

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

---

# Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

## Ενότητα 5: Εισαγωγή στα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

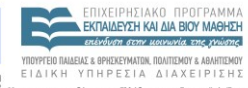
e-mail: [louta@uowm.gr](mailto:louta@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# Άδειες Χρήσης

---

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας 1/2

---

- Κεφάλαιο 5 : Πολυπλεξία
  - Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας
    - Χαρακτηριστικά
    - Συστήματα Αναλογικού Φορέα
  - Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος
  - Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
    - Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
      - Χαρακτηριστικά
    - Στατιστική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
      - Χαρακτηριστικά
    - Συστήματα Πλησιόχρονης και Σύγχρονης Ιεραρχίας
  - Τεχνικές Εξάπλωσης Φάσματος
    - Τεχνικές Μεταπήδησης Συχνότητας
    - Τεχνικές Άμεσης Διαμόρφωσης Ακολουθίας Δεδομένων
    - Συστήματα Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα



# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία (Multiplexing): Ταυτόχρονη χρήση ενός επικοινωνιακού διαύλου από περισσότερες από μία πηγές
- Ο πολυπλέκτης (MUX) πολυπλέκει δεδομένα από τις  $n$  γραμμές εισόδου και τα μεταδίδει πάνω από μία γραμμή με υψηλότερη χωρητικότητα
- Ο αποπολυπλέκτης (DEMUX) δέχεται τη ροή των πολυπλεγμένων δεδομένων, διαχωρίζει (αποπολυπλέκει) τα δεδομένα και τα διανέμει στις κατάλληλες γραμμές εξόδου



# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (*Frequency Division Multiplexing-FDM*)
  - Ένας αριθμός σημάτων μπορεί να μεταδοθεί ταυτόχρονα πάνω από ένα δίαυλο επικοινωνίας διαμορφώνοντας κάθε σήμα σε μία διαφορετική φέρουσα συχνότητα
  - Το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το κάθε σήμα είναι κεντραρισμένο στη φέρουσα συχνότητά του και ονομάζεται κανάλι
  - Οι φέρουσες συχνότητες πρέπει να είναι επαρκώς διαχωρισμένες, ώστε να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των φασμάτων των μεταδιδόμενων σημάτων
    - Κανάλια Φρουροί (*Guard Channels*): αχρησιμοποίητο τμήμα του φάσματος του διαύλου επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των καναλιών επικοινωνίας προς αποφυγή παρεμβολών

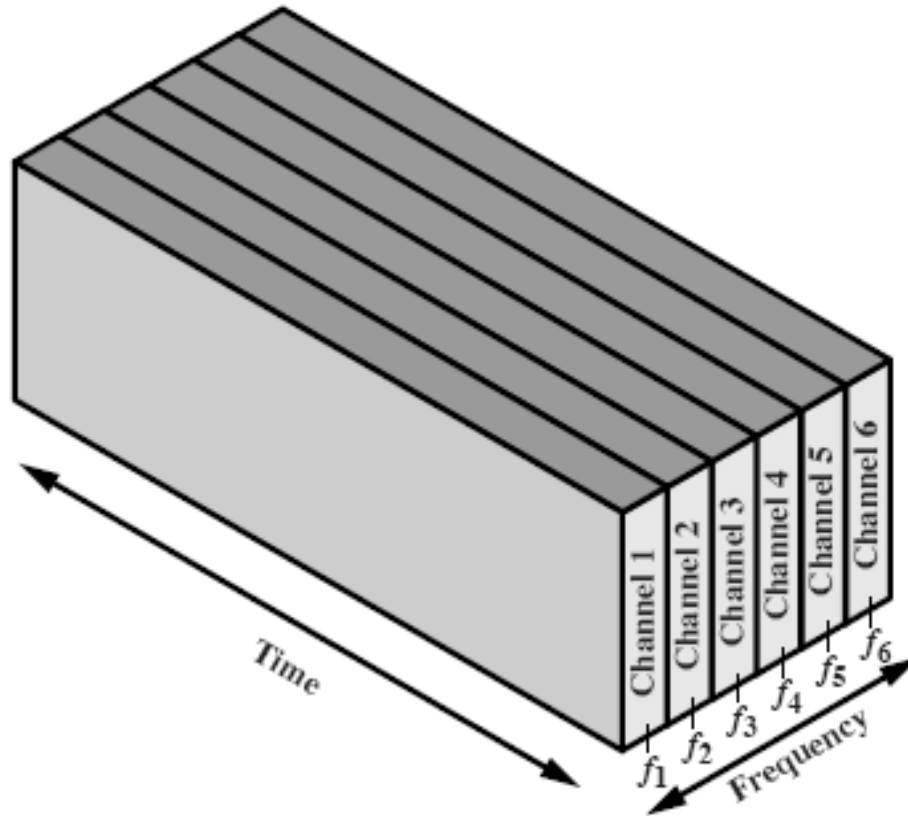


# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (*Frequency Division Multiplexing-FDM*)
  - Η Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας είναι εφικτή μόνο εάν το εύρος ζώνης του επικοινωνιακού διαύλου είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης των προς μετάδοση σημάτων
  - Στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας έχουμε πολυπλεξία αναλογικών σημάτων
    - Στην περίπτωση ψηφιακής εισόδου, απαιτείται πρώτα η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα
  - Πιθανά προβλήματα της Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνότητας
    - Συνακρόαση (*Crosstalk*)
    - Θόρυβος Ενδοδιαμόρφωσης (*Intermodulation*)



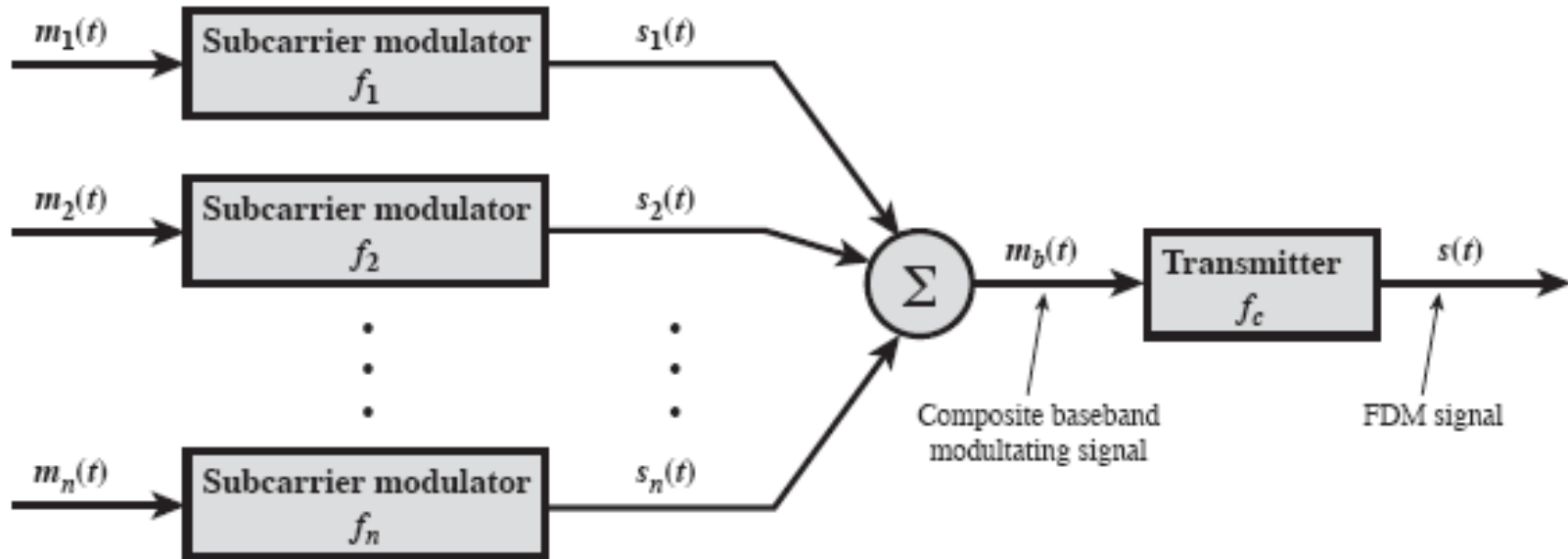
# Πολυπλεξία



Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας



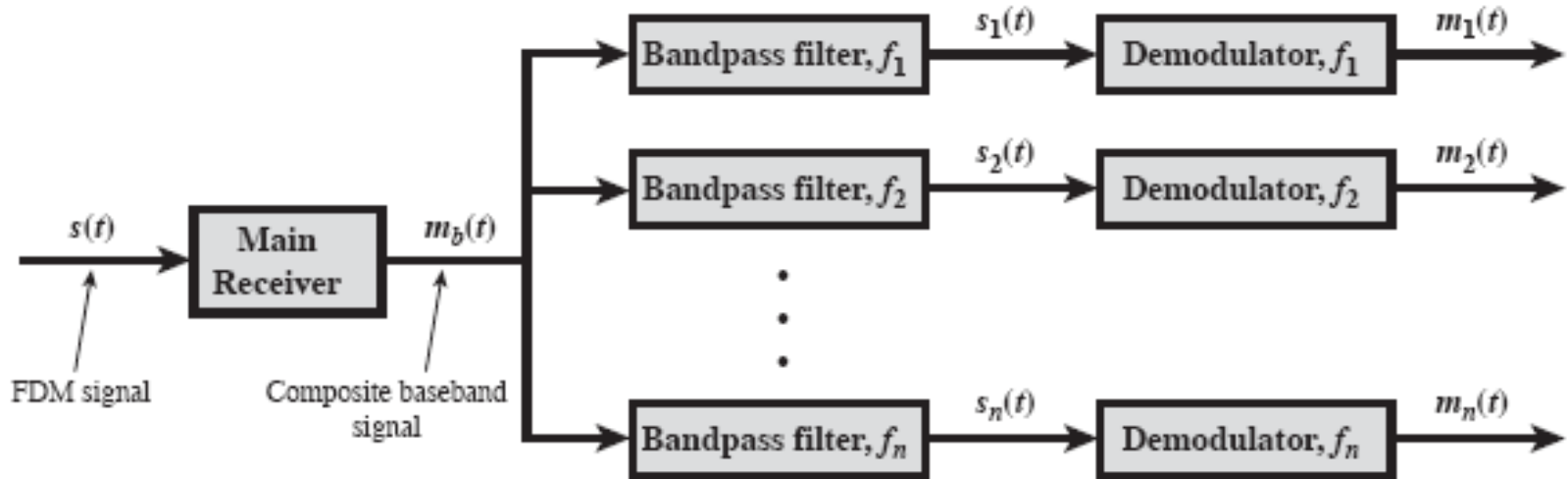
# Πολυπλεξία



Πομπός στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας



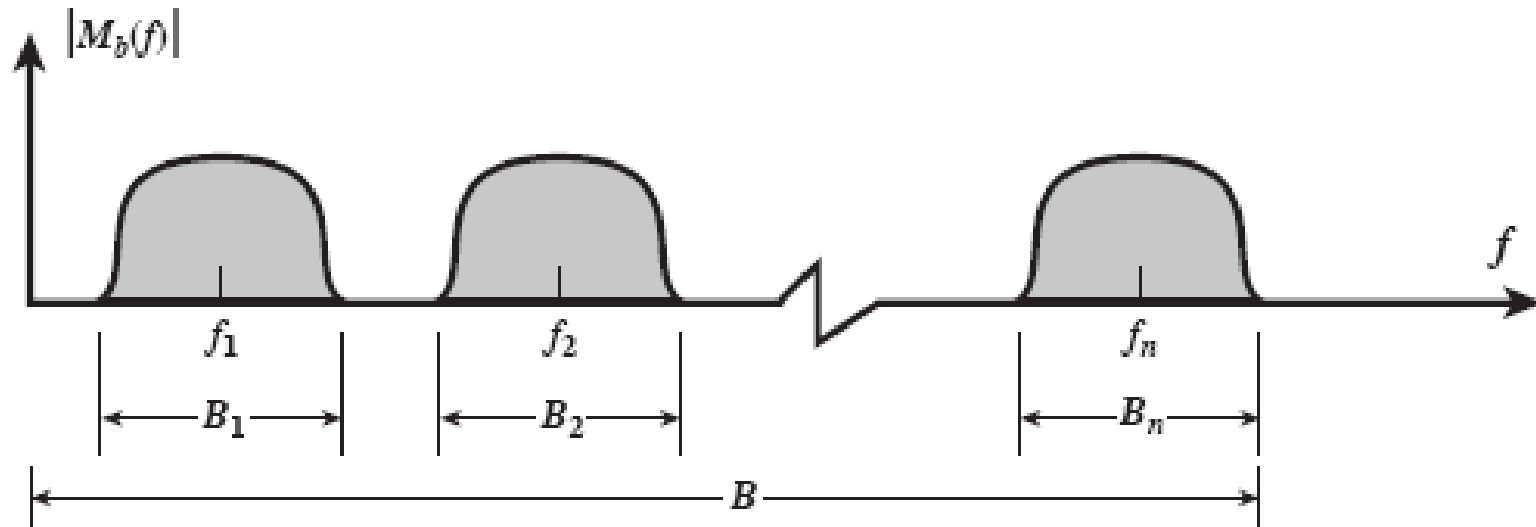
# Πολυπλεξία



Δέκτης στην Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας

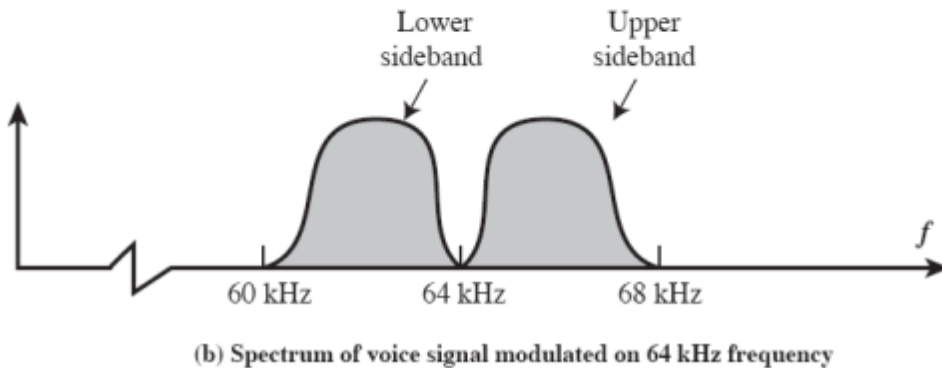
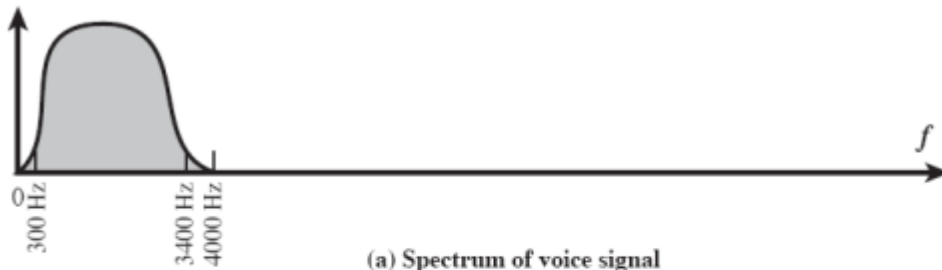


