



Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Θεμελιώδεις Έννοιες
Τι είναι οι Ψηφιακές Επικοινωνίες?
Γιατί Ψηφιακές Επικοινωνίες?

Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ



Ψηφιακές Επικοινωνίες - Γιατί?

- ***Anytime Anywhere Anything*** – *Οποτεδήποτε – Οπουδήποτε – Οτιδήποτε είναι το σύνθημα και ο στόχος των Ψηφιακών Επικοινωνιών*
- **Οποτεδήποτε** σημαίνει ότι μπορεί να επικοινωνεί σε βάση 24/7;
- **Οπουδήποτε** σημαίνει ότι αυτή η επικοινωνία μπορεί να λάβει χώρα σε οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή και δεν χρειάζεται να είναι κοντά σε ξηρά.
- **Οτιδήποτε** σημαίνει όχι τη παραδοσιακή φωνή αλλά video και άλλα είδη επικοινωνίας όχι μόνο τους αλλά και ο συνδυασμός τους.



Ψηφιακές Επικοινωνίες - Γιατί?

Τις τελευταίες 3 δεκαετίες έχουν επιτευχθεί 3 στόχοι:

- ✓ Μεταφορά κειμένου (text messaging)/σε όλους όπως email μέσω internet πρόσβασης είναι μια πραγματικότητα.
- ✓ Webcasting (ζωντανές μεταδόσεις) & podcasting (διακίνηση αρχείων ήχου) έχει γίνει κοινό θέμα.
- ✓ Όλα τα μέρη του κόσμου είναι συνδεδεμένα με το World Wide WEB.

Οι **Ψηφιακές Επικοινωνίες** είναι οι **μόνες που** έχουν την δυνατότητα να προσθέσουν και τον **Οποιοδήποτε (Anybody)** να επικοινωνήσει. Το κόστος σε σχέση με τις παρεχόμενες δυνατότητες επικοινωνίας πέφτει δραματικά.

Ψηφιακές Επικοινωνίες: Χαμηλό Κόστος, Ευελιξία, Ευρωστία και ευκολία στην υλοποίηση.



Μετάδοση/Επικοινωνία

- ✓ Σκοπός της επικοινωνίας είναι η **ΜΕΤΑΔΟΣΗ** πληροφορίας/δεδομένων.
- ✓ Για να θεωρηθεί επιτυχής η μετάδοση, ο δέκτης πρέπει να λάβει σωστά (ή, για να είμαστε ακριβείς, όσο πιο σωστά γίνεται) την πληροφορία.
- ✓ Δηλαδή, η μετάδοση είναι επιτυχής όταν τόσο ο πομπός (αποστολέας) όσο και ο δέκτης (παραλήπτης) συμφωνούν ως προς την πληροφορία που μεταδόθηκε.

Παραδείγματα

- ✓ Μετάδοση αποτελεσμάτων αγώνων μέσω ραδιοφώνου
- ✓ Αποστολή αρχείου μέσω Διαδικτύου
- ✓ Μετάδοση μηνύματος πείνας από το στομάχι στον εγκέφαλο μέσω νευρικού συστήματος
- ✓ Απενεργοποίηση συναγερμού αυτοκινήτου μέσω του αέρα (ασύρματο κανάλι)
- ✓ Αποστολή επιστολής μέσω ταχυδρομείου
- ✓ Καταγραφή νομοθεσίας σε κώδικες



Τι είναι οι Ψηφιακές Επικοινωνίες ?

Τι είναι οι ψηφιακές επικοινωνίες:

*Ο πιο απλός ορισμός είναι η **επικοινωνία/μετάδοση** ενός μηνύματος μέσω μιας πεπερασμένης αλφαβήτας (σύνολο συμβόλων) σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα.*

