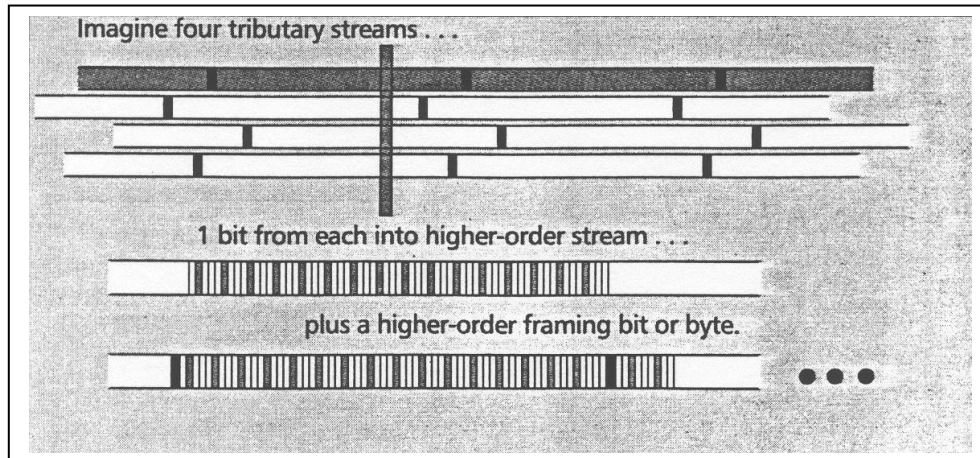
Αυτά φαίνονται και στον παρακάτω πίνακα:

Όνοματολογία Σήματος	Ρυθμός Μετάδοσης	Δομή	Αριθμός Ψηφιακών Ρευμάτων DS0
DS0	64 Kbps	Χρονοθυρίδα	1
DS1	1,544 Mbps	24xDS0	24
DS1c	3,152 Mbps	2xDS1	48
DS2	6,312 Mbps	2xDS1c	96
DS3	44,736 Mbps	7xDS2	672
DS4	274,176 Mbps	6xDS3	

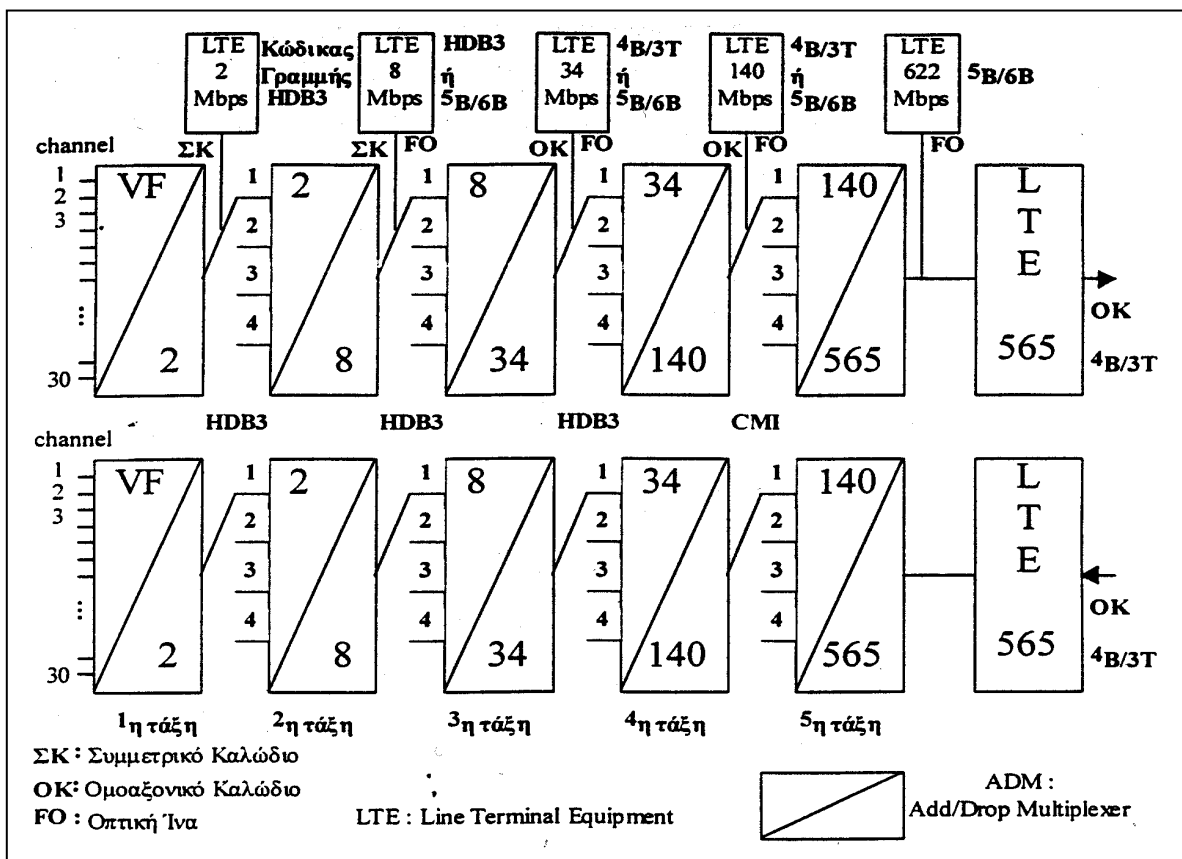
Πίνακας 4.1.2β Ψηφιακή Ιεραρχία Β. Αμερικής



Σχήμα 4.1.2α Δομή ενός DS-1 ή ενός E-1 stream



Σχήμα 4.1.2β PDH Πολυπλεξία (με την μέθοδο bit interleaving)



Σχήμα 4.1.2γ Διάγραμμα Σχηματισμού PCM Ανώτερης Τάξης

4.1.3 Τι είναι το σύγχρονο δίκτυο;

Στα τελευταία 20 χρόνια, η ψηφιακή μεταγωγή έχει πάρει τη θέση της αναλογικής μεταγωγής. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα ψηφιακά συστήματα μπορούν να συνδεθούν και επομένως να συγχρονιστούν μεταξύ τους. Η έννοια "συγχρονισμένα" επιτρέπει παρόλα αυτά κάποια παραλλαγή στην ταχύτητα των ρολογιών (πολύ μικρή).

Υπάρχουν δύο προβλήματα με την PDH μέθοδο όπως φαίνονται από την προοπτική ενός συγχρονισμένου δικτύου. Το ένα είναι ότι κάθε φορά που είναι απαραίτητο να ξεχωριστεί ή να εισαχθεί μια ροή (π.χ. E-1) από μια ροή υψηλότερης τάξης (π.χ. 140 Mb/s E-4), είναι απαραίτητο να εκτελεστούν όλες οι πράξεις των τριών πολυπλεκτών που δημιούργησαν το E-4. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται Add/Drop. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι αυτοί οι πολυπλέκτες δημιουργούν ένα δίκτυο στο οποίο η μέτρηση της απόδοσης της λειτουργίας, η επαναδρομολόγηση σημάτων μετά από βλάβες του δικτύου και η διαχείριση απομακρυσμένων στοιχείων του δικτύου από τα κέντρα εργασίας είναι όλα εξαιρετικά δύσκολα.

Η καινούργια μέθοδος πολύπλεξης που ονομάζεται Synchronous Digital Hierarchy (SDH) στην Ευρώπη και Synchronous Optical Network (SONET) στη Β. Αμερική, γεννήθηκε από έρευνα που ξεκίνησε στο Holmdel του New Jersey στις αρχές του 1980. Ποιες καινούργιες μέθοδοι θα μπορούσαν:

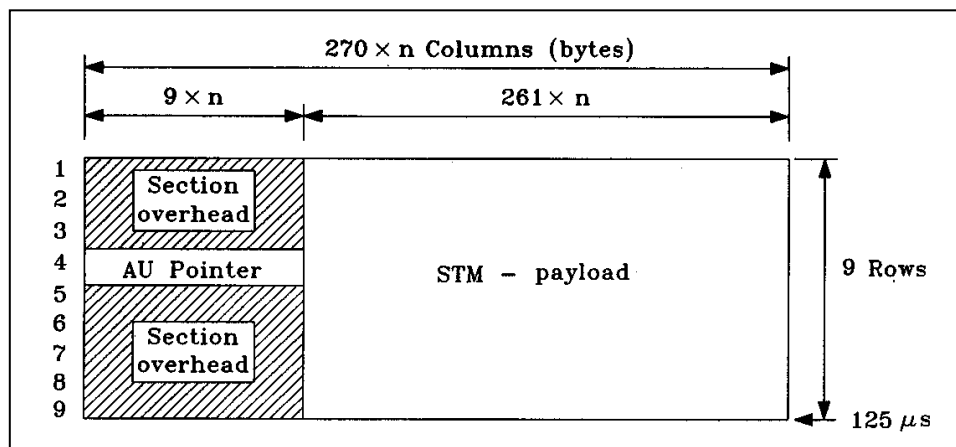
- ❖ να εκμεταλλευθούν το ολικά συγχρονισμένο δίκτυο;
- ❖ να ενοποιήσουν τα Ευρωπαϊκά και Β. Αμερικανικά πρότυπα;
- ❖ να χρησιμοποιηθούν και με οπτικές ίνες και με ασύρματο;
- ❖ να βάλουν κάποια νοημοσύνη στους πολυπλέκτες για την επίλυση προβλημάτων συντήρησης και λειτουργιών και ιδιαίτερα της προστασίας της μεταγωγής;
- ❖ να κάνουν διαχειρίσιμα τα δίκτυα πολλών πωλητών;
- ❖ να είναι συμβατά με τις υπάρχουσες PDH ροές;

Αυτό το τεράστιο έργο προτυποποίησης δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί αλλά έχει προχωρήσει αρκετά και ορισμένες δοκιμές βρίσκονται ήδη σε λειτουργία. Οι μελλοντικές δοκιμές

θα περιγράψουν ότι όχι μόνο οι ροές από διαφορετικούς κατασκευαστές θα μπορέσουν να συνδεθούν στο οπτικό επίπεδο (αυτό δεν ήταν ποτέ δυνατό με το PDH) αλλά επίσης ένα τέτοιο δίκτυο θα μπορεί να το διαχειριστεί ένας μοναδικός διαχειριστής δικτύου.