# Πολυπλεξία



Φάσμα του Πολυπλεγμένου Σήματος στην  
Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας

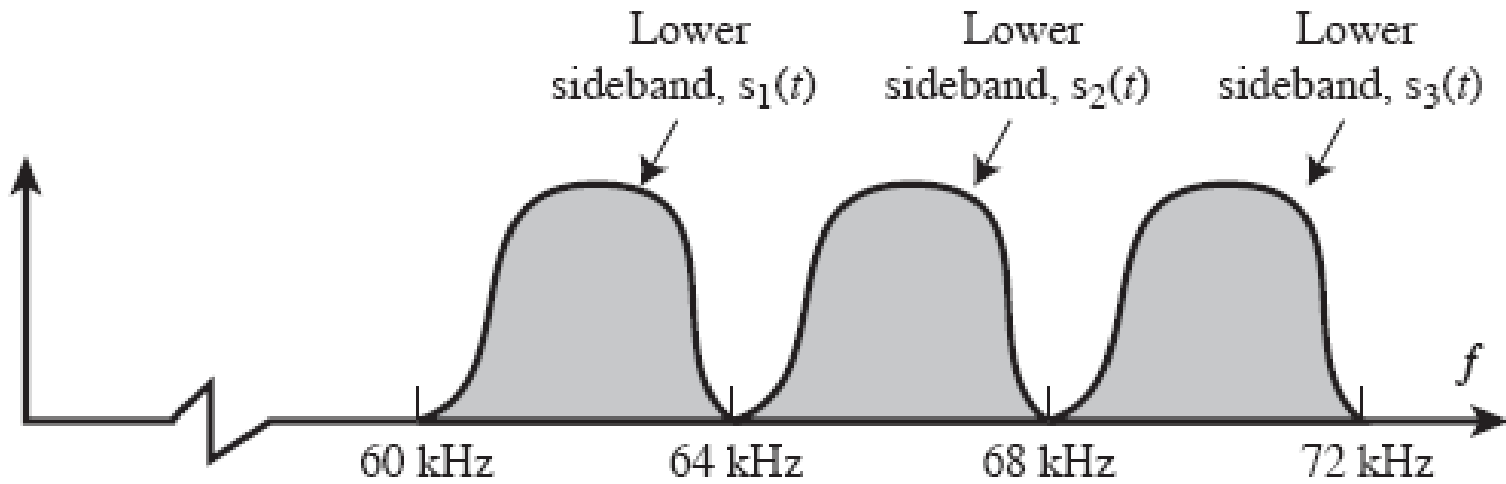
# Πολυπλεξία



(α) Φάσμα σήματος φωνής  
(β) Φάσμα διαμορφωμένου σήματος φωνής στα 64 KHz



# Πολυπλεξία



(c) Spectrum of composite signal using subcarriers at 64 kHz, 68 kHz, and 72 kHz

Παράδειγμα πολυπλεξίας τριών σημάτων φωνής  
(λαμβάνεται μόνο η κάτω πλευρική ζώνη του  
καθενός)

# Πολυπλεξία

- Συστήματα Αναλογικού Φορέα
  - Ιεραρχία δομών *FDM* διαφόρων χωρητικοτήτων που έχει προδιαγραφεί από την *AT&T* και από την *ITU-T*

Number of voice channels	Bandwidth	Spectrum	AT&T	ITU-T
12	48 kHz	60–108 kHz	Group	Group
60	240 kHz	312–552 kHz	Supergroup	Supergroup
300	1.232 MHz	812–2044 kHz		Mastergroup
600	2.52 MHz	564–3084 kHz	Mastergroup	
900	3.872 MHz	8.516–12.388 MHz		Supermaster group
$N \times 600$			Mastergroup multiplex	
3,600	16.984 MHz	0.564–17.548 MHz	Jumbogroup	
10,800	57.442 MHz	3.124–60.566 MHz	Jumbogroup multiplex	



# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (*Wavelength Division Multiplexing-WDM*)
  - Τεχνική Πολυπλεξίας για μετάδοση σημάτων σε οπτικές ίνες. Ένας αριθμός σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος (ή διαφορετικού χρώματος) μπορεί να μεταδοθεί ταυτόχρονα πάνω από μία οπτική ίνα, καταλαμβάνοντας ένα διαφορετικό κανάλι
    - Έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των  $Tbps$  (π.χ. 100 κανάλια που λειτουργεί το καθένα σε ρυθμό μετάδοσης 10 Gbps)
  - Ένα σύστημα πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος έχει τη γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας
    - Ένας αριθμός πηγών δημιουργούν σήματα διαφορετικών μηκών κύματος, τα οποία οδηγούνται σε έναν πολυπλέκτη για τη συνένωση και την εκπομπή τους πάνω σε μία οπτική ίνα
    - Τα περισσότερα WDM συστήματα λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων των 1550 nm
    - ITU-T – G.692 πρότυπο: καθορίζει το διαχωρισμό των καναλιών στην πολυπλεξία WDM. Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο G.692 θεωρεί 8 κανάλια με απόσταση διαχωρισμού ακέραια πολλαπλάσια των 50 GHz ή 100 GHz.
    - CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing: χρησιμοποιούνται περισσότερα κανάλια με μικρότερη απόσταση διαχωρισμού από τα συνηθισμένα WDM συστήματα.
      - ITU-T G.694.2 – καθορίζει 18 κανάλια με απόσταση διαχωρισμού 20 nm.
    - DWDM-Dense Wavelength Division Multiplexing: χρησιμοποιούνται περισσότερα κανάλια με μικρότερη απόσταση διαχωρισμού από τα συνηθισμένα WDM συστήματα.
      - Γενικά, πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος που θεωρεί κανάλια με απόσταση διαχωρισμού από 200 GHz και κάτω μπορεί να θεωρηθεί 'πυκνή'
      - ITU-T G.694.1 – καθορίζει 1200 κανάλια με απόσταση διαχωρισμού 0,1 nm.



# Πολυπλεξία

Frequency (THz)	Wavelength in vacuum (nm)	50 GHz	100 GHz	200 GHz
196.10	1528.77	X	X	X
196.05	1529.16	X		
196.00	1529.55	X	X	
195.95	1529.94	X		
195.90	1530.33	X	X	X
195.85	1530.72	X		
195.80	1531.12	X	X	
195.75	1531.51	X		
195.70	1531.90	X	X	X
195.65	1532.29	X		
195.60	1532.68	X	X	
...	...			
192.10	1560.61	X	X	X

*ITU-T G.692*: Καθορισμός Καναλιών σε WDM Συστήματα



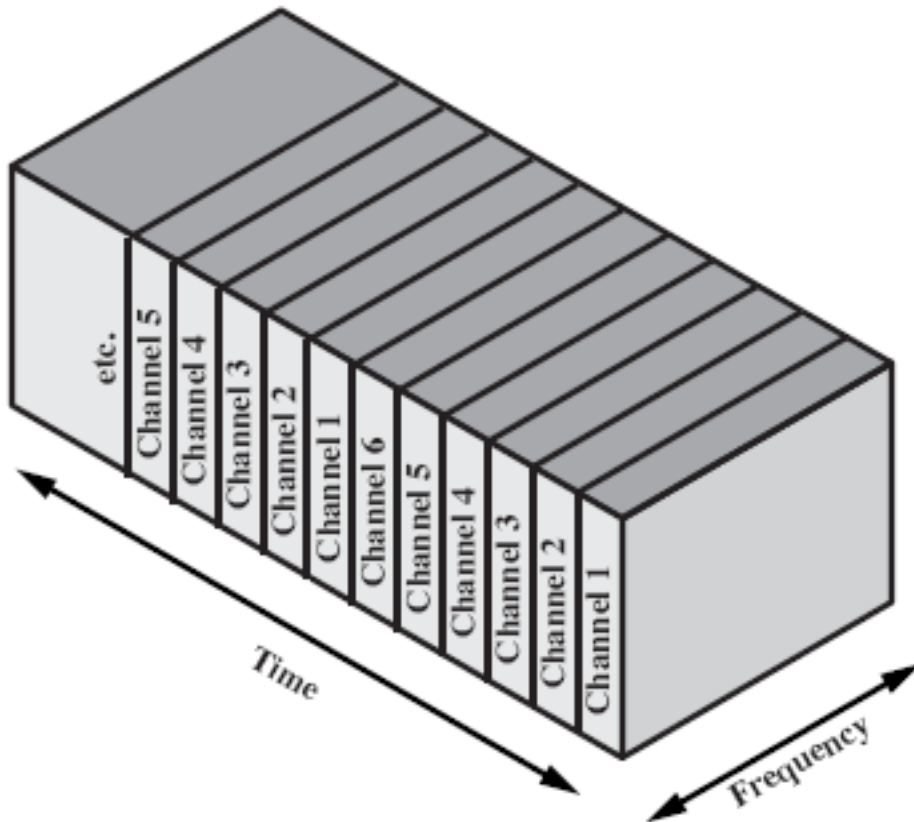


# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (*Time Division Multiplexing-TDM*)
  - Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
    - Πολυπλεξία Ψηφιακών Σημάτων ή Πολυπλεξία Αναλογικών Σημάτων που μεταφέρουν ψηφιακή πληροφορία
    - Είναι εφικτή όταν ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του μέσου που μπορεί να επιτευχθεί είναι μεγαλύτερος ή ίσος του ρυθμού των προς μετάδοση ψηφιακών σημάτων
    - Μετάδοση δεδομένων από πολλαπλές πηγές
      - Δεδομένα από διαφορετικές πηγές μεταφέρονται μέσα σε επαναλαμβανόμενα πλαίσια.
      - Κάθε πλαίσιο αποτελείται από ένα σύνολο σχισμών χρόνου (*time slots*)
      - Σε κάθε πηγή αντιστοιχεί μία ή περισσότερες σχισμές χρόνου ανά πλαίσιο
      - Η διαδοχή των σχισμών που έχουν δοθεί σε μία πηγή από πλαίσιο σε πλαίσιο ονομάζεται κανάλι
      - Επομένως, πολλαπλά σήματα μπορούν να μεταφερθούν πάνω από μία σύνδεση, παρεμβάλλοντας τμήματα του σήματος σε διαφορετικές χρονικές σχισμές
      - Η παρεμβολή των τμημάτων των σημάτων μπορεί να γίνει σε επίπεδο *bit* ή σε επίπεδο *byte* ή σε ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες
        - » Παρεμβολή σε επίπεδο *byte* χρησιμοποιείται συνήθως με ασύγχρονες πηγές
        - » Παρεμβολή σε επίπεδο *bit* χρησιμοποιείται συνήθως με σύγχρονες πηγές, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με ασύγχρονες πηγές