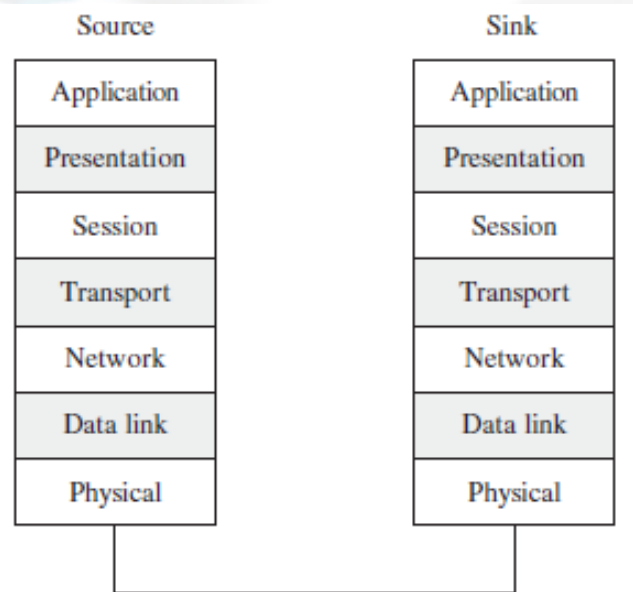
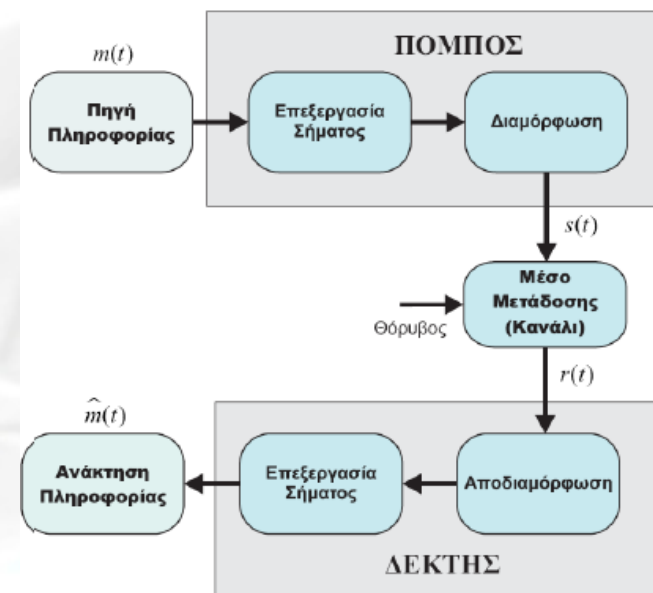


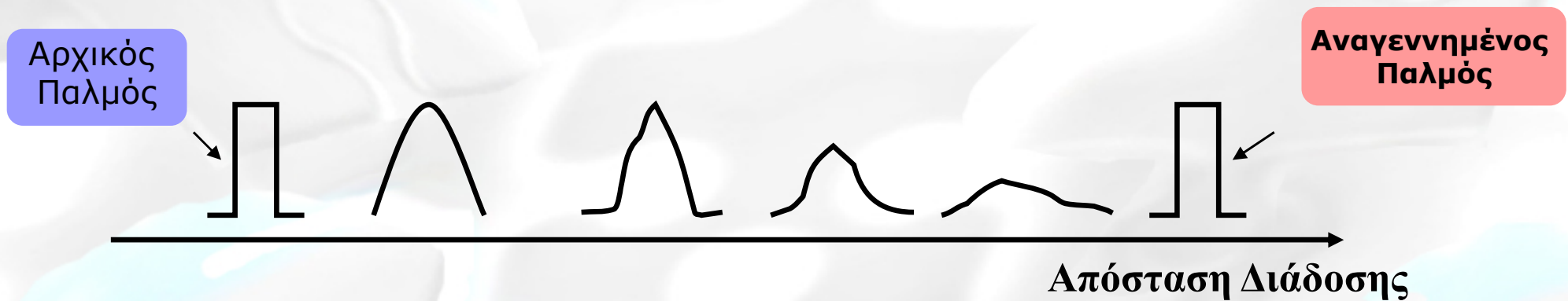
Illustration of different layers in the OSI model.