4.1.4 Τι είναι το SDH;

Η βασική σταθερά χρόνου των 8000 πλαισίων ανά δευτερόλεπτο διατηρείται στο SDH. Αυτό που μεταδίδεται σ' αυτά τα 125- μ s, αναπαριστάται σε ένα ορθογώνιο όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.4α, το οποίο περιγράφει τη διαμόρφωση του πρώτου (χαμηλότερου) επιπέδου της σύγχρονης ιεραρχίας. Το μεγαλύτερο μέρος του ορθογωνίου είναι για πληροφορία που μεταδίδεται (261 x 9 bytes) ενώ το μέρος της αριστερής πλευράς είναι για διάφορες άλλες πληροφορίες που περιγράφονται παρακάτω.



Σχήμα 4.1.4α Δομή πλαισίου SDH

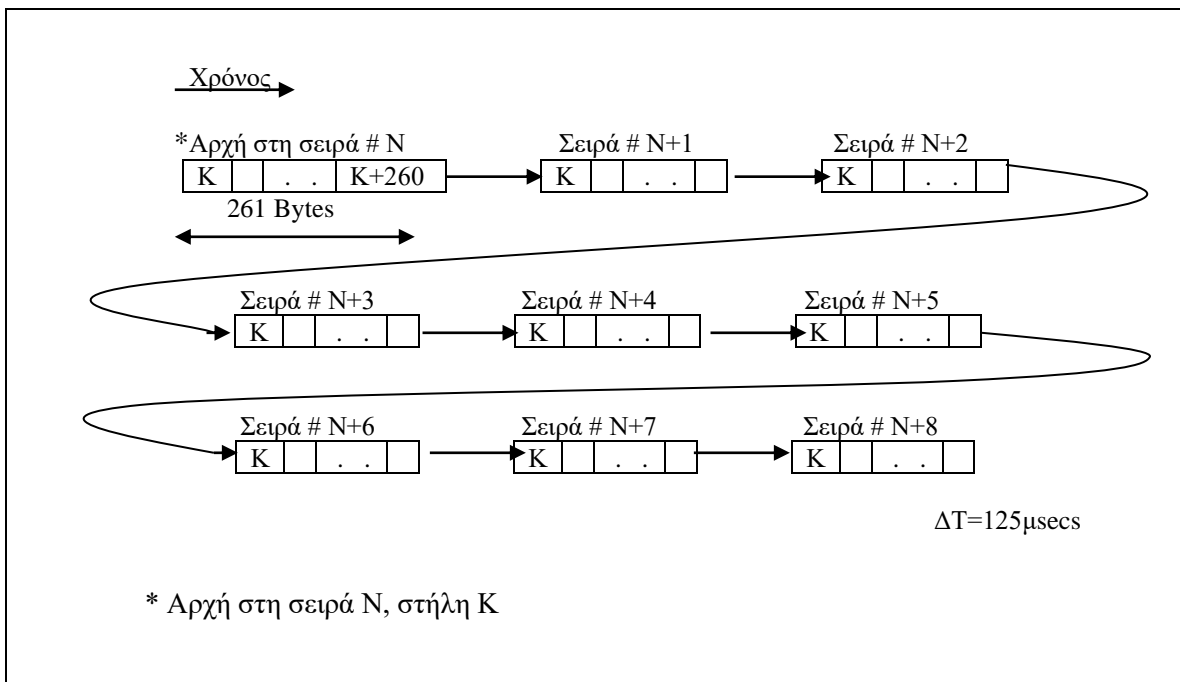
Όλη η πληροφορία συλλέγεται σε bytes (ονομάζονται επίσης και οκτάδες) και όχι πια σε bits. Τα bytes μεταδίδονται κατά μια σειρά τη φορά, ξεκινώντας από το σημείο που τιτλοδοτείται "0 μ s".

Ας υποθέσουμε ότι ένα πλαίσιο STM-1 μεταδίδεται ανά ένα bit, για παράδειγμα, διαμέσου μιας οπτικής ίνας. Το ερώτημα είναι πως γίνεται αυτό.

Η μετάδοση ξεκινάει με το σημαντικότερο bit του byte στη στήλη 1, σειρά 1. Όταν το byte μεταδοθεί σειριακά, συνεχίζει με το byte στη στήλη 2, σειρά 1, κ.ο.κ. Στο τέλος της σειράς, η διαδικασία συνεχίζεται με τη σειρά 2, κ.ο.κ. μέχρις ότου μεταδοθούν και οι 9 σειρές, ολόκληρο το πλαίσιο, ή 6480 bits, σε 125 μ s (σχήμα 4.1.4β).

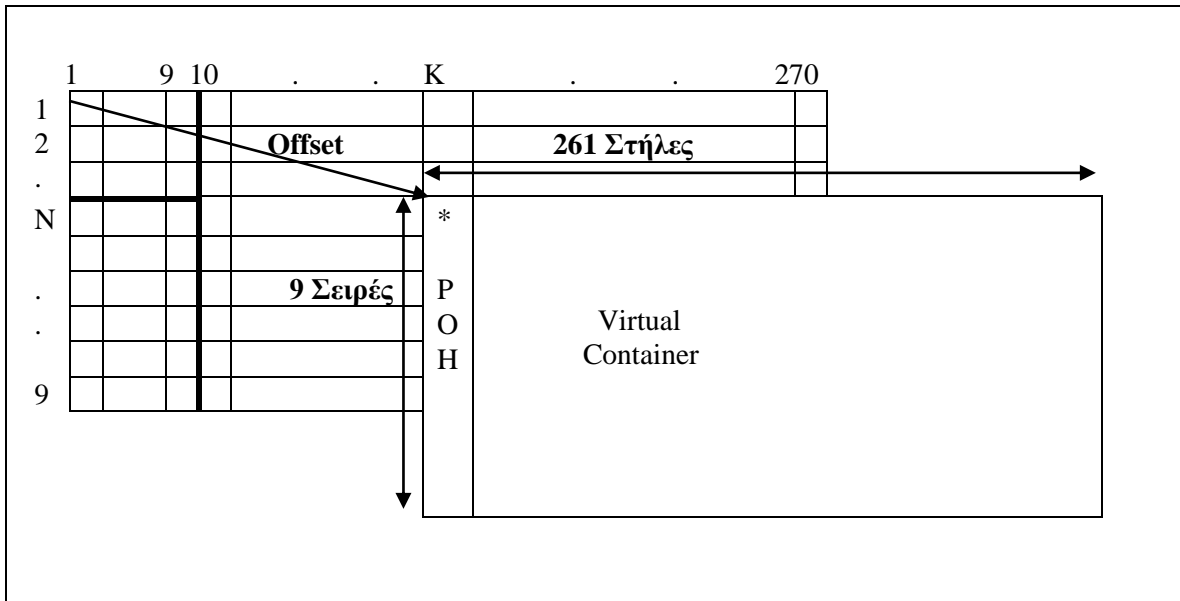
περιμένει σε κάθε κόμβο για ανασυγχρονισμό και επεξεργασία του overhead, τότε θα υπήρχαν επιπρόσθετες καθυστερήσεις. Κάτι τέτοιο όμως είναι ανεπιθύμητο, γι' αυτό απαιτείται μια μέθοδος η οποία θα χαρτογραφεί (map) το VC μέσα σε ένα πλαίσιο STM-1 ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μικρότερη καθυστέρηση. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται 'κινητό (floating) VC'.

Προκειμένου να σχηματίσουμε μια σαφή εικόνα για το πως ένα κινητό VC χαρτογραφείται σε ένα πλαίσιο SDH, θεωρούμε ένα λαμβανόμενο VC κατά μήκος των σειρών για όλες τις 9 σειρές (σχήμα 4.1.4δ).