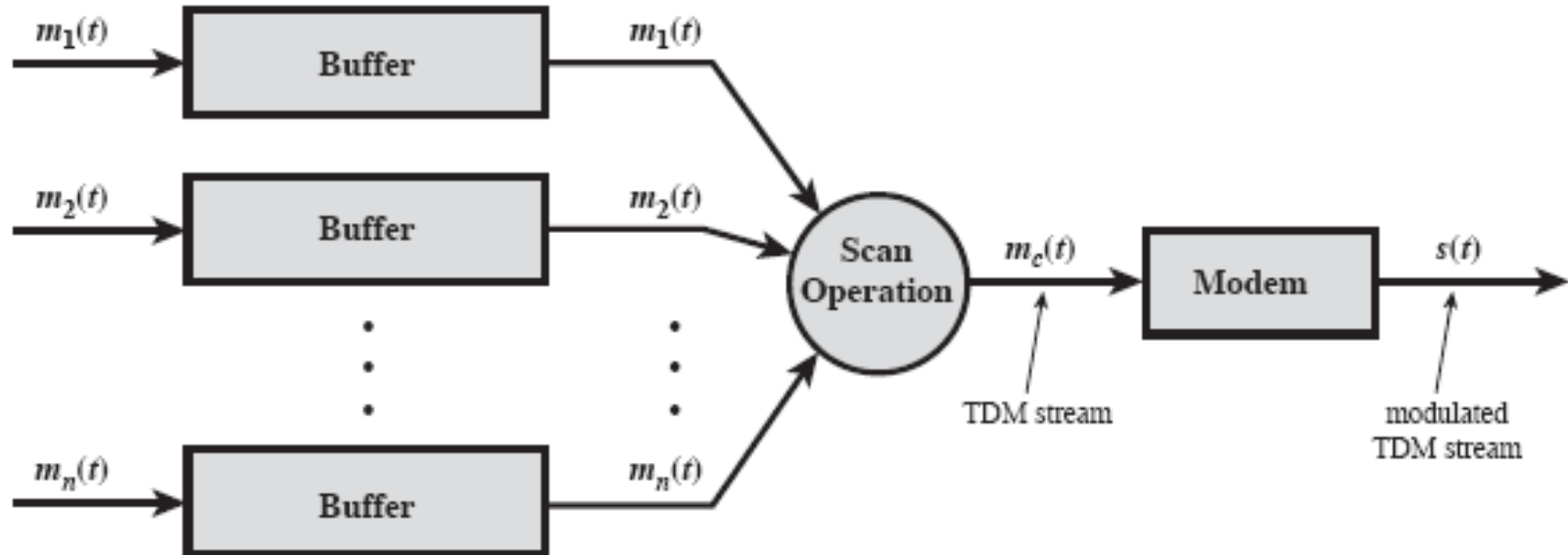
# Πολυπλεξία



Πολυπλεξία  
Διαίρεσης Χρόνου



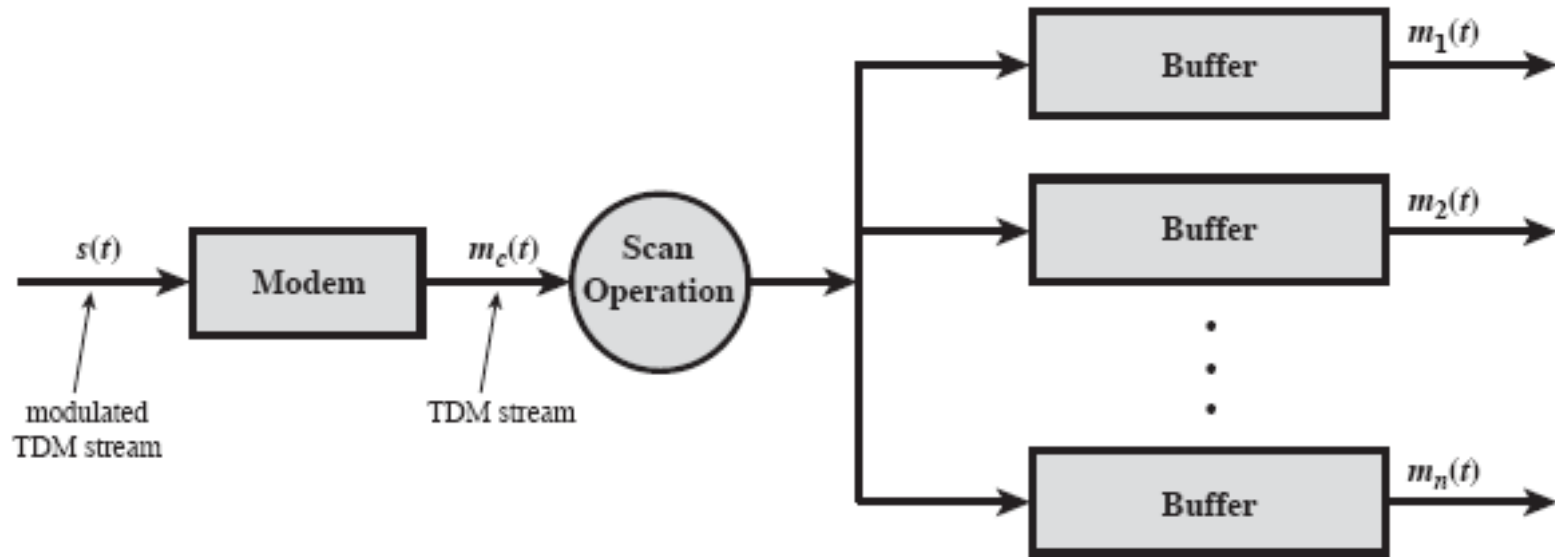
# Πολυπλεξία



Πομπός στη Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου



# Πολυπλεξία

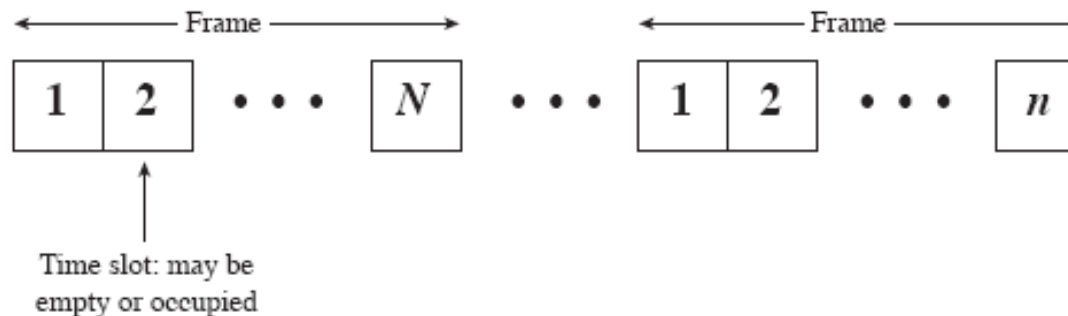


Δέκτης στη Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου



# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
  - Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
    - Η αντιστοίχιση των σχισμών του χρόνου στις πηγές είναι προκαθορισμένη
    - Οι σχισμές χρόνου για κάθε πηγή εκπέμπονται, ακόμη και εάν η πηγή δεν στέλνει δεδομένα
      - Κενές σχισμές χρόνου
    - Μη αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης
    - Υπάρχει δυνατότητα εξυπηρέτησης πηγών διαφορετικού ρυθμού
      - Αντιστοίχιση περισσότερων ή λιγότερων σχισμών χρόνου στις πιο γρήγορες ή στις πιο αργές πηγές, αντίστοιχα

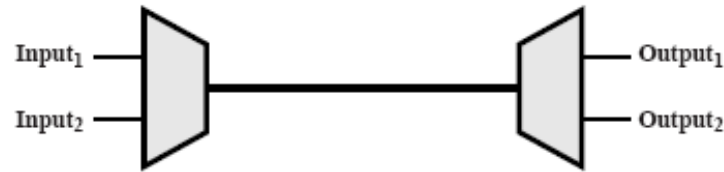


# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
  - Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
    - Έλεγχος Ροής
      - Εφαρμόζεται σε κάθε κανάλι ανεξάρτητα.
      - Σε περίπτωση που μία πηγή έχει κορεστεί, οι σχισμές χρόνου που αντιστοιχούν σε αυτήν μεταδίδονται κενές για ένα μικρό χρονικό διάστημα
    - Ανίχνευση και Διόρθωση Σφαλμάτων
      - Εφαρμόζεται σε κάθε κανάλι ανεξάρτητα
      - *CRC (Cyclic Redundancy Check)*
    - Συγχρονισμός Πομπού και Δέκτη
      - Πλαισίωση Προστιθέμενου Ψηφίου (*Added-Digit Framing*)
      - Ένα *bit* ελέγχου προστίθεται σε κάθε *TDM* πλαίσιο
      - Χρησιμοποιείται μία αναγνωρίσιμη ακολουθία *bit* ελέγχου από πλαίσιο σε πλαίσιο, π.χ. 1010101010..., η οποία είναι πολύ δύσκολο να εμφανισθεί σε ένα κανάλι δεδομένων
      - Ο δέκτης συγκρίνει τα εισερχόμενα *bit* από μία θέση πλαισίου με την αναμενόμενη ακολουθία. Αν η ακολουθία δεν ταιριάζει, ελέγχονται οι διαδοχικές θέσεις των *bit*, μέχρι να βρεθεί η αναμενόμενη ακολουθία. Μόλις επιτευχθεί ο συγχρονισμός πλαισίου, ο δέκτης συνεχίζει να ελέγχει το *bit* πλαισίωσης του καναλιού. Αν η ακολουθία χαθεί, ο δέκτης ξεκινάει και πάλι την αναζήτηση της ακολουθίας ελέγχου.
    - Συγχρονισμός Πολλαπλών Πηγών
      - Αν κάθε πηγή έχει διαφορετικό ρολόι, οποιαδήποτε διαφοροποίηση μεταξύ των ρολογιών θα μπορούσε να οδηγήσει σε έλλειψη συγχρονισμού
      - Τεχνική Παρεμβολής Παλμών (*Bit Stuffing*): ο ρυθμός εξόδου των δεδομένων του πολυπλέκτη είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο στιγμιαίο ρυθμό των πηγών
      - Η κάλυψη της επιπρόσθετης χωρητικότητας γίνεται με «ψεύτικους» παλμούς μέσα σε κάθε εισερχόμενο σήμα, σε προκαθορισμένες θέσεις μέσα στη διάταξη του πλαισίου του πολυπλέκτη, ώστε να γίνουν αντιληπτοί και να αφαιρεθούν από τον αποπολυπλέκτη



# Πολυπλεξία



(a) Configuration

Input<sub>1</sub>..... F<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub>  
 Input<sub>2</sub>... F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub>

(b) Input data streams

... f<sub>2</sub> F<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> d<sub>1</sub> A<sub>2</sub> C<sub>1</sub> F<sub>2</sub> A<sub>1</sub> f<sub>2</sub> F<sub>1</sub> f<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>1</sub> A<sub>2</sub> A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>1</sub>

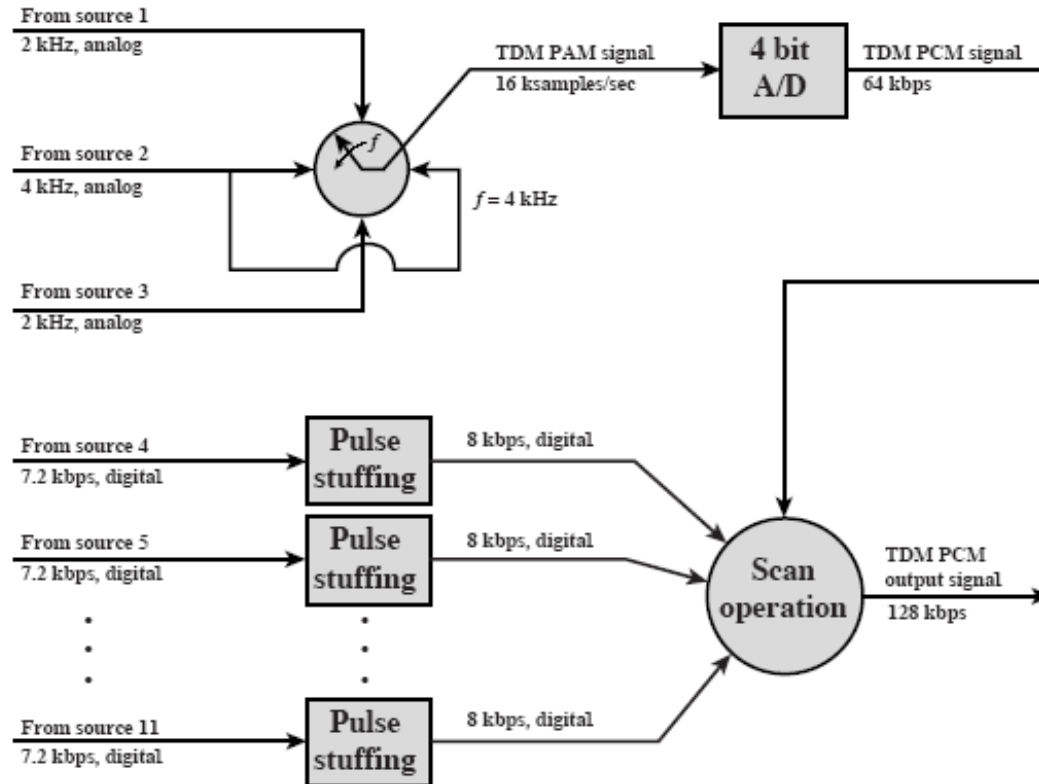
(c) Multiplexed data stream

Legend: F = flag field    d = one octet of data field  
 A = address field    f = one octet of FCS field  
 C = control field

Έλεγχος Ροής και Έλεγχος Σφαλμάτων σε TDM κανάλια



# Πολυπλεξία



Παρεμβολή παλμών σε *TDM* συστήματα





# Πολυπλεξία

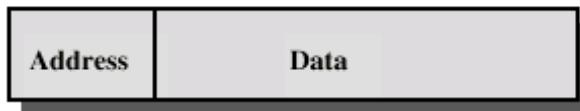
- Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
  - Στατιστική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου
    - Αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης του διαύλου επικοινωνίας με κόστος την εισαγωγή πολυπλοκότητας στον πολυπλέκτη.
    - Στη Στατιστική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου, ο πολυπλέκτης δεσμεύει δυναμικά τις χρονικές σχισμές των πλαισίων ανάλογα με τη ζήτηση.
    - Όπως και στη Σύγχρονη Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου, ο πολυπλέκτης έχει  $n$  εισόδους με ενδιάμεση μνήμη και μία έξοδο υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Ο σαρωτής σαρώνει τις ενδιάμεσες μνήμες εισόδου & συλλέγει δεδομένα έως ότου γεμίσει ένα πλαίσιο.
    - Κενές χρονικές σχισμές δεν αποστέλλονται.
    - Καθώς δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων σε ποια πηγή αντιστοιχεί κάθε χρονική σχισμή, απαιτείται μετάδοση πληροφοριών διεύθυνσης για να είναι δυνατή η ορθή αποπολύπλεξη των δεδομένων.
    - Κάθε σχισμή μεταφέρει εκτός από τα δεδομένα και πληροφορίες διεύθυνσης, οπότε έχουμε επιβάρυνση.
    - Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων της εξόδου του πολυπλέκτη είναι μικρότερος του αθροίσματος των ρυθμών των πολλαπλών πηγών εισόδου. Παρόλα αυτά είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί ο ίδιος αριθμός πηγών όπως και στη σύγχρονη πολυπλεξία, αφού όλες οι πηγές δεν εκπέμπουν ταυτόχρονα.