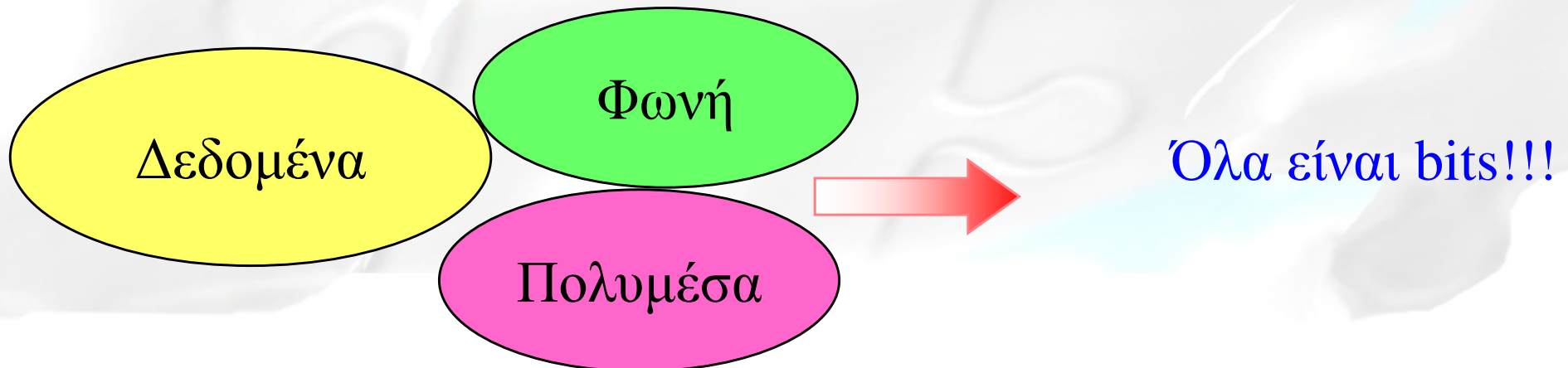
Ψηφιακά vs. Αναλογικά

Πλεονεκτήματα των Ψηφιακών Επικοινωνιών

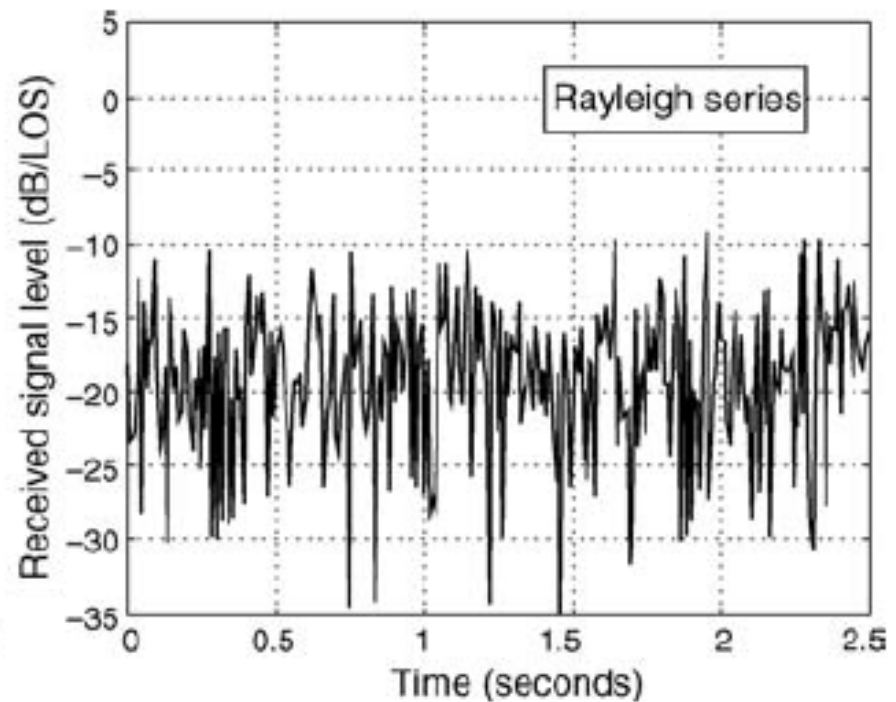
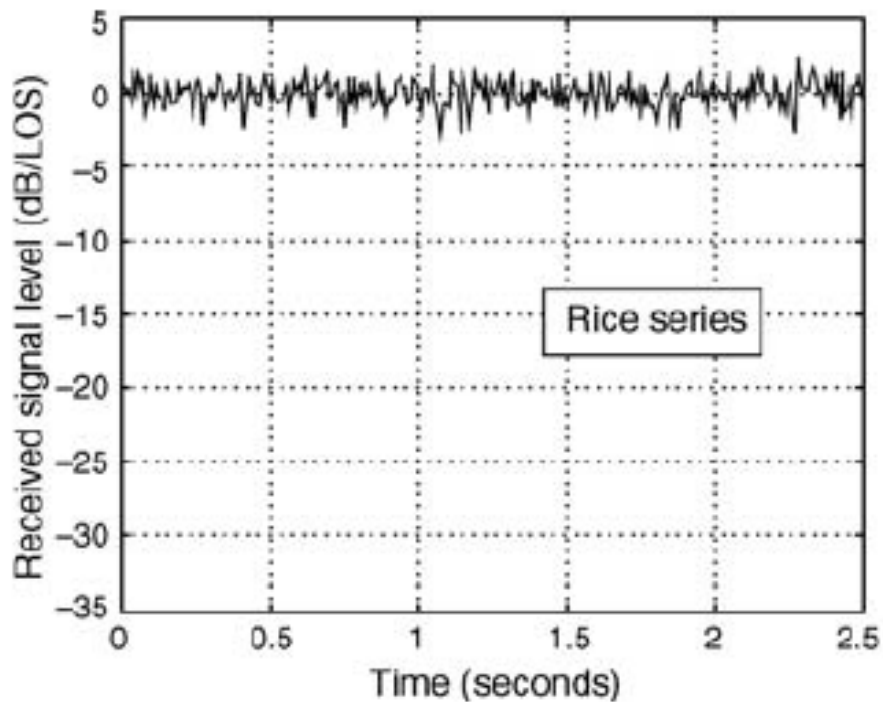
- Αναγεννητικός Δέκτης