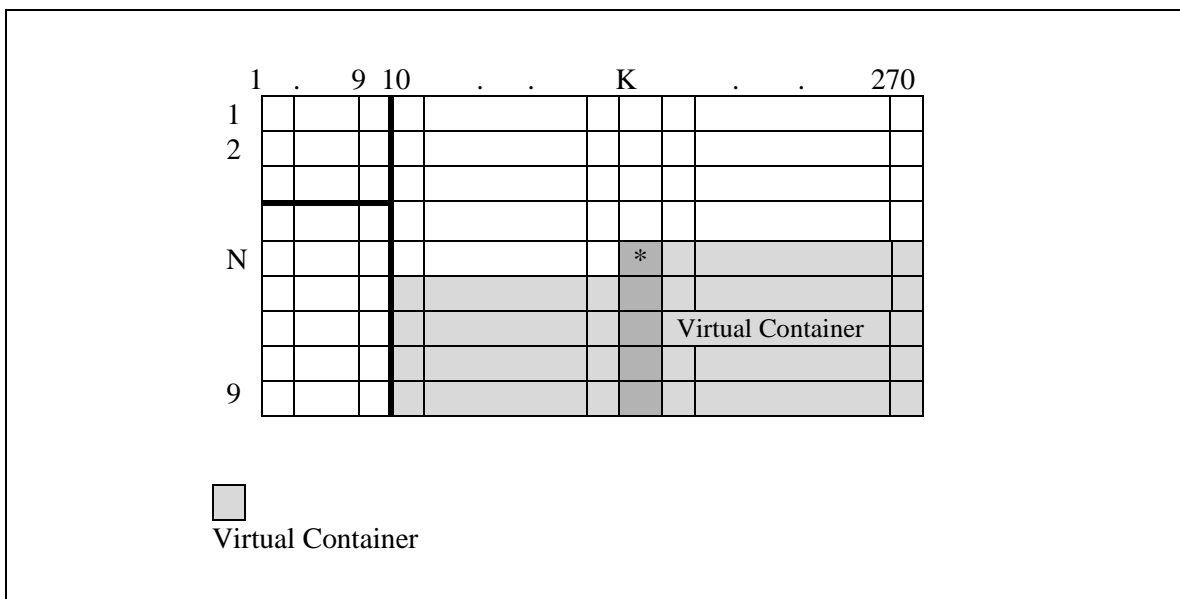
Σχήμα 4.1.4δ Πλαίσιο VC

Έχοντας κατασκευάσει το λαμβανόμενο VC, αυτό μπορεί να μην είναι σε φάση με την αρχή του πλαισίου STM-1, το οποίο είναι συγχρονισμένο με το NE. Αυτό γίνεται αντιληπτό ως μια μετατόπιση (offset) στο πλαίσιο STM-1, όσον αφορά τις στήλες και τις σειρές (σχήμα 4.1.4ε). Συνεπώς, το πρώτο byte του λαμβανόμενου VC (δηλαδή, το πρώτο byte του POH) χαρτογραφείται στο VC του πιο πρόσφατου STM-1, παραδείγματος χάριν, στη σειρά N και στη στήλη K.



Σχήμα 4.1.4ε Πλαίσιο STM-1 με κινητό VC

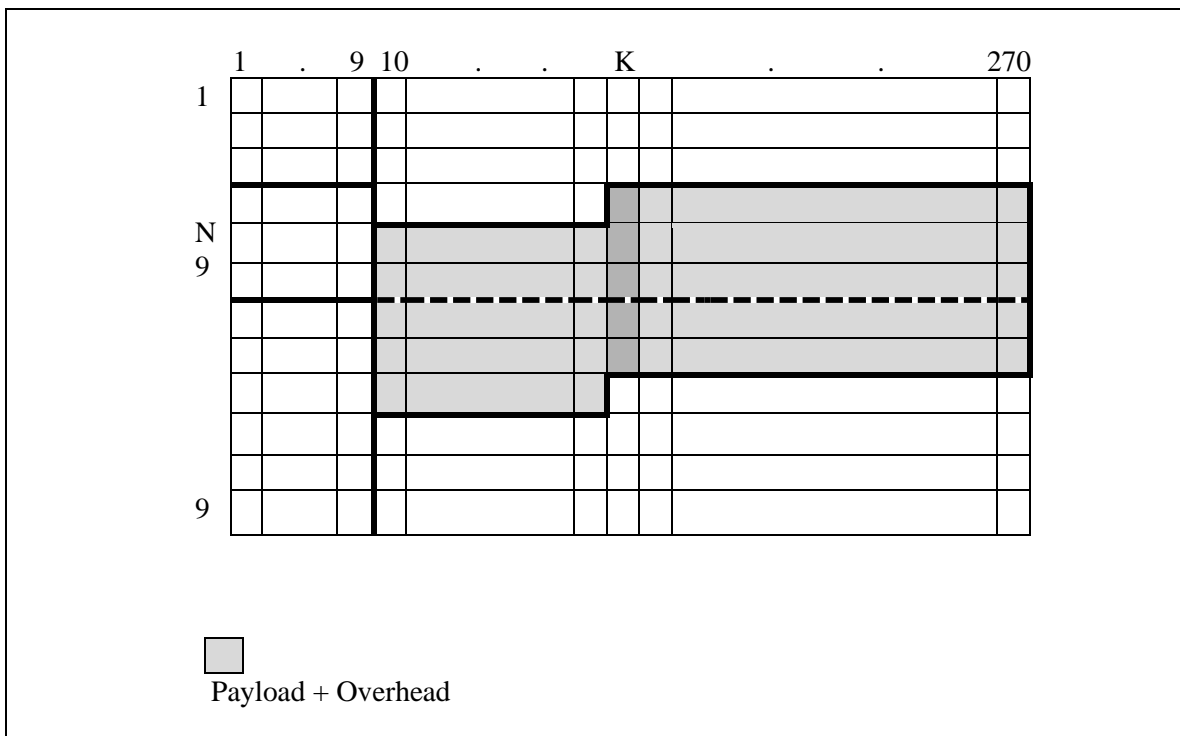
Καθώς το VC χαρτογραφείται ανά byte ξεκινώντας από τη σειρά N και τη στήλη K, κάποια στιγμή θα φτάσει και στο τελευταίο byte (σχήμα 4.1.4στ).



Σχήμα 4.1.4στ Χαρτογράφηση (τμήματος) κινητού VC μέσα σε ένα πλαίσιο STM-1

Τότε, ο χώρος του VC στο STM-1 θα γεμίσει, το POH του λαμβανόμενου VC θα ευθυγραμμιστεί στη στήλη K, αλλά δε θα έχουν τη δυνατότητα όλα τα bytes του λαμβανόμενου VC να χωρέσουν στο χώρο του VC του πιο πρόσφατου πλαισίου STM-1. Έτσι, η διαδικασία δε σταματάει εκεί αλλά συνεχίζει στο επόμενο πλαίσιο STM-1.

Η χαρτογράφηση του λαμβανόμενου VC στο επόμενο πλαίσιο STM-1 δεν προκαλεί χρονικά προβλήματα μιας και τόσο το STM όσο και τα VCs είναι συγχρονισμένα με το διάστημα των 125 μs. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι ένα VC χαρτογραφημένο σε δυο διαδοχικά πλαίσια (σχήμα 4.1.4ζ).



Σχήμα 4.1.4ζ Χαρτογράφηση (ολόκληρου) κινητού VC μέσα σε δυο πλαίσια STM-1

4.1.5 Ομοιότητες και διαφορές μεταξύ SONET και SDH

Παρόλο που το SONET και το SDH έχουν πολλές ομοιότητες, έχουν και αρκετές διαφορές ώστε να αποτελούν ξεχωριστές οντότητες.

Μερικές ομοιότητες είναι οι εξής:

- Ο ρυθμός των bits και η διοργάνωση του σχήματος και της διάταξης του πλαισίου (frame) μέσα στο οποίο μεταφέρονται οι πληροφορίες.
- Συγχρονισμός των πλαισίων.
- Κανόνες πολυπλεξίας και απο-πολυπλεξίας.
- Έλεγχος σφαλμάτων.

Μερικές βασικές διαφορές είναι:

- Διαφορές στον καθορισμό των bytes του επιπρόσθετου τμήματος OH (Overhead).
- Η διασύνδεση (interface) SDH ορίζει περισσότερες παραμέτρους από ότι η SONET.
- Τα SONET και SDH έχουν ασήμαντες τεχνικές και γλωσσολογικές διαφορές, που όμως περιπλέκουν και αυξάνουν το κόστος του σχεδιασμού τους (HW, SW).
- Διαφορές στην ονοματολογία:
 - SONET: Σύγχρονο σήμα μεταφοράς **STS (Synchronous Transport Signal)** π.χ. STS-1, STS-3. SDH: Σύγχρονη μονάδα μεταφοράς **STM (Synchronous Transport Module)** π.χ. STM-1, STM-4.
 - SONET: Σύγχρονος φάκελος πεδίου πληροφοριών **SPE (Synchronous Payload Envelope)**. SDH: Νοητό κιβώτιο VC (Virtual Container).
 - SONET: Νοητή υποροή **VT (Virtual Tributary)**. SDH: Μονάδα υποροής **TU (Tributary Unit)**

Πίνακας 4.1.4 Διαφορές PDH - SDH

PDH	SDH
Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με τη παρεμβολή των ανενεργών bit.	Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση ρολογιών ακριβείας, και όλα τα σημεία του δικτύου συγχρονίζονται με το σύστημα των pointers (δείκτες)
Για την είσοδο και έξοδο σήματος απαιτείται πολυπλεξία και απο-πολυπλεξία ολόκληρου του σήματος.	Οι Add-Drop πολυπλέκτες επιτρέπουν την απ' ευθείας είσοδο ή έξοδο ενός φάσματος μέσα στο σήμα πολυπλεξίας.
Δεν υπάρχει δυνατότητα διαχείρισης.	Τα σήματα συναθροίζονται σε ειδικούς μεταφορείς τους virtual containers (VCs) και φορτώνονται σε πλαίσια (frames). Αυτά παρέχουν διαχείριση και έλεγχο (management & monitoring) από το ένα άκρο της σύνδεσης στο άλλο.
	Νέες τυποποιήσεις των ρυθμών μετάδοσης οι οποίες συνεργάζονται με το PDH.