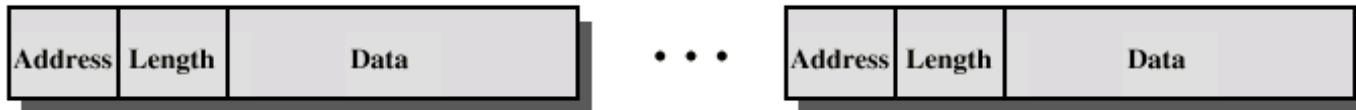
# Πολυπλεξία



(a) Overall frame



(b) Subframe with one source per frame



(c) Subframe with multiple sources per frame

Μορφές Πλαισίων σε Στατιστικά *TDM* Συστήματα



# Πολυπλεξία

- Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου

- Στατιστική Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου

- Πρόβλημα: Ενώ η μέση συνολική είσοδος γενικά είναι μικρότερη από τη χωρητικότητα της πολυπλεγμένης γραμμής, είναι δυνατόν να υπάρξουν περίοδοι αιχμής κατά τη διάρκεια των οποίων η είσοδος θα υπερβεί τη χωρητικότητα.
- Επίλυση του προβλήματος αυτού μπορεί να επιτευχθεί συμπεριλαμβάνοντας μία προσωρινή μνήμη στον πολυπλέκτη για την αποθήκευση της προσωρινής υπέρβασης εισόδου.
- Επιθυμητό είναι να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερου μεγέθους ενδιάμεση μνήμη και όσο το δυνατόν μικρότερο ρυθμό εξόδου πολυπλέκτη.
  - Η μικρού μεγέθους ενδιάμεση μνήμη ουσιαστικά εξασφαλίζει ανεκτές καθυστερήσεις στη μετάδοση δεδομένων της κάθε πηγής.
  - Η μείωση του ρυθμού εξόδου του πολυπλέκτη ουσιαστικά εξασφαλίζει αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης της σύνδεσης, μη λαμβάνοντας υπόψη όμως τις πιθανές 'εκρήξεις' των πηγών.
  - Μείωση του ρυθμού εξόδου του πολυπλέκτη οδηγεί σε αύξηση της ενδιάμεσης μνήμης και αντίστροφα για να μην έχουμε απώλεια δεδομένων
    - » Υπάρχει πάντα μία πεπερασμένη πιθανότητα η ενδιάμεση μνήμη να υπερχειλίσει. Η πιθανότητα αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της ενδιάμεσης μνήμης που έχει θεωρηθεί και από το βαθμό χρήσης του διαύλου επικοινωνίας.



# Πολυπλεξία

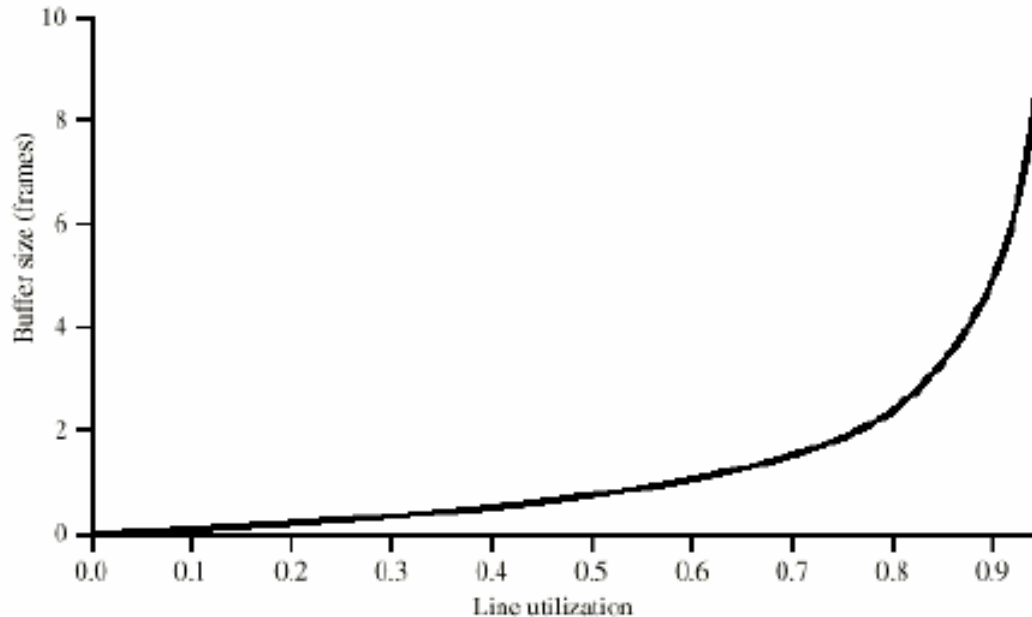
Input <sup>a</sup>	Capacity = 5000 bps		Capacity = 7000 bps	
	Output	Backlog	Output	Backlog
6	5	1	6	0
9	5	5	7	2
3	5	3	5	0
7	5	5	7	0
2	5	2	2	0
2	4	0	2	0
2	2	0	2	0
3	3	0	3	0
4	4	0	4	0
6	5	1	6	0
1	2	0	1	0
10	5	5	7	3
7	5	7	7	3
5	5	7	7	1
8	5	10	7	2
3	5	8	5	0
6	5	9	6	0
2	5	6	2	0
9	5	10	7	2
5	5	10	7	0

Παράδειγμα απόδοσης  
στατιστικού  
πολυπλέκτη

<sup>a</sup>Input = 10 sources, 1000 bps/source; average input rate = 50% of maximum.



# Πολυπλεξία

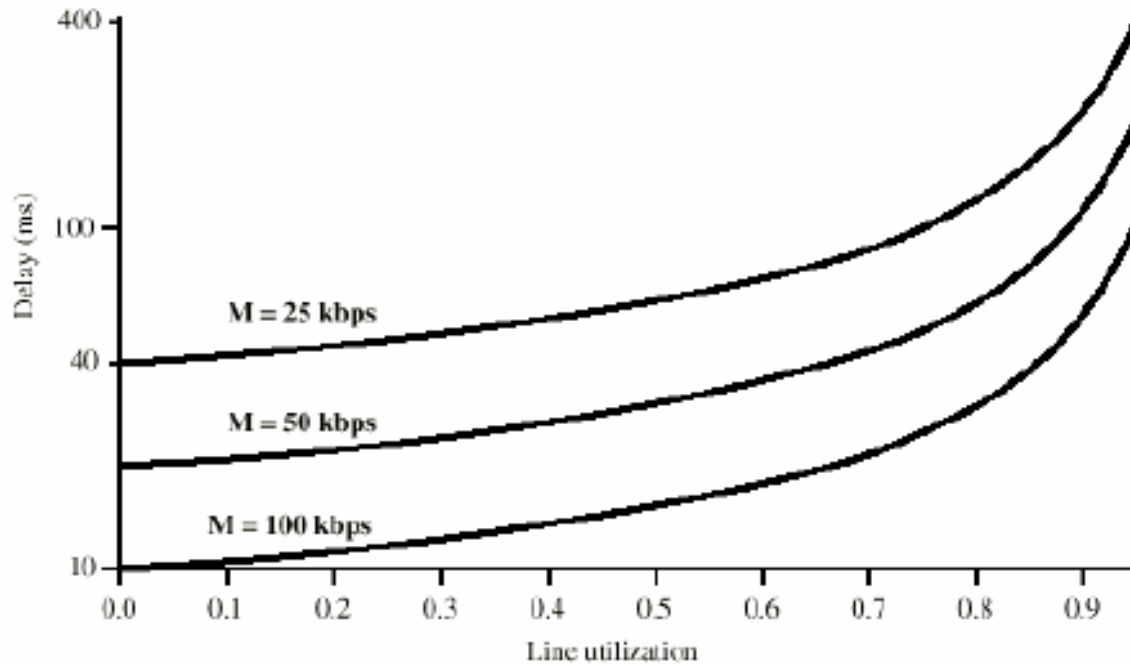


(a) Mean buffer size versus utilization

Μέσο μέγεθος ενδιάμεσης μνήμης συναρτήσσει του βαθμού χρήσης του διαύλου επικοινωνίας στη στατιστική πολυπλεξία



# Πολυπλεξία



(a) Mean delay versus utilization

Μέση καθυστέρηση συναρτήσσει του βαθμού χρήσης του διαύλου επικοινωνίας στη στατιστική πολυπλεξία



# Πολυπλεξία

- Συστήματα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας (*Plesiochronous Digital Systems-PDH*)
  - Ιεραρχία δομών *TDM* διαφόρων χωρητικοτήτων που έχει προδιαγραφεί από την *AT&T* και από την *ITU-T (G.740-G.750)*
  - Πολύπλεξη πλησιόχρονων σημάτων
    - Πλησιόχρονα σήματα – σήματα που προέρχονται από πηγές με κοινό σήμα χρονισμού ή που προέρχονται από πηγές με διαφορετικό ρολόι, αλλά έχει προηγηθεί ο συγχρονισμός τους (με την τεχνική παρεμβολής παλμών), έτσι ώστε οι πηγές να έχουν ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων

North American			International (ITU-T)		
Designation	Number of Voice Channels	Data Rate (Mbps)	Level	Number of Voice Channels	Data Rate (Mbps)
DS-1	24	1.544	1	30	2.048
DS-1C	48	3.152	2	120	8.448
DS-2	96	6.312	3	480	34.368
DS-3	672	44.736	4	1920	139.264
DS-4	4032	274.176	5	7680	565.148



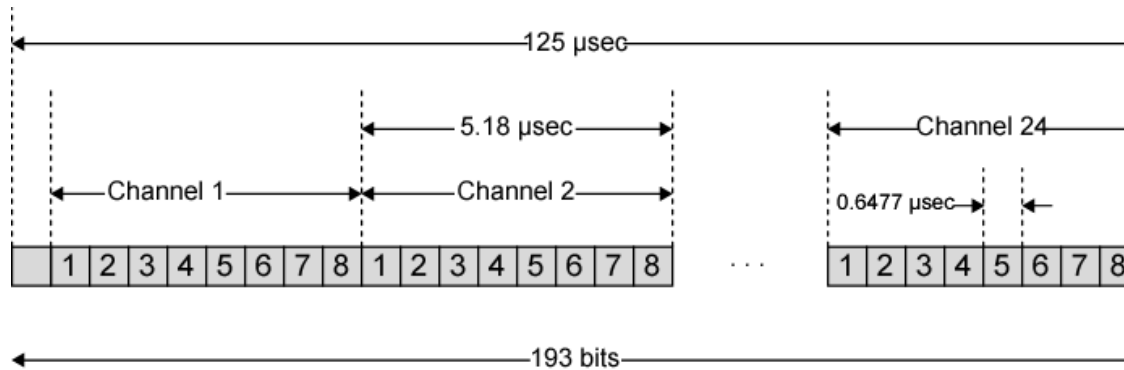
# Πολυπλεξία

- Συστήματα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας (*Plesiochronous Digital Systems-PDH*)
  - Αμερικάνικο Σύστημα *T1*
    - *T1* – πρώτο επίπεδο ιεραρχίας
      - *DS-1(Digital Signal-1)*, το οποίο πολυπλέκει 24 κανάλια και επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης *1,544 Mbps*.
      - Τηλεφωνική σηματοδότηση: *Channel Associated Signaling*
        - » Υπάρχει μικρή υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος φωνής, η οποία όμως δεν είναι σημαντική για την απλή τηλεφωνία.
      - Κωδικοποίηση: *B8ZS*.
  - Ευρωπαϊκό Σύστημα *E1*
    - *E1* – πρώτο επίπεδο ιεραρχίας
      - Πολυπλέκει 32 κανάλια, όπου τα 30 μεταδίδουν καθαρή πληροφορία και τα 2 χρησιμοποιούνται για συγχρονισμό και μετάδοση σήμανσης.
      - Η πρώτη οκτάδα ψηφίων χρησιμοποιείται για συγχρονισμό πομπού και δέκτη και δείχνει την έναρξη του πλαισίου και η δέκατη έβδομη οκτάδα ψηφίων χρησιμοποιείται κυρίως για μετάδοση σήμανσης των 30 τηλεφωνικών καναλιών.
      - Επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης *2,048 Mbps*.
      - Κωδικοποίηση: *HDB3*.