- Διαφορετικά είδη ψηφιακού σήματος επεξεργάζονται με τον ίδιο τρόπο.



Δίαυλος/Κανάλι Μετάδοσης



Ψηφιακά Συστήματα Επικοινωνιών

- ✓ Τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών προτιμώνται στις περισσότερες εφαρμογές είναι ότι επιτυγχάνουν **δεδομένη ποιότητα επικοινωνίας** με **μικρότερο κόστος** ή/και απαιτήσεις **σε ισχύ ή/και σε φάσμα** σε σχέση με τα αναλογικά.
- ✓ Η κβάντιση προκαλεί παραμόρφωση στο αρχικό (αναλογικό) σήμα πληροφορίας (εκτός αν το σήμα είναι από την αρχή ψηφιακό – αρχείο κειμένου), το σήμα πληροφορίας που **αποκωδικοποιείται (εκτιμάται)** στο δέκτη ενός ψηφιακού συστήματος έχει μικρότερη παραμόρφωση από το αρχικό σε σχέση με το δέκτη αναλογικού συστήματος (για παρόμοιες απαιτήσεις σε κόστος, ισχύ και φάσμα).
- ✓ Τα σήματα ενδεχομένως να περιέχουν πλεονάζουσα πληροφορία, με αποτέλεσμα να μπορούν να συμπιεστούν. Η συμπίεση γίνεται εύκολα όταν το σήμα είναι ψηφιακό.
- ✓ Το περιεχόμενο ψηφιακού σήματος μπορεί να προστατευτεί με χρήση μεθόδων κρυπτογραφίας.
- ✓ Ο χειρισμός ψηφιακών σημάτων είναι πιο εύκολος, καθώς και η μετάδοσή τους σε διαφορετικά μέσα (ασύρματα/ενσύρματα κανάλια και οπτική ίνα) ή η αποθήκευσή τους (σκληροί δίσκοι, μνήμες flash κτλ.)