4.1.6 Πλεονεκτήματα των SONET και SDH

Στις ΗΠΑ οι πληροφορίες που ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις (**LD – long distance**) είναι περίπου 2000 Tbytes/μέρα, όπου 1 Tbyte είναι χίλια δισεκατομμύρια bytes. Για το λόγο αυτό, δίκτυα και συστήματα που προσφέρουν χαμηλό κόστος ανά bit ανά χιλιόμετρο είναι πολύ σημαντικά στις τηλεπικοινωνίες. Το SONET και το SDH είναι τέτοιας μορφής δίκτυα. Τα πλεονεκτήματα αυτών φαίνονται παρακάτω:

1. Ελαττωμένο κόστος:
 - α Μειώνεται το κόστος λειτουργίας.
 - β Όλοι οι πελάτες έχουν την ίδια διασύνδεση.
2. Ενοποιημένα στοιχεία δικτύου:
 - α Επιτρέπει σε πολλούς πελάτες να εργάζονται στο Διαδίκτυο.
 - β Είναι εμπλουτισμένα με στοιχεία διαχείρισης δικτύου.
3. Δυνατότητες απομακρυσμένων λειτουργιών: Τροφοδοσία εξ αποστάσεως, έλεγχος, προσαρμογή και ανασχηματισμός.
4. Προσφέρει στο δίκτυο χαρακτηριστικά επιβίωσης.
5. Ταιριάζει με κληροδοτημένα και μελλοντικά δίκτυα.

4.1.7 Ρυθμός μετάδοσης στο SONET και στο SDH

Ο ρυθμός μετάδοσης των SONET και SDH κυμαίνεται μεταξύ 51.85-9953.28 Mbps (περίπου 10 Gbps ή 10 000 000 000 bps), υψηλότεροι ρυθμοί, 40 Gbps, βρίσκονται υπό μελέτη.

Πίνακας 4.1.7 Ρυθμοί SONET/SDH

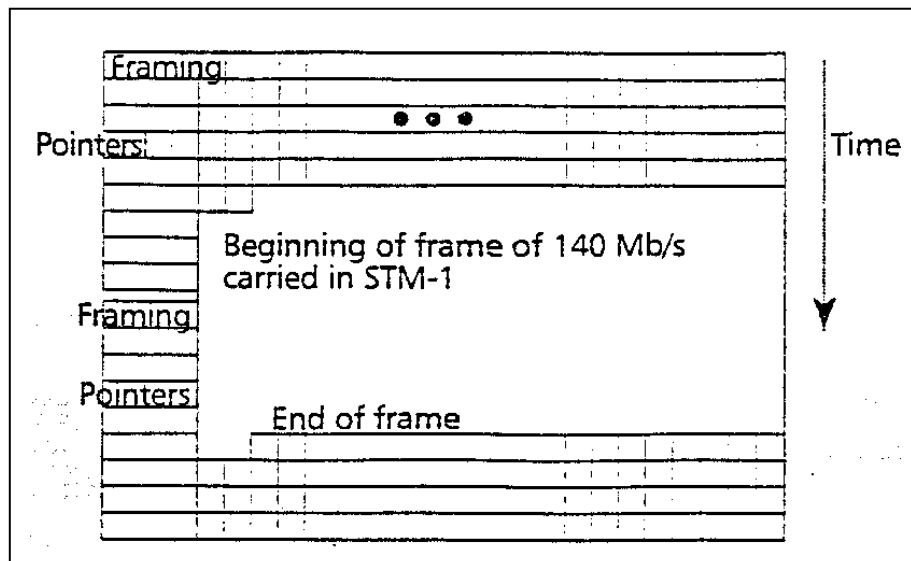
Προορισμός Σήματος			Ρυθμός Γραμμής (Mbps)
SONET	SDH	Οπτικά	
STS-1	-	OC-1	51.84
STS-3	STM-1	OC-3	155.52
STS-12	STM-4	OC-12	622.08
STS-48	STM-16	OC-18	2,488.32
STS-192	STM-64	OC-192	9,488.28
		OC-768(?)	39,813.12

Όταν το σήμα του SONET είναι στην ηλεκτρική του μορφή είναι γνωστό ως STS επιπέδου N (STS-N). Το ισοδύναμο του SDH λέγεται STM-N. Μετά τη μετατροπή του σε

οπτικούς παλμούς λέγεται οπτικός μεταφορέας επιπέδου N, **OC-N (Optical Carrier)**. Οι τιμές του N καθώς και οι αντίστοιχοι ρυθμοί μετάδοσης φαίνονται στον πίνακα 4.1.7. Ρυθμοί με 39,813.12 Gbps (OC-768) είναι ακόμη υπό μελέτη.

4.1.8 Δείκτες - Το μυστικό της επιτυχίας;

Σε ένα πολυπλέκτη, το κάθε tributary έχει ένα πλαίσιο το οποίο δεν είναι ευθυγραμμισμένο στο χρόνο ούτε με τα άλλα tributaries ούτε με το πλαίσιο της ροής εξόδου. Στο PDH ο πολυπλέκτης δε χρειάζεται να ξέρει ούτε καν που βρίσκεται αυτό το πλαίσιο στο χρόνο. Αυτή είναι η εργασία του αποπολυπλέκτη στο χαμηλότερο ιεραρχικό επίπεδο. Αυτός είναι ο λόγος που οι λειτουργίες add/drop είναι τόσο ακριβές. Για να λύσει αυτό το πρόβλημα, ο πολυπλέκτης SDH βρίσκει που ξεκινάει το πλαίσιο σε κάθε tributary. Έτσι υπολογίζει ένα δείκτη ο οποίος λέει σε ποιο σημείο του STM-1 πλαισίου (Synchronous Transport Module level-1) έχει τοποθετήσει το πλαίσιο του tributary. Το σχήμα 4.1.8 δείχνει ένα σήμα E-4 των 140 Mb/s μέσα σ' ένα πλαίσιο.



Σχήμα 4.1.8 Δείκτες το μυστικό της επιτυχίας

Όπως βλέπουμε ξεκινάει στη μέση του πλαισίου STM-1 και τελειώνει στη μέση του επόμενου πλαισίου. Ένας συγκεκριμένος δείκτης υποδεικνύει αυτή τη θέση του E-4. Στην περίπτωση τριών E-3 tributaries των 34 Mb/s (ή τριών DS-3s) υπάρχουν τρεις δείκτες. Αν το

tributary πλαίσιο έχει μετατοπιστεί σε σχέση με το STM-1 πλαίσιο το σύστημα απλώς αλλάζει το δείκτη.

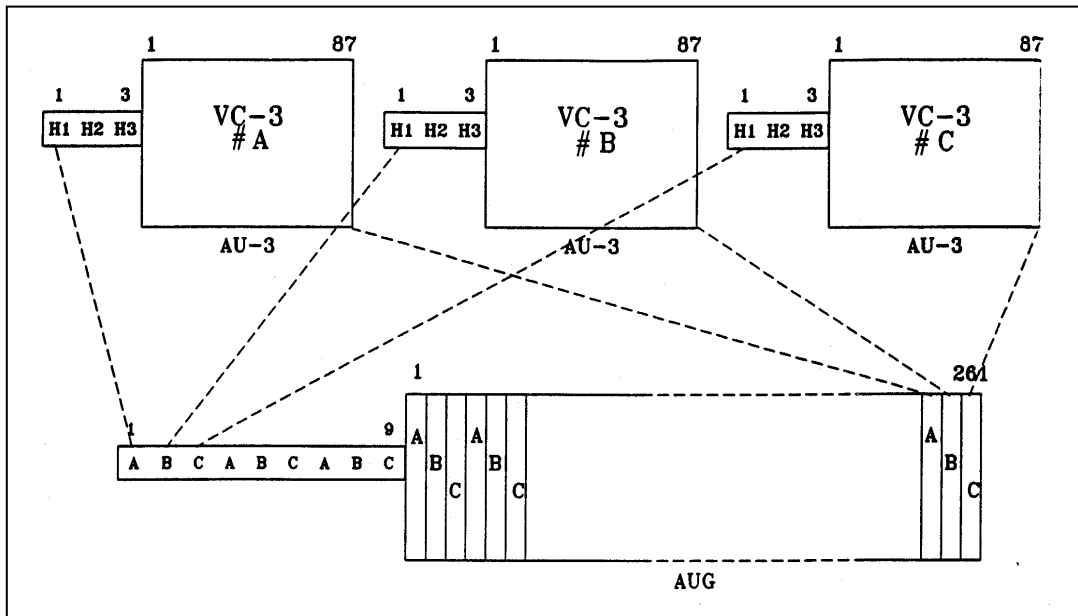
Η πληροφορία που μεταφέρεται από τα overhead bytes στο σχήμα 4.1.8 είναι :

- * ότι το STM-1 αυτό μεταφέρει ένα και μοναδικό E-4 tributary.
- * το πλαίσιο του tributary ξεκινά στο σημείο που καθορίζει ο δείκτης.
- * διάφορες OAM πληροφορίες. Οι OAM πληροφορίες αποτελούν ένα ενσωματωμένο σύστημα επίβλεψης.