# Πολυπλεξία



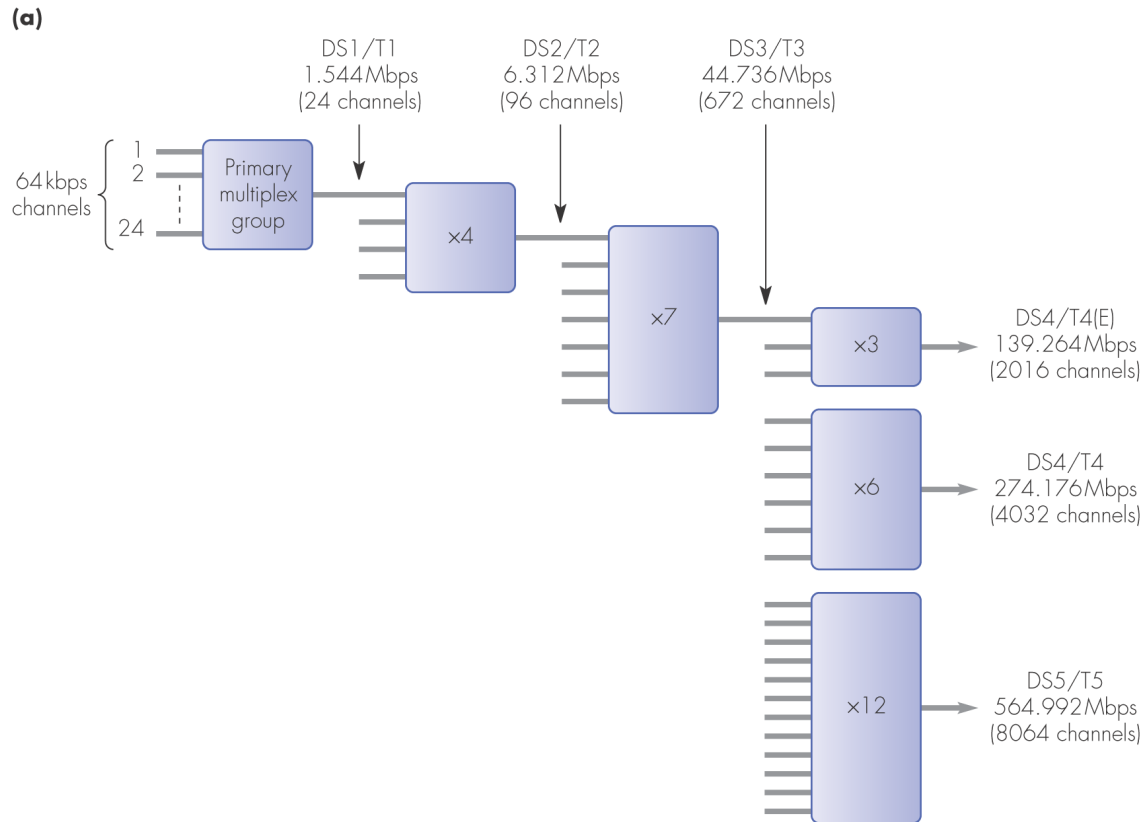
## Notes:

1. The first bit is a framing bit, used for synchronization.
2. Voice channels:
  - 8-bit PCM used on five of six frames.
  - 7-bit PCM used on every sixth frame; bit 8 of each channel is a signaling bit.
3. Data channels:
  - Channel 24 is used for signaling only in some schemes.
  - Bits 1-7 used for 56 kbps service
  - Bits 2-7 used for 9.6, 4.8, and 2.4 kbps service.

## Αμερικάνικο Σύστημα T1



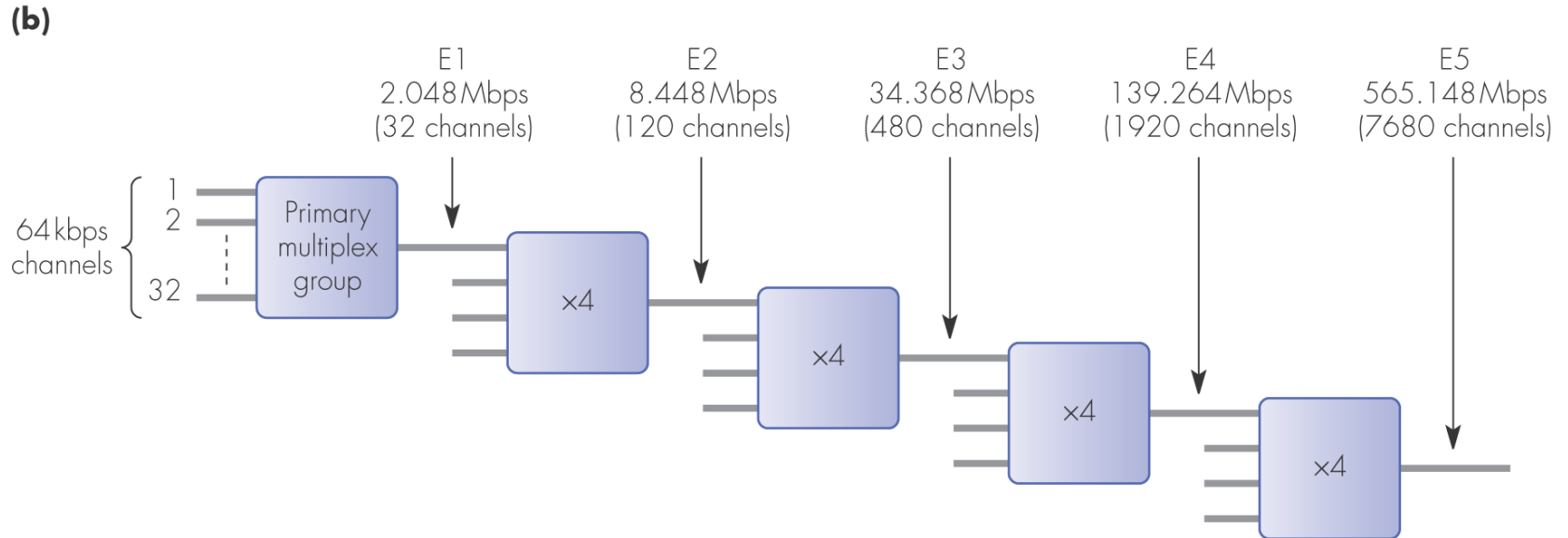
# Πολυπλεξία



Αμερικάνικο Σύστημα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας



# Πολυπλεξία



Ευρωπαϊκό Σύστημα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας

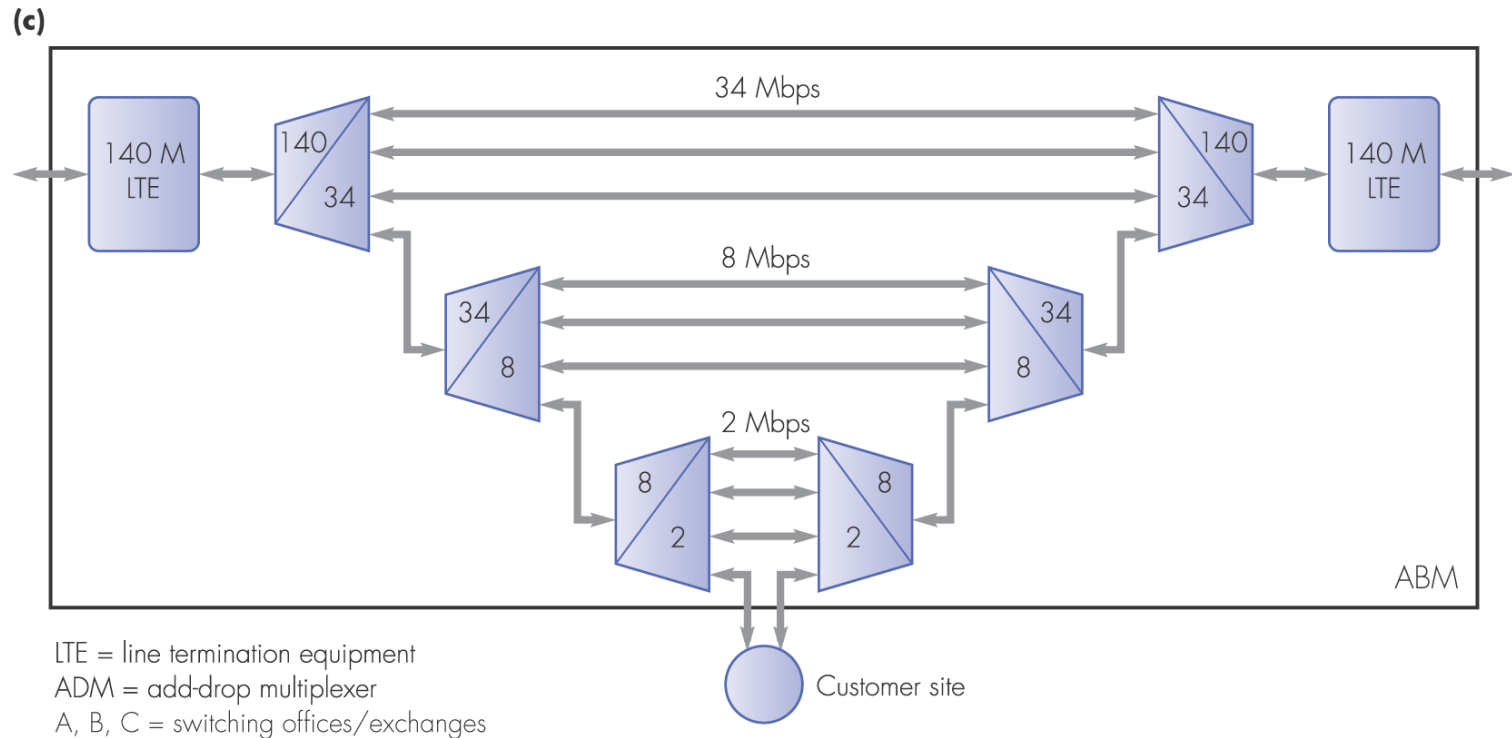


# Πολυπλεξία

- Συστήματα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας (*Plesiochronous Digital Hierarchy-PDH*)
  - Η πλησιόχρονη ιεραρχία βασίζεται στην *TDM* πολύπλεξη με διαδοχικά βήματα πολύπλεξης.
  - Το γεγονός αυτό έχει ως μειονέκτημα το ότι για να προστεθεί ή να αφαιρεθεί ένα ψηφιακό σήμα χαμηλότερης ταχύτητας (π.χ. *2,048 Mbps*) από ένα ψηφιακό σήμα υψηλότερης τάξης (π.χ. *139,264 Mbps*) πρέπει πρώτα να γίνει αποπολύπλεξη σε όλα τα διαδοχικά επίπεδα από την ανώτερη ως την κατώτερη στάθμη.
    - Διαδικασία χρονοβόρα, υψηλού κόστους και πολύπλοκη
  - Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα τη δίνουν τα Συστήματα Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας (*Synchronous Digital Hierarchy Systems – SDH* και *Synchronous Optical Networks - SONET*)



# Πολυπλεξία



Απομάστευση σε Σύστημα Πλησιόχρονης Ιεραρχίας



# Πολυπλεξία

- Συστήματα Σύγχρονης Ιεραρχίας (*Synchronous Digital Hierarchy-SDH & Synchronous Optical Networks - SONET*)
  - Η βασική ιδέα των *SONET & SDH* είναι η δυνατότητα μεταγωγής ή απομάστευσης καναλιών οποιασδήποτε τάξης μέσα στο δίκτυο, χωρίς να υπάρχει ανάγκη πολύπλεξης ή αποπολύπλεξης όλου του σήματος.
  - Προηγήθηκε η ανάπτυξη του *SONET* στις ΗΠΑ για επικοινωνίες μέσω οπτικών ινών, ενώ ακολούθησε το *SDH*, το οποίο είναι η διεθνής τυποποίηση κατά *ITU-T*.
  - Το *SDH* τυποποιεί τον τρόπο πολύπλεξης των σημάτων *1,544 Mbps*, *2,048 Mbps*, *6,312 Mbps*, *8,488 Mbps*, *34,368 Mbps*, *44,736 Mbps* και *139,264 Mbps* σε ένα νέο ρυθμό *155,52 Mbps*.
    - Με το *SDH* γίνονται τα πρώτα βήματα προσπέρασης των δυσκολιών που είχαν προκύψει από τις διαφορές των συστημάτων υψηλών ταχυτήτων μεταξύ Ευρώπης και ΗΠΑ.
  - Το σήμα ρυθμού *155,52 Mbps* είναι γνωστό ως *STM-1 (Synchronous Transport Module-1)*.
  - Υψηλότεροι ρυθμοί καλύπτονται από τα *STM-4*, *STM-16* κλπ.



# Πολυπλεξία

- Συστήματα Σύγχρονης Ιεραρχίας (*Synchronous Digital Hierarchy-SDH & Synchronous Optical Networks - SONET*)
  - Χαρακτηριστικά *SDH*
    - Είναι σύγχρονο.
    - Χρησιμοποιείται περισσότερο σε δίκτυα κορμού οπτικών ινών, αλλά επιτρέπει και τη χρήση διαφορετικών μέσων.
    - Χρησιμοποιεί απλοποιημένες τεχνικές πολύπλεξης / αποπολύπλεξης.
    - Ενσωματώνει / απομαστεύει κανάλια χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης χωρίς τη συνολική πολύπλεξη / αποπολύπλεξη του κύριου σήματος υψηλής ταχύτητας.
    - Έχει εύκολα επεκτάσιμη δομή σε υψηλότερες ταχύτητες και στάδια πολύπλεξης.
    - Προβλέπει κανάλια για διαχείριση δικτύου, προσφέροντας βελτιωμένες τεχνικές διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου.
    - Προσφέρει ενοποίηση των Αμερικανικών και Ευρωπαϊκών τεχνολογιών σε μία παγκόσμια τυποποίηση.
  - Φιλοσοφία *SDH*
    - Τα δεδομένα για κάθε ένα ρυθμό μετάδοσης μπορούν να πακεταριστούν σε ένα πλαίσιο σταθερού μεγέθους που ονομάζεται κοντέϊνερ και να τοποθετηθούν σε μία εύκολα προσδιορίσιμη θέση μέσα σε ένα πολυπλεγμένο πλαίσιο υψηλότερης ταχύτητας ή ανώτερης τάξης.



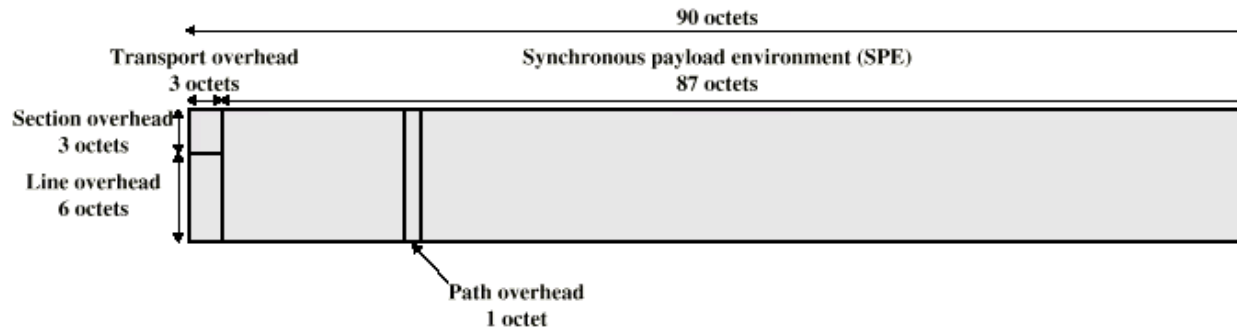
# Πολυπλεξία

- Συστήματα Σύγχρονης Ιεραρχίας (*Synchronous Digital Hierarchy-SDH & Synchronous Optical Networks - SONET*)
  - *SDH*
    - *STM-1* είναι η βασική δομή στην ψηφιακή μετάδοση *SDH*. Μέσα στο πλαίσιο προδιορίζεται σαφώς η θέση της καθαρής πληροφορίας (φωνή, δεδομένα), καθώς και των πληροφοριών ελέγχου.
    - Το *STM-1* αποτελείται από 9 σειρές των 270 οκτάδων έκαστη και επαναλαμβάνεται κάθε 125  $\mu\text{sec}$ , δίδοντας ρυθμό μετάδοσης 155,52 *Mbps*. Οι πληροφορίες ελέγχου καταλαμβάνουν τις πρώτες 9 οκτάδες των 9 σειρών.
    - Η πολύπλεξη σε ανώτερη τάξη γίνεται σε επίπεδο *byte*.
  - *SONET*
    - Αντίστοιχα, το βασικό δομικό στοιχείο του *SONET* είναι το *STS-1* (*Synchronous Transport Signal -1*) ή *OC-1* (*Optical Carrier -1*)
    - Το *STS-1* είναι ένα πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από 9 σειρές των 90 οκτάδων έκαστη και επαναλαμβάνεται κάθε 125  $\mu\text{sec}$ , δίδοντας ρυθμό μετάδοσης 51,84 *Mbps*
    - Οι πληροφορίες ελέγχου καταλαμβάνουν 9 σειρές των 3 οκτάδων (*Transport Overhead*) και 9 σειρές της μία οκτάδας (*Path Overhead*)

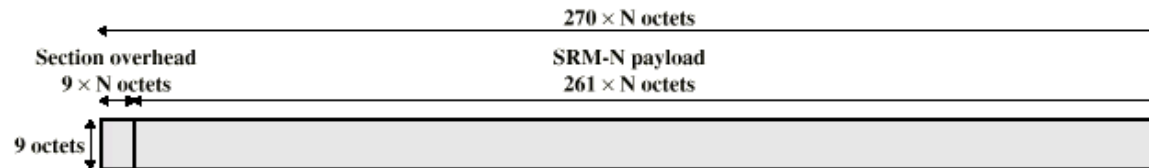




# Πολυπλεξία



(a) STS-1 frame format



(b) STM-N frame format

Μορφή πλαισίου *SONET & SDH*



# Πολυπλεξία

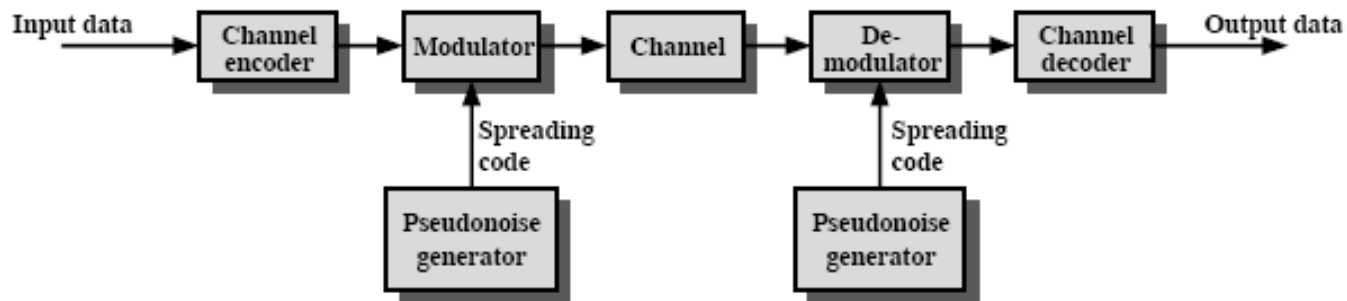
SONET Designation	ITU-T Designation	Data Rate	Payload Rate (Mbps)
STS-1/OC-1	STM-0	51.84 Mbps	50.112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155.52 Mbps	150.336 Mbps
STS-9/OC-9		466.56 Mbps	451.008 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622.08 Mbps	601.344 Mbps
STS-18/OC-18		933.12 Mbps	902.016 Mbps
STS-24/OC-24		1.24416 Gbps	1.202688 Gbps
STS-36/OC-36		1.86624 Gbps	1.804032 Gbps
STS-48/OC-48	STM-16	2.48832 Gbps	2.405376 Gbps
STS-96/OC-96		4.87664 Gbps	4.810752 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9.95328 Gbps	9.621504 Gbps
STS-768	STM-256	39.81312 Gbps	38.486016 Gbps
STS-3072		159.25248 Gbps	1.53944064 Gbps

## Ιεραρχία Σημάτων *SONET* & *SDH*



# Πολυπλεξία

- Τεχνικές Εξάπλωσης Φάσματος (*Spread Spectrum Techniques*)
  - Βασική Ιδέα: Επέκταση του σήματος πληροφορίας (αναλογικού ή ψηφιακού) σε ένα ευρύτερο εύρος ζώνης, έτσι ώστε να γίνει δυσκολότερη η παρεμπόδιση (*jamming*) και η υποκλοπή του (*interception*).
  - Αναπτύχθηκαν αρχικά για στρατιωτικές εφαρμογές.
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κρυπτογράφηση δεδομένων.
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν πολλαπλή πρόσβαση σε κοινό μέσο με μικρή μόνο παρεμβολή.
  - Διαφορετικές τεχνικές:
    - Μεταπήδηση Συχνότητας
    - Άμεση Διαμόρφωση Ακολουθίας Δεδομένων
    - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα

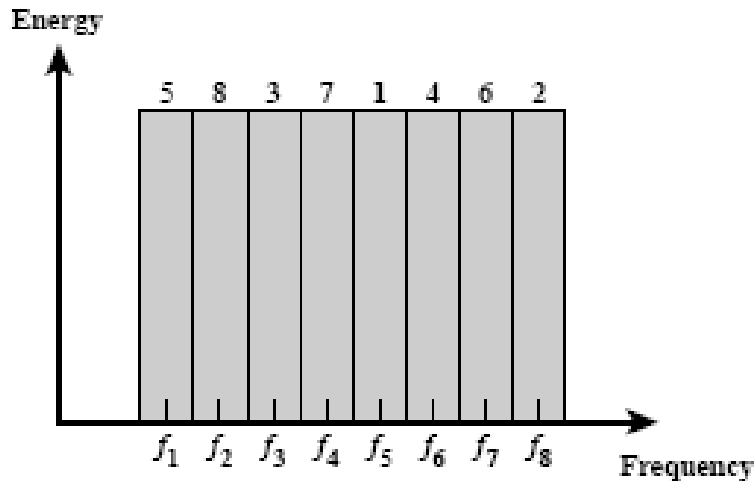


# Πολυπλεξία

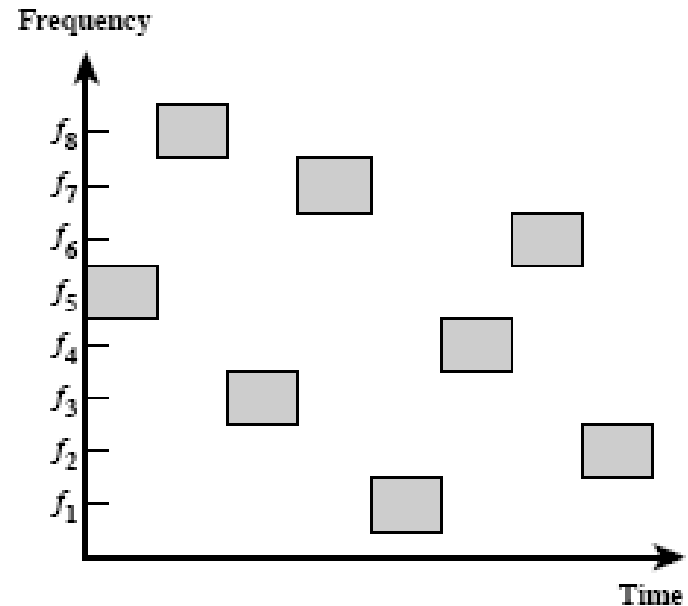
- Τεχνικές Εξάπλωσης Φάσματος
  - Μεταπήδηση Συχνότητας (*Frequency Hopping*)
    - Το σήμα μεταδίδεται πάνω από φαινομενικά τυχαίες σειρές ραδιοσυχνοτήτων μεταπηδώντας από συχνότητα σε συχνότητα σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (π.χ. *300 ms*).
    - Ο δέκτης μεταπηδάει από συχνότητα σε συχνότητα σε συγχρονισμό με τον πομπό για να μπορέσει να λάβει το μήνυμα.
    - Οι υποκλοπείς ακούνε μόνο ακατανόητους ήχους.
    - Οι προσπάθειες για παρεμπόδιση του σήματος επιτυγχάνουν να εξαλείψουν μόνο μερικά *bits*.
    - Συνήθως, χρησιμοποιούνται  $2^k$  διαφορετικές συχνότητες, ενώ η απόσταση διαχωρισμού τους είναι ίση με το εύρος ζώνης του σήματος εισόδου.
    - Η σειρά των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται υποδεικνύεται από έναν κώδικα εξάπλωσης ( $k$  *bits* του κώδικα εξάπλωσης δείχνουν τη θέση του πίνακα συχνοτήτων – συχνότητα που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα).
    - Ο πομπός και ο δέκτης χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα εξάπλωσης σε συγχρονισμό.