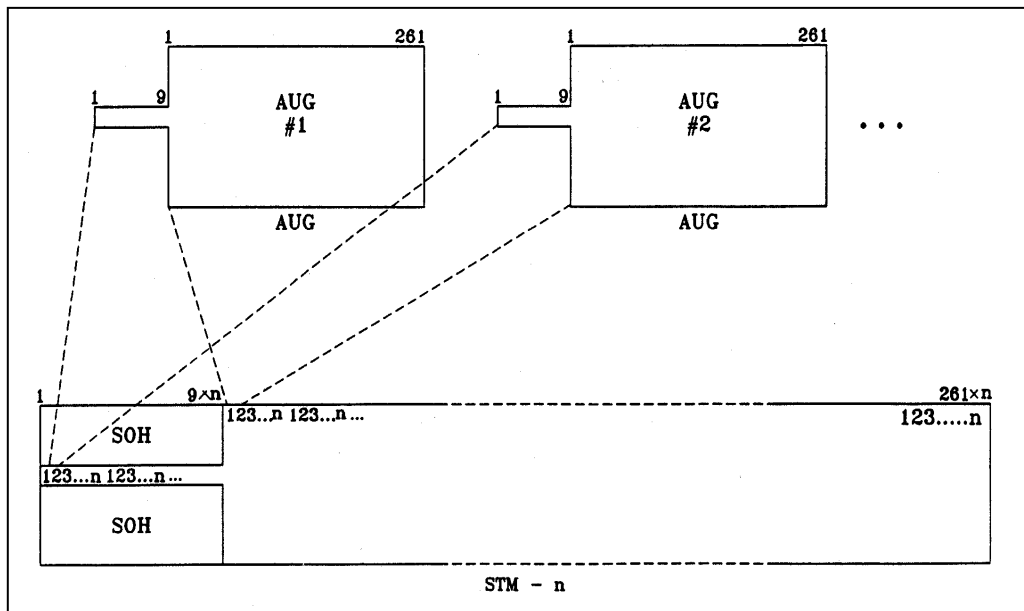
4.1.9 Virtual Containers (VCs) και Administrative Units (AUs).

Το σήμα PDH στο σχήμα 4.1.8 δεν αντιγράφεται απλώς στο STM-1 πλαίσιο καθώς φτάνει. Για παράδειγμα, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει το χώρο που έχει κρατηθεί για το overhead και δεν μπορεί επίσης να γεμίσει το χώρο που είναι διαθέσιμος στα 261 x 9 bytes. Έτσι όλα τα σήματα PDH πακετάρονται σε κατάλληλους εικονικούς υποδοχείς (Virtual Containers – VCs). Αυτό το πακετάρισμα ονομάζεται προσαρμογή (adaptation). Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί εικονικοί υποδοχείς, που αντιστοιχούν ένας για κάθε τύπο του PDH σήματος που θα μεταφερθεί. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, έναν εικονικό υποδοχέα που μεταφέρει τις μεταδιδόμενες πληροφορίες και απεικονίζεται ως ένας διδιάστατος πίνακας με 9 γραμμές και 87 στήλες. Ο πίνακας αυτός ονομάζεται VC-3 (σχήμα 4.1.9α). Ο VC-3 περιέχει ακόμη μια στήλη για το overhead της διαδρομής (Path Overhead-POH), η οποία ονομάζεται VC-3 POH, και δυο σταθερές-γεμάτες (fixed-stuff) στήλες. Οπότε η πραγματική χωρητικότητα του πεδίου πληροφοριών ενός VC-3 είναι 84 στήλες (ή 756 bytes).

Στην τέταρτη σειρά προσθέτονται ακόμη 3 bytes για το δείκτη (pointer) του VC-3 (H1, H2, και H3). Το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή ο VC-3 με το δείκτη, αποτελούν τη **διοικητική μονάδα επιπέδου 3 AU-3 (Administrative Unit Level 3)**. Όταν πολυπλεχτούν τρία VC-3 το αποτέλεσμα θα είναι μια **ομάδα διοικητικών μονάδων AUG (Administrative Unit Group)**. Το σχήμα 4.1.9β δείχνει τον εικονικό υποδοχέα 4 ή VC-4. Ομοίως, το VC-4 μαζί με ένα δείκτη ονομάζεται διοικητική μονάδα 4 (Administrative Unit 4) ή AU-4. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας μιας ομάδας διοικητικών μονάδων AUG (σχήμα 4.1.9γ) και κατ' επέκταση ενός STM-n από την πολυπλεξία πολλών AUG (σχήμα 4.1.9δ).



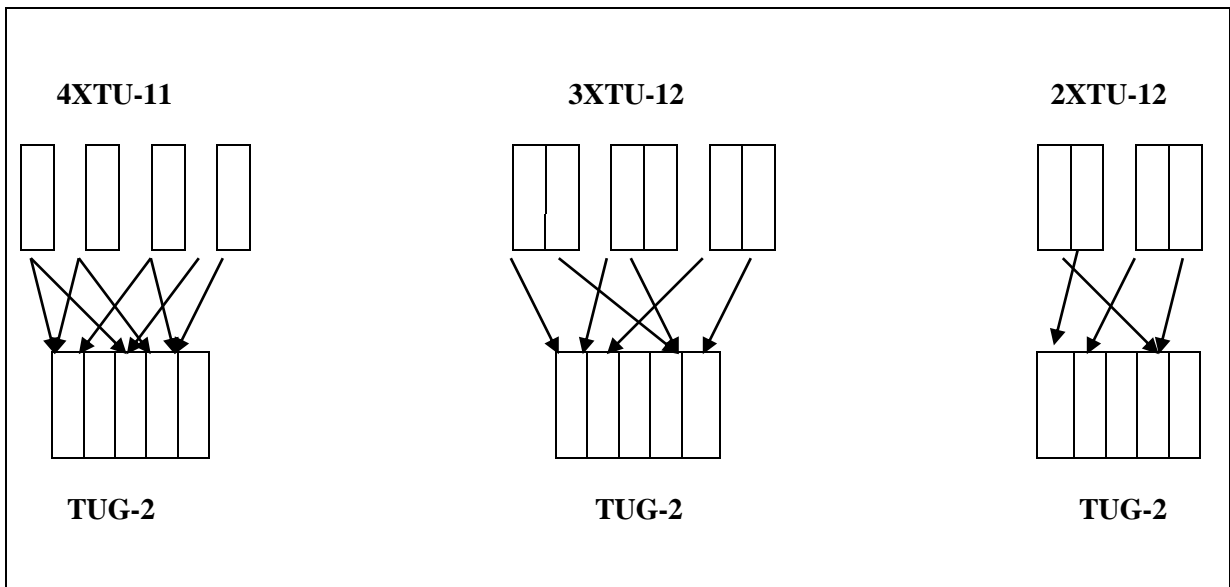
Σχήμα 4.1.9γ Οργάνωση της AUG



Σχήμα 4.1.9δ Οργάνωση του STM-n

Όπως είπαμε οι μικροί εικονικοί υποδοχείς λέγονται VCs. Θεωρούμε ότι κάθε 125 μs εισέρχεται και ένας VC. Ένας VC χωρητικότητας τριών στηλών (συνολικά 27 bytes) λέγεται TU-11 (Tributary Unit), με τέσσερις στήλες (36 bytes) TU-12, ενώ με 12 στήλες (108 bytes) TU-2.

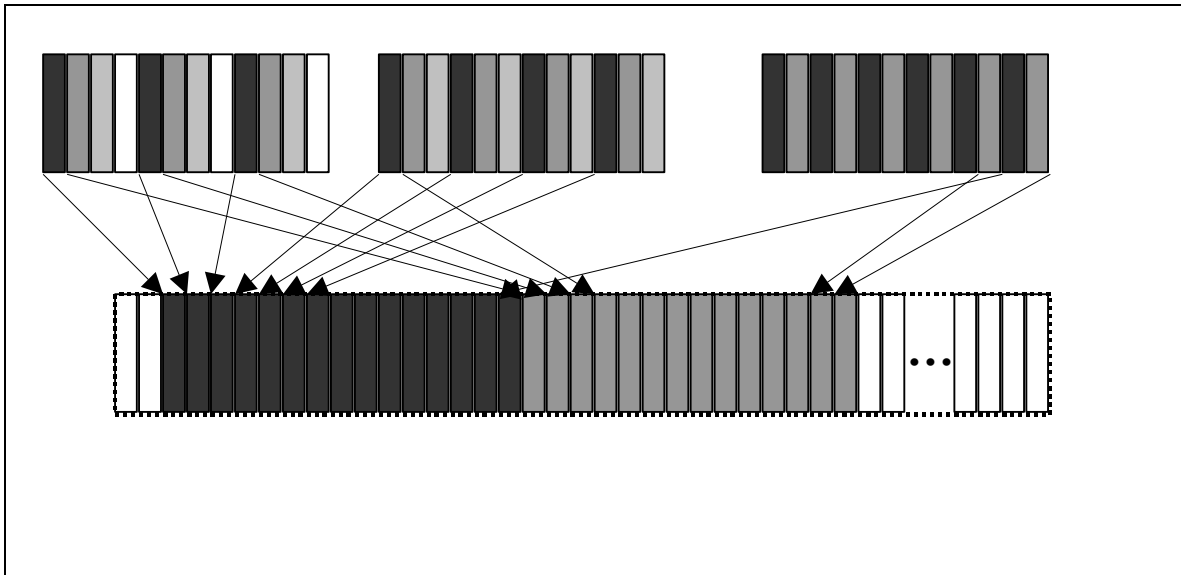
Θα εξετάσουμε, τώρα, πως χωράνε οι TUs σε ένα VC. Ένας VC αποτελείται από 87 στήλες. Η χωρητικότητα του πεδίου πληροφοριών που αποτελείται από 84 στήλες (87 μείον μια για POH μείον άλλες δυο που είναι σταθερές), διαχωρίζεται σε 7 ομάδες, και η κάθε ομάδα σε 12 στήλες. Ο αριθμός 12 δεν είναι τυχαίος, αλλά έχει επιλεγεί διότι διαιρείται ακριβώς με το 3, 4, 6, και 12 δίνοντας 4, 3, 2, και 1. Αυτό σημαίνει ότι σε μια ομάδα χωράνε τέσσερις TU-11s, ή τρεις TU-12s, ή μια TU-2.



Σχήμα 4.1.9γ Δομές TU και TUG – SDH

Μεταξύ των TUs που είναι γεμάτες με δεδομένα, παρεμβάλλεται ένα byte (ή μια στήλη), όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Μια τέτοια ομάδα ονομάζεται **TUG-2 (Tributary Unit Group)**. Όταν 7 από αυτές πολυπλεχτούν και δύο (σταθερές) στήλες προστεθούν στην αρχή, τότε παίρνουμε μια TUG-3. Εάν όμως, αντί να προστεθούν στην αρχή δυο (σταθερές) στήλες, προστεθεί μια στήλη POH τότε παίρνουμε ένα VC-3.

Και μεταξύ των 7 ομάδων παρεμβάλλεται ένα byte (ή μια στήλη). Στο επόμενο σχήμα παρατηρούμε ότι με την προσθήκη δυο σταθερών στηλών (fixed stuff) σχηματίζεται μια TUG-3.



Σχήμα 4.1.9δ SDH - TUGs

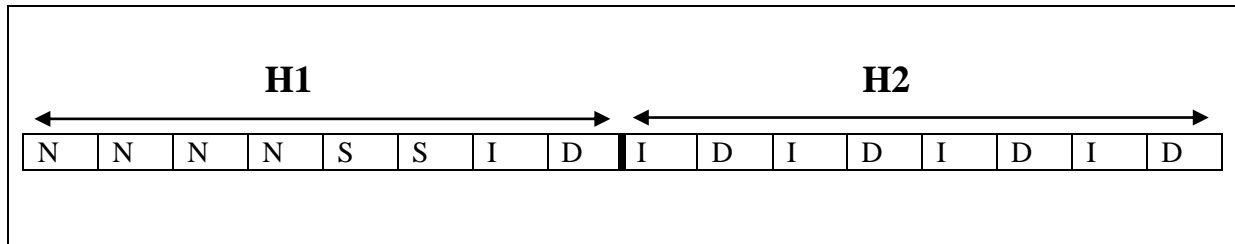
4.1.10 Δείκτες του πεδίου πληροφοριών

Οι δυο δείκτες (pointers), τα bytes H1 και H2, περιέχουν την ουσία των δεικτών (σχήμα 4.1.10α).

Τα πρώτα 4 bytes στο H1, που είναι και τα πιο σημαντικά, λέγονται ‘εύρεση νέων δεδομένων **NDF (New Data Found)**’. Τα NDF μπορεί να είναι ‘κανονικά - normal = 0110’ ή ‘αμετάβλητα - set = 1001’. Όταν είναι ‘κανονικά’ τότε υπάρχουν οι εξής τρεις πιθανότητες: να μην υπάρχει συμφωνία στη συχνότητα ή να υπάρχει μετά από ρύθμιση θετική ή αρνητική (positive or negative frequency justification). Το ‘αμετάβλητα’ υποδηλώνει ότι, λόγω αλλαγής δεδομένων στο VC, έχει λάβει χώρα μια αυθαίρετη (αλλά σημαντική) αλλαγή στο δείκτη.

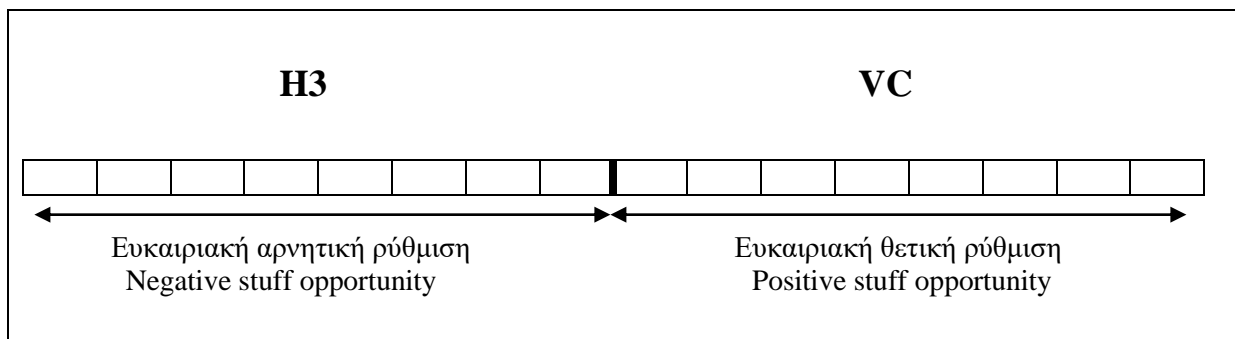
Τα επόμενα 2 bits, γνωστά ως S-bits, υποδηλώνουν το μέγεθος της TU στο πεδίο πληροφοριών.

Τα 2 τελευταία και πιο ασήμαντα bits του H1, και τα 8 bits του H2, τα οποία εναλλάσσονται μεταξύ τους, ορίζουν λέξεις των 5-bit. Το ένα είναι η λέξη I-bit και το άλλο η D-bit. Τα I και D χρησιμοποιούνται για αύξηση ή μείωση της επιπρόσθετης τιμής (offset), συνεπώς, με τη συνύπαρξη του byte H3, πραγματοποιούν διορθώσεις ή συμφωνία στη συχνότητα.



Σχήμα 4.1.10α Δείκτες του payload – H1 και H2

Παρόλο που τα bytes των δεικτών H1, H2 ορίζουν μια τιμή μετατόπισης (offset value), δε συμβαίνει το ίδιο και με το H3 (σχήμα 4.1.10β). Το τελευταίο χρησιμοποιείται καμιά φορά σαν byte payload ευκαιριακής μονάδας προσωρινής αποθήκευσης (opportunity buffer), όταν είναι απαραίτητες θετικές ή αρνητικές ρυθμίσεις προκειμένου να επιτευχθεί συγχρονισμός της συχνότητας.



Σχήμα 4.1.10β Δείκτης H3 - συγχρονισμός της συχνότητας

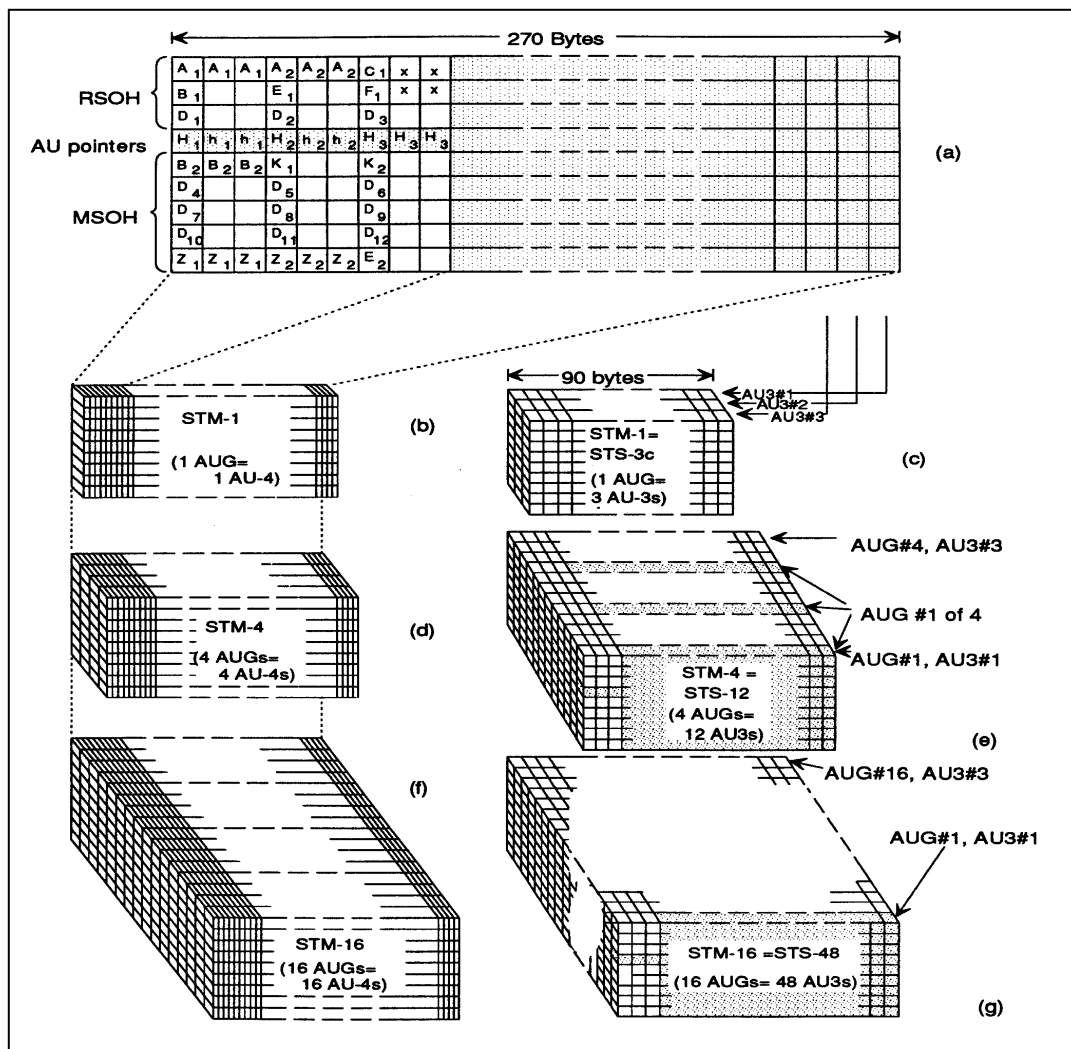
Τρεις είναι οι λειτουργίες των bytes H1, H2 και H3:

1. Αναγνωρίζουν κάποια αλλαγή που έχει προκύψει στην τιμή του δείκτη (NDF = 1001) λόγω κάποιας ασυνεχούς αλλαγής συγχρονισμού στον κόμβο και στο σημείο της καινούργιας αρχής (I + D bits).
2. Αναγνωρίζουν ότι μια αλλαγή έχει συμβεί στην τιμή του δείκτη (0110) λόγω μιας διαφοράς στη συχνότητα μεταξύ κόμβου και εισερχόμενης συχνότητας. Είναι πιθανό η εισερχόμενη συχνότητα να είναι ελαφρώς υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη συχνότητα του κόμβου. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι γίνονται δεκτά περισσότερα ή λιγότερα bits σε σχέση με αυτά που χωράει το VC. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να λάβει μέρος ένας περιοδικός ανασυγχρονισμός του εισερχόμενου VC και STM-0 VC. Εάν η

εισερχόμενη συχνότητα είναι υψηλότερη απαιτείται αρνητική ρύθμιση, και θετική εάν είναι χαμηλότερη.