# Πολυπλεξία



(a) Channel assignment

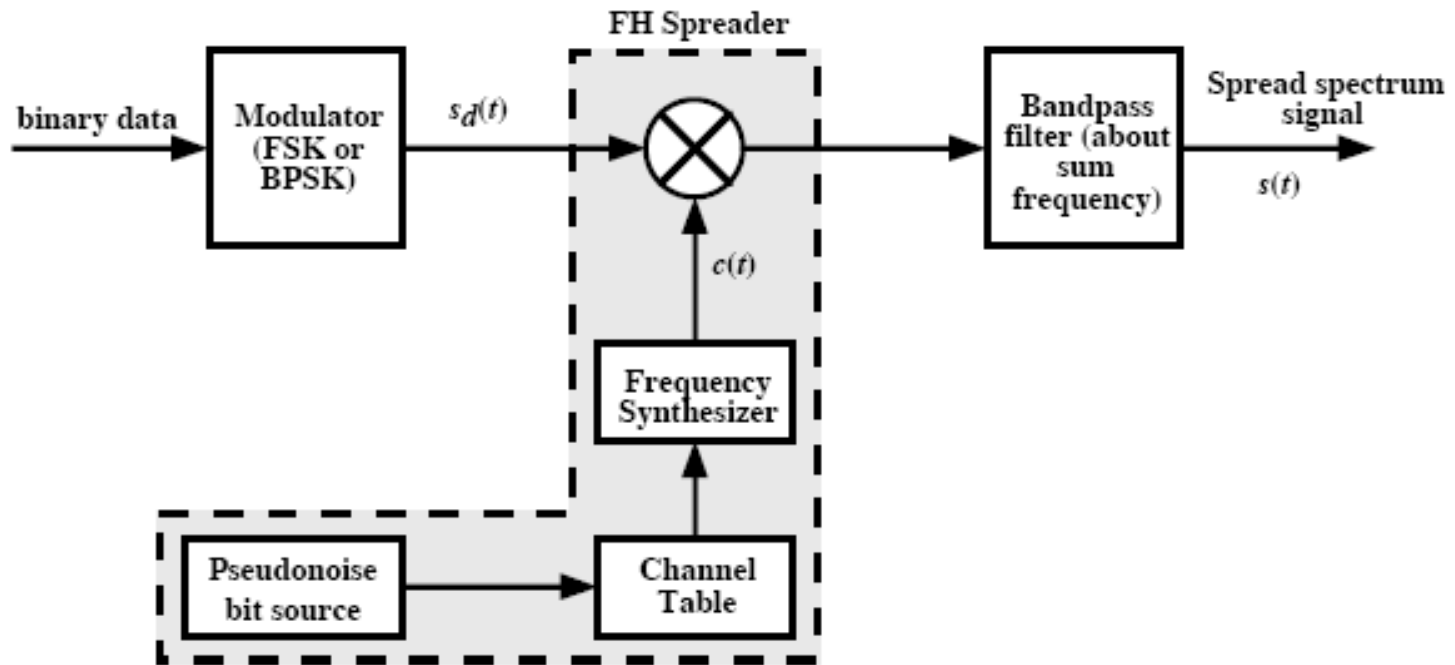


(b) Channel use

Παράδειγμα Μεταπήδησης Συχνότητας



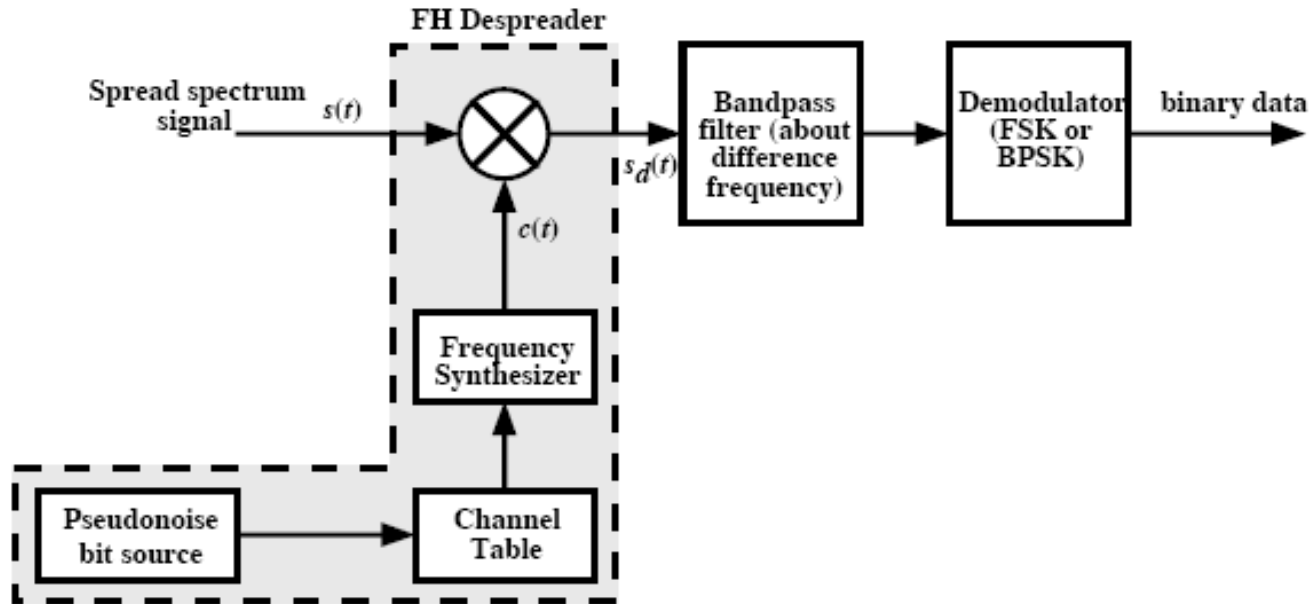
# Πολυπλεξία



Πομπός σε Σύστημα Μεταπήδησης Συχνότητας



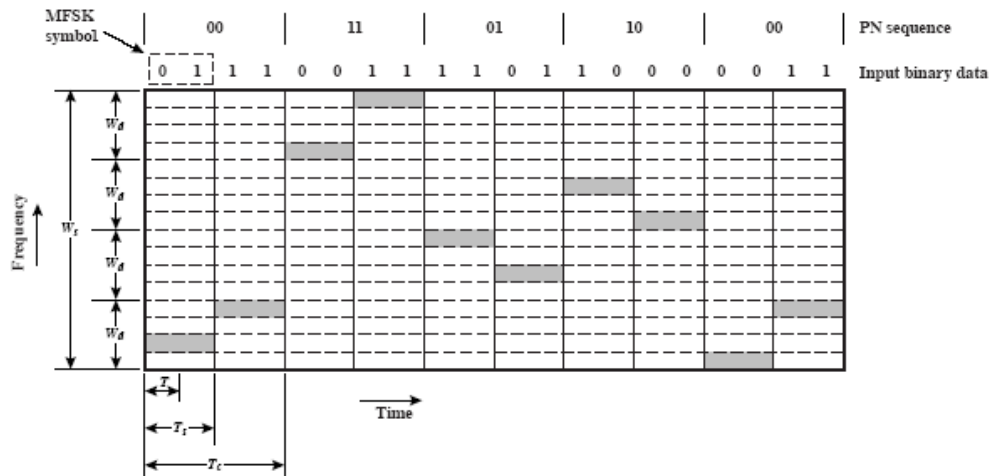
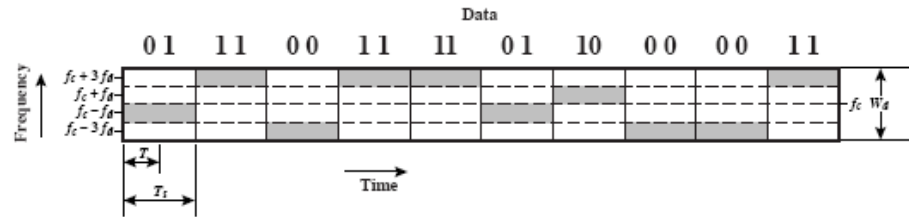
# Πολυπλεξία



Δέκτης σε Σύστημα Μεταπήδησης Συχνότητας



# Πολυπλεξία

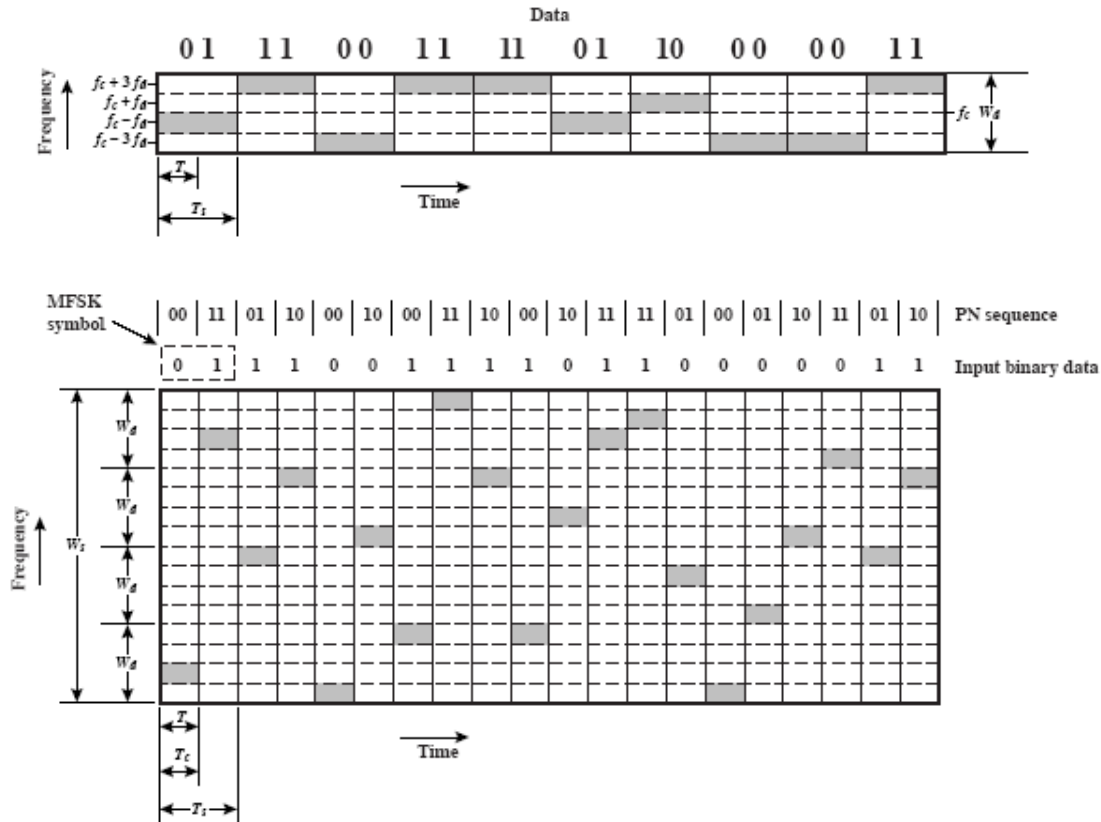


Παράδειγμα Αργού Συστήματος Μεταπήδησης Συχνότητας με *MFSK* τεχνική διαμόρφωσης σήματος ( $M=4$ ,  $k=2$ )





# Πολυπλεξία



Παράδειγμα Γρήγορου Συστήματος Μεταπήδησης Συχνότητας με *MFSK* τεχνική διαμόρφωσης σήματος ( $M=4, k=2$ )

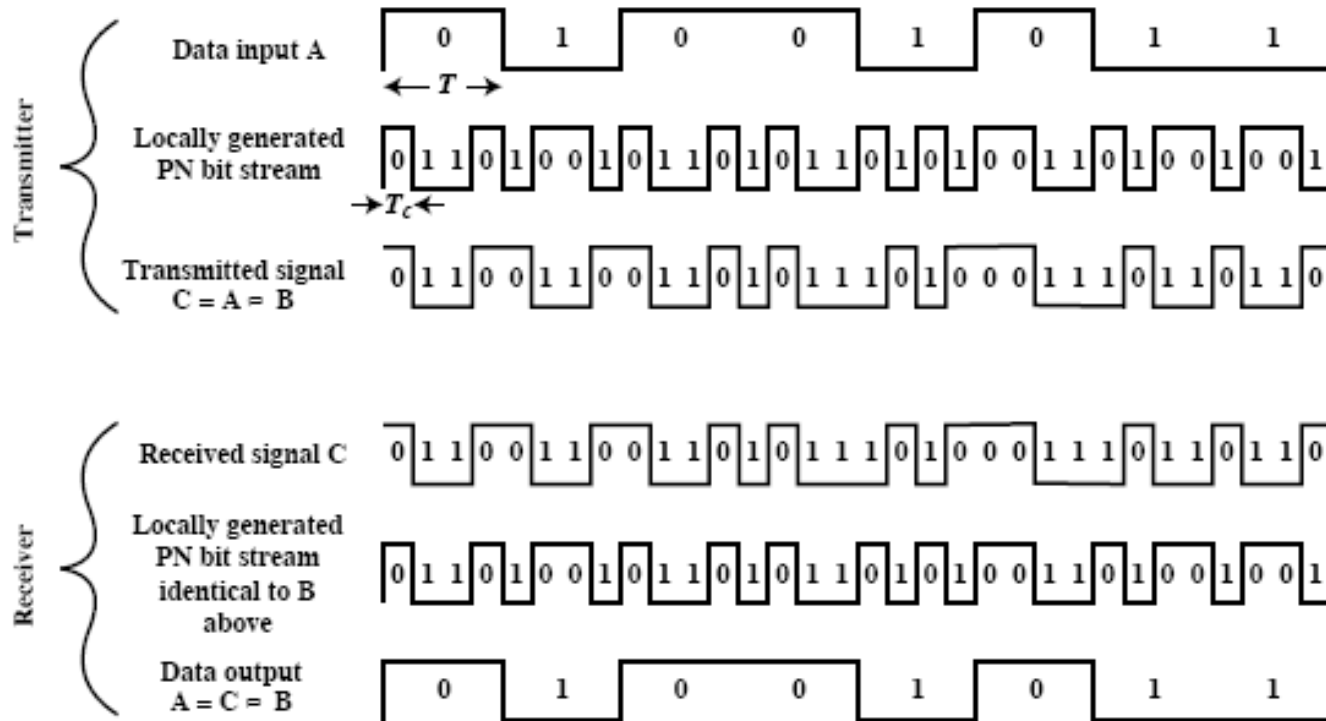


# Πολυπλεξία

- Τεχνικές Εξάπλωσης Φάσματος
  - Άμεση Διαμόρφωση Ακολουθίας Δεδομένων (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
    - Βασική Ιδέα: Κάθε *bit* στο αρχικό σήμα αντιπροσωπεύεται από πολλά *bit* (γνωστό ως κώδικας τεμαχισμού – *chipping code*) μέσα στο μεταδιδόμενο σήμα.
    - Ο κώδικας τεμαχισμού επεκτείνει το σήμα σε μία ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων, ευθέως ανάλογα με τον αριθμό *bit* που χρησιμοποιούνται (π.χ. ένας κώδικας τεμαχισμού *10 bit* επεκτείνει το σήμα σε μία ζώνη συχνοτήτων που είναι *10* φορές μεγαλύτερη από τη ζώνη συχνοτήτων στην οποία επεκτείνεται το σήμα από έναν κώδικα τεμαχισμού *1 bit*).
    - Μία τεχνική για την επέκταση φάσματος με άμεση διαμόρφωση ακολουθίας είναι η χρήση της λογικής πύλης *XOR* για τον συνδυασμό του σήματος εισόδου με τον κώδικα τεμαχισμού.