3. Τα bits που περιέχουν τα I και D δείχνουν εάν απαιτείται αρνητική ή θετική ρύθμιση της συχνότητας.

4.1.11 Δομή του πλαισίου STM-N



Σχήμα 4.1.11 Δομή των STM

Ένα πλαίσιο STM-N παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1.4a και στο 4.1.11. Βλέπουμε ότι ενώ ο αριθμός των στηλών πολλαπλασιάζεται με n δε συμβαίνει το ίδιο και με τον αριθμό των σειρών. Έτσι, το SOH είναι n φορές τις 9 στήλες, και το πεδίο πληροφοριών είναι n φορές τις

261 στήλες. Το μικρότερο STM (το STM-1) έχει 270 στήλες (9 για την επικεφαλίδα + 261 για το πεδίο πληροφοριών).

Οι τρεις πρώτες σειρές των τριών πρώτων στηλών του SOH αποτελούν το τμήμα αναγέννησης **RSOH (Regenerator SOH)**, η τέταρτη σειρά εκφράζει το δείκτη της μονάδας διαχείρισης **AUP (Administrative Unit Pointer)**, και οι υπόλοιπες πέντε σειρές είναι το τμήμα πολυπλεξίας **MSOH (Multiplex SOH)**.

Για να κατασκευαστεί ένα πλαίσιο STM-N, κατασκευάζουμε αρχικά τρία VC-12s τα οποία οικοδομούν ένα VC-2, στη συνέχεια επτά VC-2s που οικοδομούν ένα VC-3, τρία VC-3s που οικοδομούν ένα VC-4, και τελικά, N VC-4s που οικοδομούν ένα πλαίσιο STM-N, συνδεδεμένο βέβαια με την κατάλληλη επικεφαλίδα.

4.1.12 Επιπρόσθετο τμήμα (overhead)

Πολλά από τα bytes στο overhead είναι περιττά. Το σχήμα 4.1.11 περιγράφει το SOH για το STM. Ακολουθούν οι ορισμοί των διαφόρων bytes:

- Τα A1 και A2 είναι για την ευθυγράμμιση του πλαισίου (frame alignment). Περιέχουν τη σταθερή μορφή πλαισίου η οποία έχει ρυθμιστεί στη δεκαεξαδική τιμή 0xF628 {1111 0110 0010 1000}.
- Τα B1 και B2 είναι bytes προστιθέμενα για ισοτιμία (parity) που χρησιμοποιούνται για ποιοτικό έλεγχο. Η ισοτιμία υπολογίζεται για όλα τα bytes του προηγούμενου πλαισίου πριν το ανακάτεμα (scrambling) και τοποθετείται στο τρέχων πλαίσιο πριν το ανακάτεμα.
- Τα D1 και D3 χρησιμοποιούνται στο τμήμα της αναγέννησης (regenerator section) για τη διαχείριση του δικτύου. Σχηματίζουν ένα κανάλι επικοινωνίας 192 Kbps για συναγερμούς, συντήρηση, έλεγχο, διοίκηση, και άλλες ανάγκες.
- Τα D4 και D12 χρησιμοποιούνται επίσης για τη διαχείριση του δικτύου αλλά στο τμήμα της πολυπλεξίας.
- Τα E1 και E2 αποτελούν ένα κανάλι επικοινωνίας 64 kbps για το προσωπικό.
- Το F1 είναι byte διαχείρισης.
- Το C1 είναι γνωστό ως trace identifier.
- Τα K1 και K2 χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μεταγωγής αυτόματης προστασίας **APS (Automatic Protection Switching)**.

- Το πρώτο Z1 της τελευταίας σειράς του MSOH είναι ο δείκτης της ποιότητας του ρολογιού (clock quality indicator). Αυτό έχει οριστεί ως S1.
- Το Z2 χρησιμοποιείται για τη γνωστοποίηση μεταδιδόμενων λαθών. Αυτό έχει οριστεί ως M1.

Πίνακας 4.1.12 Η τελευταία μορφή του SOH του STM-1

A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	X	X
B1	0	0	E1	0	-	F1	X	X
D1	0	0	D2	0	-	D3	-	-
AU POINTER								
B2	B2	B2	K1	-	-	K2	-	-
D4	-	-	D5	-	-	D6	-	-
D7	-	-	D8	-	-	D9	-	-
D10	-	-	D11	-	-	D12	-	-
S1	-	-	-	-	M1	E2	-	-

↑

↓

↑

↓

RSOH

MSOH

- Ακαθόριστα Bytes του OH (όλα μηδέν)

X Έχουν κρατηθεί για εθνική χρήση

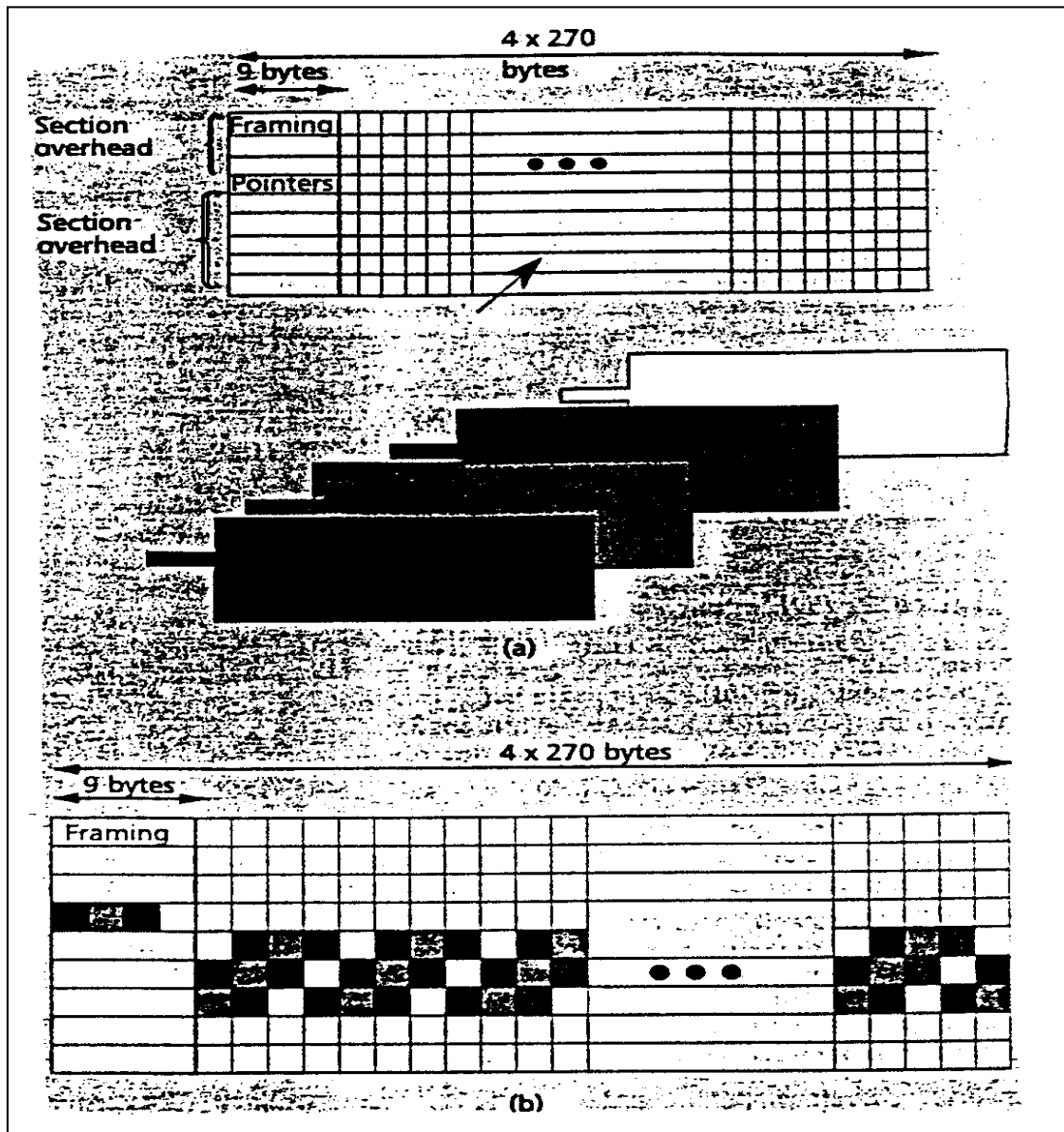
0 Προς χρήση των M.M.E. (π.χ. δορυφόρους, ραδιόφωνο)

4.1.13 Υψηλότερης Τάξης Πολύπλεξη

α) STM-4.