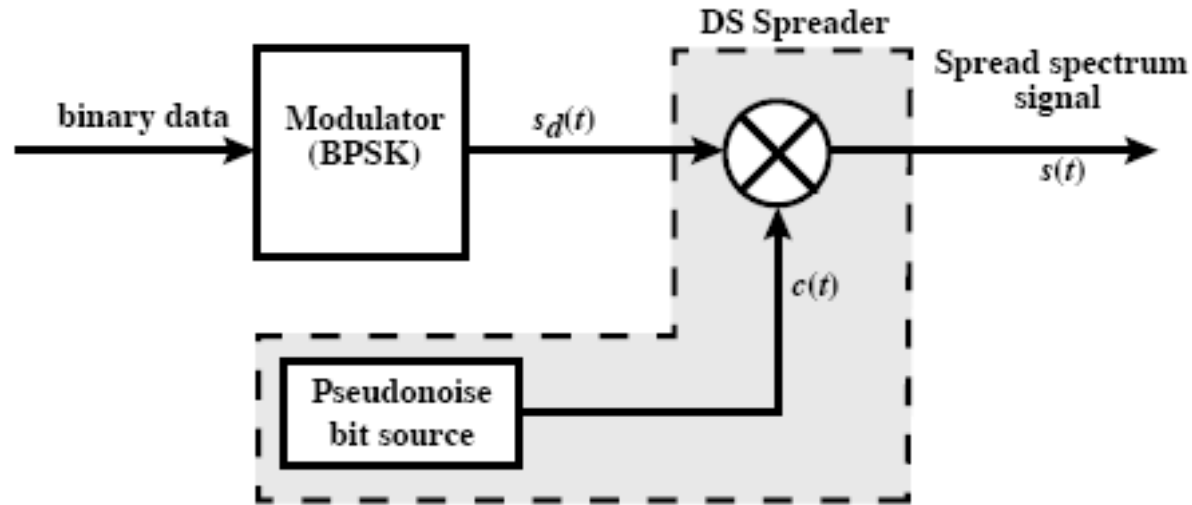
# Πολυπλεξία



Παράδειγμα Επέκτασης Φάσματος με Διαμόρφωση Άμεσης Ακολουθίας

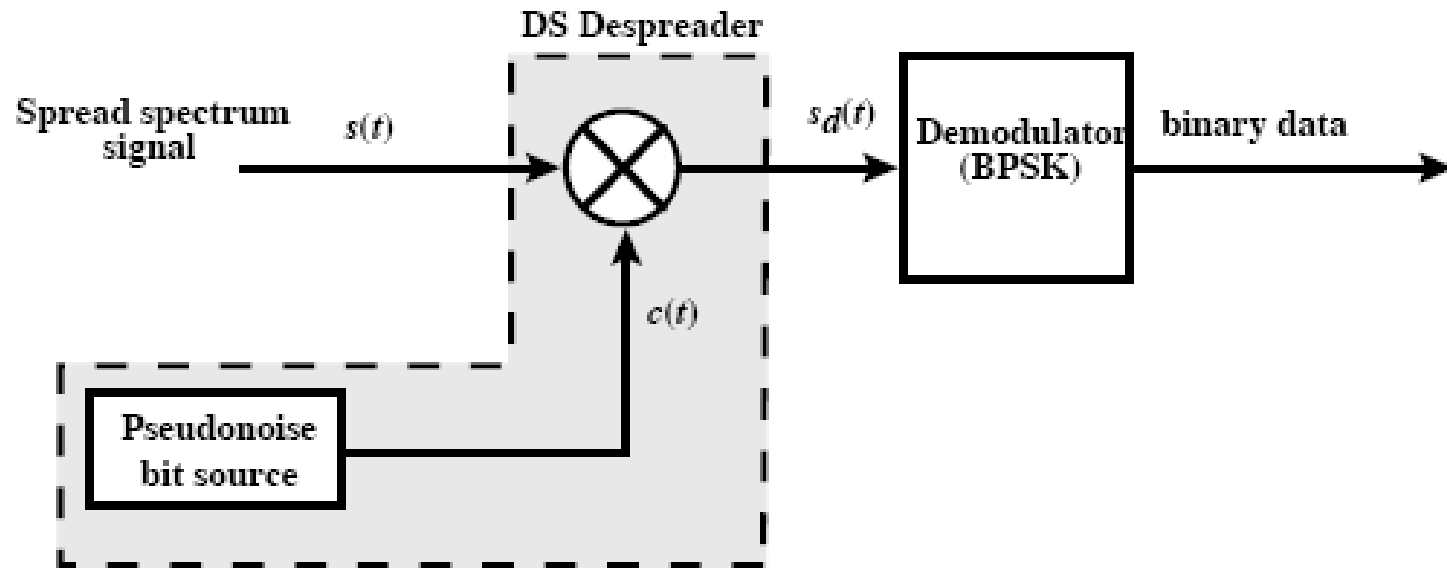


# Πολυπλεξία



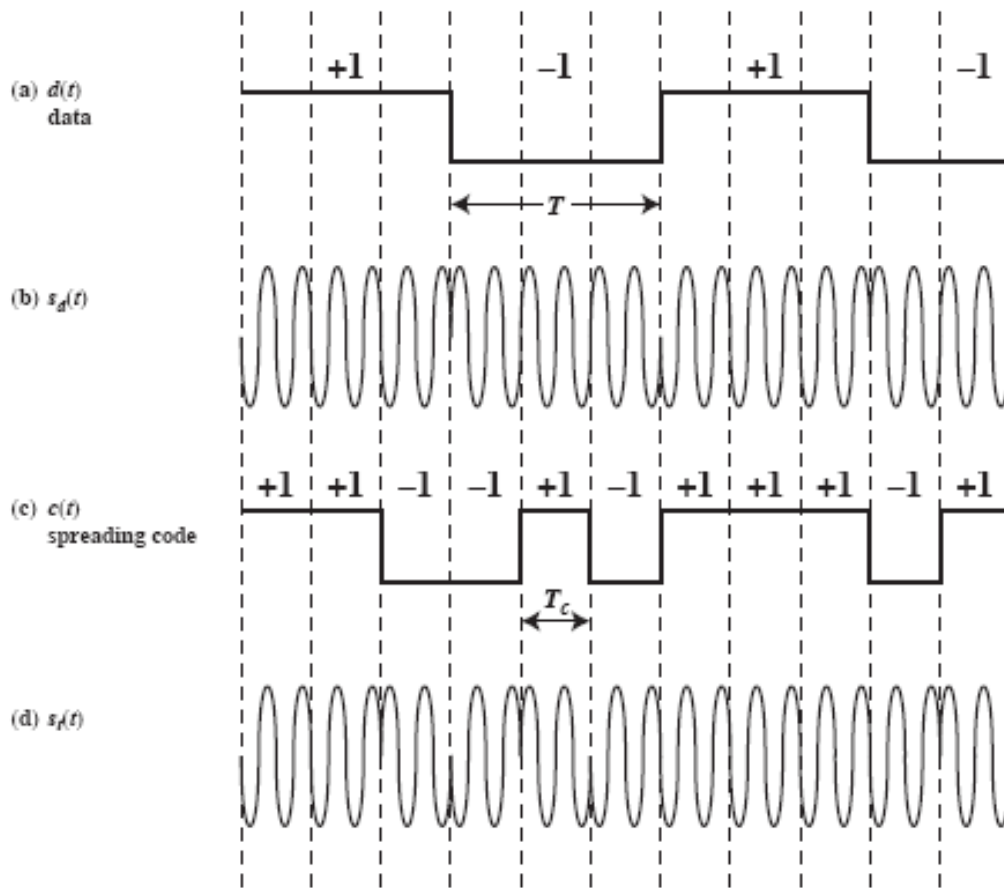
Πομπός Επέκτασης Φάσματος με Διαμόρφωση Άμεσης Ακολουθίας (χρήση *BPSK* τεχνικής διαμόρφωσης)

# Πολυπλεξία



Δέκτης Επέκτασης Φάσματος με Διαμόρφωση Άμεσης Ακολουθίας (χρήση *BPSK* τεχνικής διαμόρφωσης)

# Πολυπλεξία



Παράδειγμα  
Επέκτασης  
Φάσματος με  
Διαμόρφωση  
Άμεσης  
Ακολουθίας  
(χρήση *BPSK*  
τεχνικής  
διαμόρφωσης)



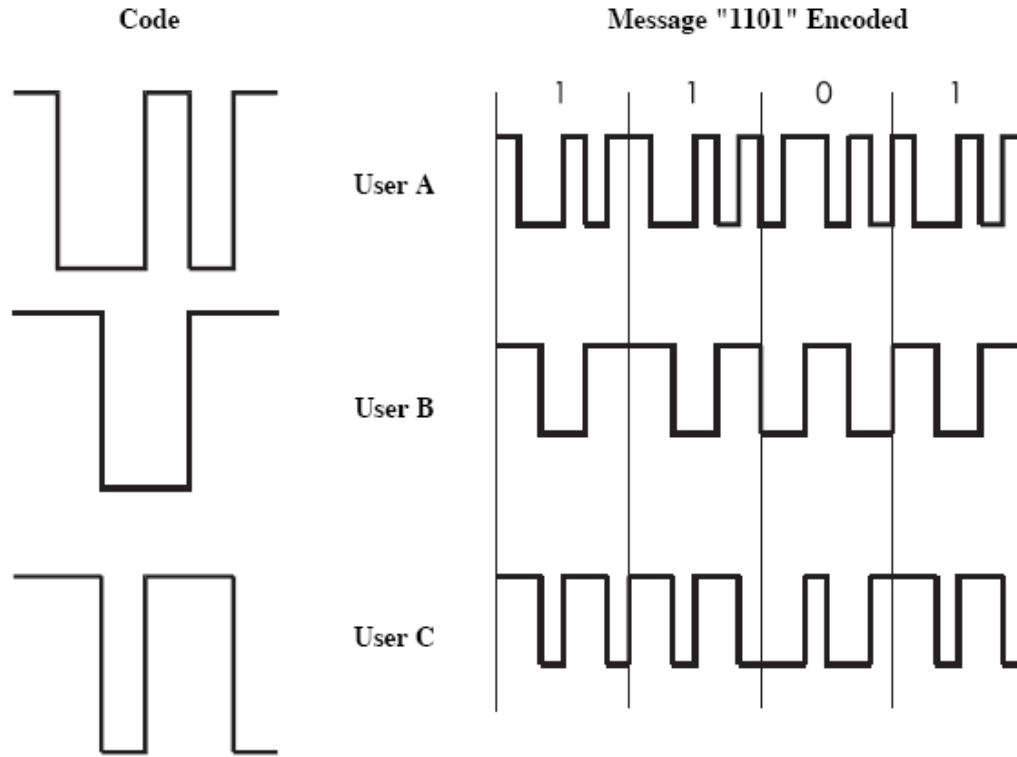
# Πολυπλεξία

---

- Τεχνικές Εξάπλωσης Φάσματος
  - Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα (*Code Division Multiple Access*)
    - Βασική Ιδέα: Κάθε *bit* του αρχικού σήματος αντικαθιστάται από πολλά *bit* (*k chips*), σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο σχέδιο μέσα στο μεταδιδόμενο σήμα
    - Εάν ο ρυθμός μετάδοσης του αρχικού σήματος είναι  $D$ , ο ρυθμός μετάδοσης του τελικού σήματος είναι  $kD$
    - Επιτυγχάνεται πολλαπλή πρόσβαση σε όλη τη χωρητικότητα του κοινού μέσου με μικρές μόνο παρεμβολές



# Πολυπλεξία



Παράδειγμα Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα





# Πολυπλεξία

(a) User's codes

User A	1	-1	-1	1	-1	1
User B	1	1	-1	-1	1	1
User C	1	1	-1	1	1	-1

(b) Transmission from A

Transmit (data bit = 1)	1	-1	-1	1	-1	1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	1	1	1	1	1	1	= 6

Transmit (data bit = 0)	-1	1	1	-1	1	-1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	-1	-1	-1	-1	-1	-1	= -6

Παράδειγμα Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα



# Πολυπλεξία

(c) Transmission from B, receiver attempts to recover A's transmission

Transmit (data bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
Receiver codeword	1	-1	-1	1	-1	1	
Multiplication	1	-1	1	-1	-1	1	= 0

(d) Transmission from C, receiver attempts to recover B's transmission

Transmit (data bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
Receiver codeword	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplication	1	1	1	-1	1	-1	= 2

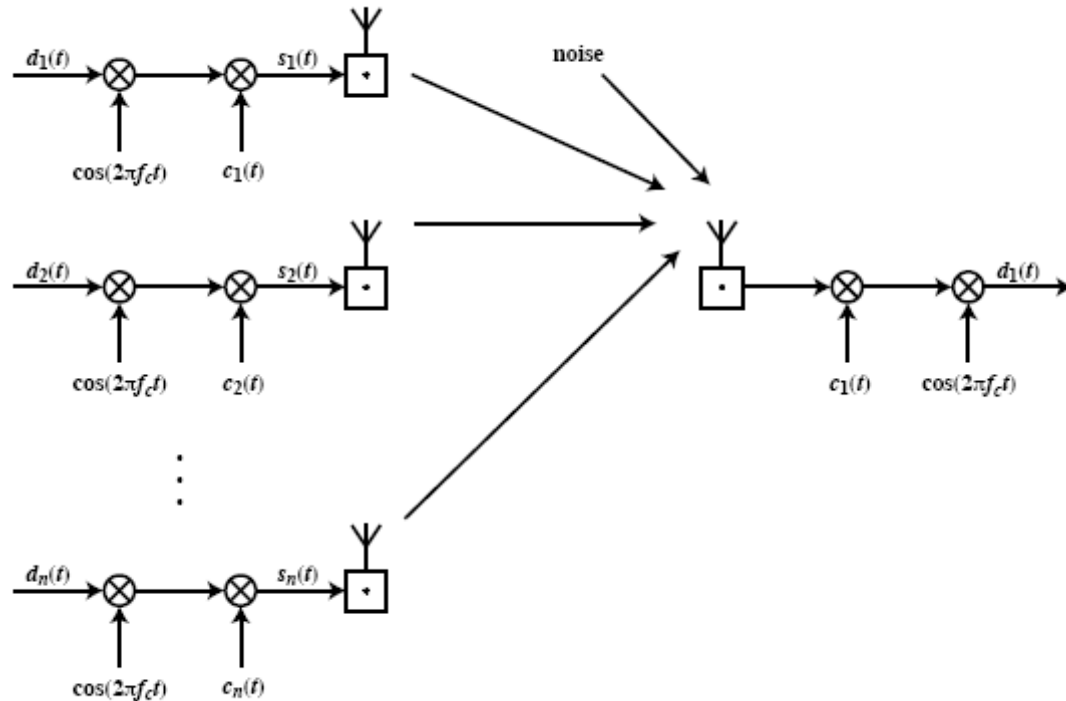
(e) Transmission from B and C, receiver attempts to recover B's transmission

B (data bit = 1)	1	1	-1	-1	1	1	
C (data bit = 1)	1	1	-1	1	1	-1	
Combined signal	2	2	-2	0	2	0	
Receiver codeword	1	1	-1	-1	1	1	
Multiplication	2	2	2	0	2	0	= 8

Παράδειγμα Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κώδικα



# Πολυπλεξία



Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα σε ένα *DS-SS* Σύστημα



---

# Τέλος Ενότητας



# Σημείωμα Αναφοράς

---

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE277/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

---

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους  
υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

---

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"  
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