Το σχήμα 4.6(a) δείχνει πως κατασκευάζεται το επόμενο επίπεδο που ονομάζεται STM-4 στα 622 Mb/s.

Τέσσερα AU-4s συνδυάζονται σε ένα Administrative Unit Group (AUG) και τοποθετούνται σ' ένα πλαίσιο STM-4 το οποίο εξακολουθεί να είναι 125-μs μακρύ αλλά έχει τέσσερις φορές τον αριθμό των bytes που έχει ένα STM-1. Το σχήμα 4.1.13 δείχνει το αποτέλεσμα. Κάθε byte σε κάθε VC και των τεσσάρων tributaries είναι εύκολο να βρεθεί χρησιμοποιώντας τους δείκτες.



Σχήμα 4.1.13 STM-4

β) STM-16

Το STM-16 κατασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο με το STM-4 συνδυάζοντας 4 STM-4 σήματα με interleaving. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι 2,4 GB/s.

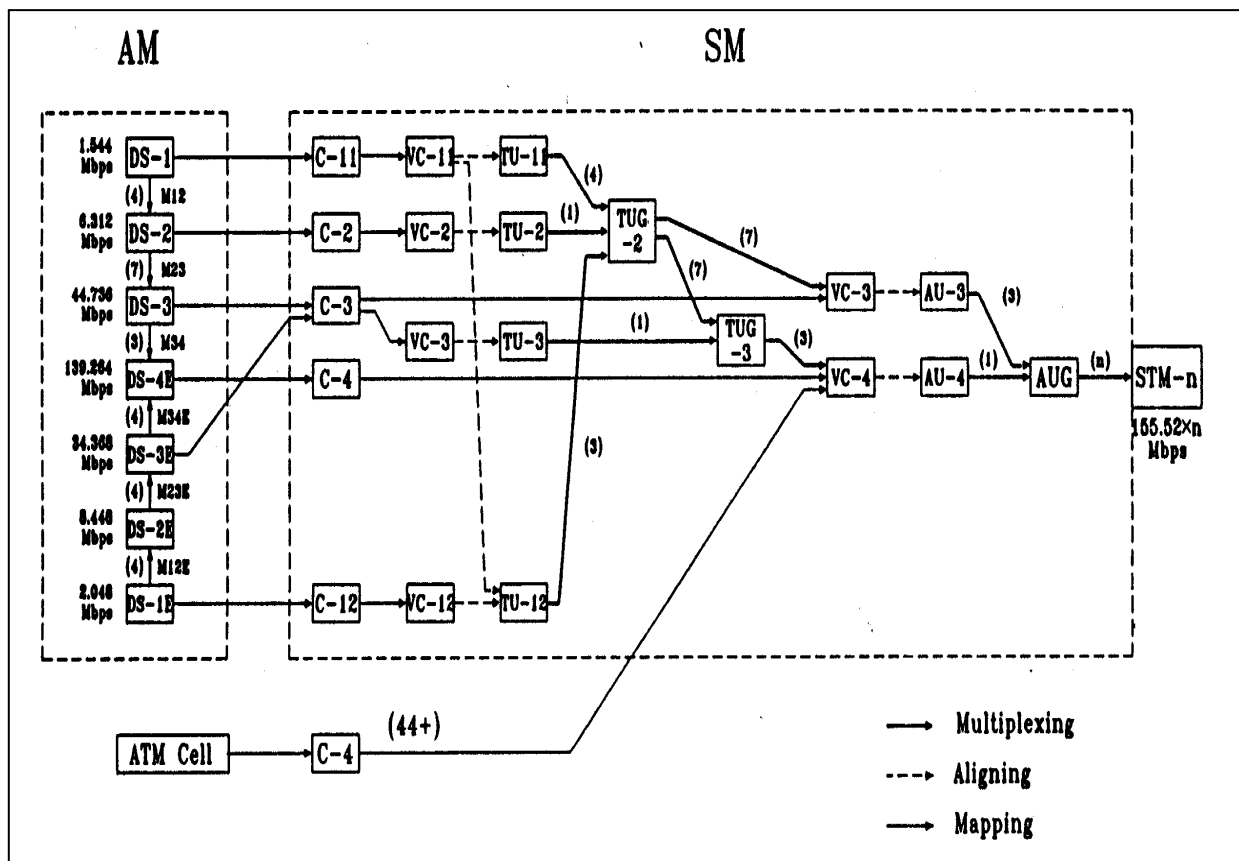
γ) STM-64

Ομοίως κατασκευάζεται και το STM-64 (λέγεται και SL64) συνδυάζοντας 4 STM-16. Ο ρυθμός μετάδοσής του είναι 10 Gbit/s και είναι ο υψηλότερος που έχει καθοριστεί μέχρι τώρα.

Ο SL64 αναφέρεται ως το ευνοϊκότερο σύστημα το οποίο μπορεί και ανταποκρίνεται στις σημερινές απαιτήσεις για μεγάλο εύρος ζώνης. Συνδυάζει την ανώτερη ικανότητα επιβίωσης με την καλύτερη χρήση της χωρητικότητας. Ο SL64 χρησιμοποιείται σε δίκτυα μακρινών αποστάσεων (LD) με υψηλές απαιτήσεις σε χωρητικότητα. Ένα τέτοιο δίκτυο είναι και το SDH, το οποίο αποτελεί την αποδοτικότερη και πλέον αξιόπιστη υποδομή για ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών (POTS, IP, ATM, FR, μισθωμένες γραμμές). Ο SL64 εξασφαλίζει άριστη απόδοση και λειτουργικότητα της χωρητικότητας των ινών. Η τελευταία φτάνει τα 320 Gbit/s με τη δυνατότητα κάλυψης μιας απόστασης 600km χωρίς την μεσολάβηση γεννήτριας. Τέλος, τα μελλοντικά σχέδια προβλέπουν το διπλασιασμό της συνολικής χωρητικότητας για μεταφορά σε 640 Gbit/s.

4.1.14 Διαμορφώσεις ETSI

Το SDH είναι μια διαμόρφωση πολυπλεξίας για ολόκληρο τον κόσμο ενώνοντας έτσι για πρώτη φορά τις διαμορφώσεις της Ευρώπης και της Β. Αμερικής.



Σχήμα 4.1.14 Δομή SDH (ETSI)

Η πολυπλοκότητα των προτύπων προέρχεται από την αναγκαιότητα διαχείρισης όλων των υπαρχόντων PDH διαμορφώσεων και στα δύο συστήματα. Στο σχήμα 4.1.14 φαίνεται το σύνολο των προτύπων που χρησιμοποιούνται στις χώρες που ακολουθούν τις συστάσεις του Ινστιτούτου Προτύπων των Ευρωπαϊκών Τηλεπικοινωνιών (ETSI).

Τα σήματα χαρτογραφούνται σε containers, τα containers πολυπλέκονται σε ομάδες, και με την προσθήκη επικεφαλίδας οικοδομείται ένα σήμα STM-n. Το Οι Ευρωπαϊκές διαμορφώσεις ονομάζονται C-12, C-3 (το C-2 των 8 Mbit/s χρησιμοποιείται σπάνια) και C-4 αντιστοιχούνται όπως δείχνεται στο σχήμα 4.1.14 σε Virtual Containers (VCs). Τα TUs είναι Tributary Units και τα TUGs είναι Tributary Unit Groups τα οποία είναι ενδιάμεσα στάδια προς το τελικό VC-4.

4.2 Η φιλοσοφία των στρωμάτων στην SDH

Η σχεδίαση της Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας των συστημάτων μετάδοσης έγινε βάσει της φιλοσοφίας των στρωμάτων στην αρχιτεκτονική των δικτύων. Σε ένα δίκτυο μετάδοσης διακρίνονται τρία στρώματα:

- α) των κυκλωμάτων (circuit - κύκλωμα είναι το κατάλληλο μέσο μετάδοσης που παρέχεται στο χρήστη ανάλογα με την υπηρεσία που θέλει να κάνει χρήση)
- β) των διαδρομών (paths - το path συνίσταται από ένα ή περισσότερα κυκλώματα)
- γ) των μέσων μετάδοσης (transmission media - π.χ. οπτικές ίνες, ραδιο-ασύρματη μετάδοση κ.λ.π).

Σύνοψη: Επί των διαμορφώσεων ETSI (ETSI configuration)
(βλέπε σχήμα 4.1.9β, 4.1.9δ, 4.1.14)

$C + POH = VC$ (Virtual Container)

$n * VC + PTR = TU \implies n * TU = TUG \implies n * TUG = VC-3 \text{ ή } VC-4$

$VC + PTR = AU \implies AUG \implies n * AUG + SOH = STM-n$

**ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ
ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

■	Επινοήση PCM (από τον Reeves)	1938
■	Εμπορική χρήση PCM	1962
■	Πλησιόχρονη Ιεραρχία PCM (ITU-T)	1972
■	VLSI	1973
■	Εμπορική Χρήση Οπτικών Συστημάτων Μετάδοσης	1980
■	Έναρξη συζήτησης για B-ISDN στη CCITT	1984
■	SONET (Synchronous Optical Network)	1987
■	SDH (Synchronous Digital Hierarchy) (CCITT)	1988

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Τι είναι το SDH;
- 2) Πλεονεκτήματα των SONET και SDH.
- 3) Πώς μεταδίδεται ένα πλαίσιο STM-1;
- 4) Ποια η χρησιμότητα των δεικτών;
- 5) Τι είναι η διοικητική μονάδα AU;
- 6) Μπορεί ένα σήμα STM-1 να μεταφέρει ταυτόχρονα σήματα Ethernet και σήματα φωνής;
Αν ναι, πως επιτυγχάνεται αυτό;