Ψηφιακά Συστήματα Επικοινωνιών

- Στα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνιών περιλαμβάνεται, επίσης, το γεγονός ότι η επεξεργασία των ψηφιακών σημάτων μπορεί να γίνει με χρήση ψηφιακού υπολογιστή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη ευελιξία.
- Πολλές λειτουργίες είναι ίδιες ή παρόμοιες σε διαφορετικά ψηφιακά συστήματα.
- Κυκλώματα και αλγόριθμοι μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά συστήματα που βρίσκονται πάνω στο ίδιο κύκλωμα.
- Μάλιστα, στόχος είναι στο μέλλον οι περισσότερες λειτουργίες ενός ψηφιακού συστήματος να επιτελούνται από λογισμικό που θα τρέχει σε ένα κύκλωμα γενικής χρήσης (**Software-Defined Radio**). Ένα σύστημα θα μπορεί, π.χ. να λειτουργήσει ταυτόχρονα ως κινητό τηλέφωνο, ως δέκτης ραδιοφώνου και ως πομποδέκτης τοπικού δικτύου με απλή δρομολόγηση του σήματος από την έξοδο του A/D converter στο κατάλληλο προγράμμα που τρέχει στο κύκλωμα χωρίς να απαιτούνται τρεις διαφορετικές υλοποιήσεις σε υλικό (hardware).
- Επίσης, η αναβάθμιση θα μπορεί να γίνεται με απλή αναβάθμιση λογισμικού (αν δεν απαιτούνται αλλαγές στο υλικό).

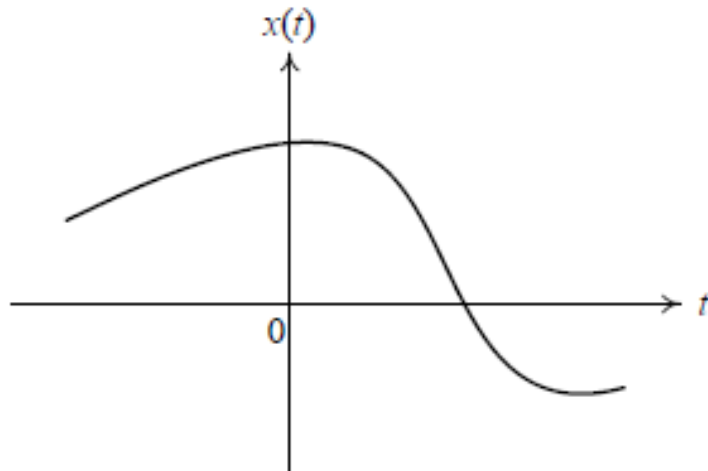


Ψηφιακά Συστήματα Επικοινωνιών

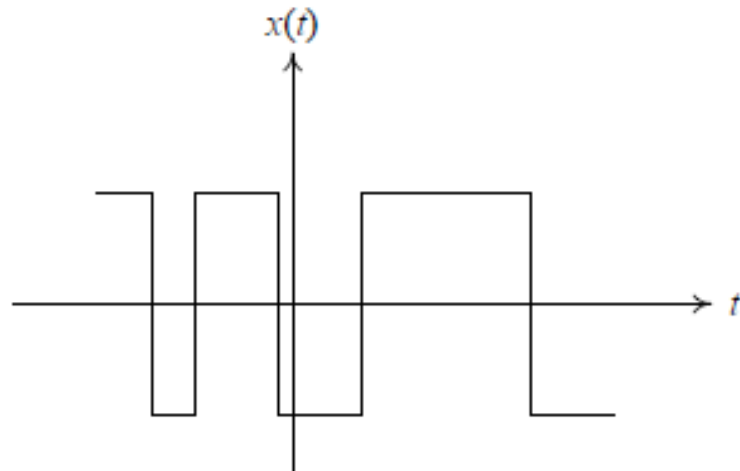
- ✓ Η βελτιωμένη επίδοση των ψηφιακών συστημάτων έχει και κόστος : την **πολυπλοκότητα** των ψηφιακών συστημάτων.
- ✓ Αυτός είναι και ο λόγος (σε συνδυασμό με το ότι δεν είχε αναπτυχθεί και η απαραίτητη θεωρία) για τον οποίο τα ψηφιακά συστήματα δε χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν.
- ✓ Ο **Συγχρονισμός (Synchronization)** είναι πολύ σημαντικός στα Ψηφιακά Συστήματα.
- ✓ Τα τελευταία χρόνια, η πρόοδος στο κόστος και στις ταχύτητες των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, καθώς και η ανάπτυξη αποδοτικών αλγορίθμων επεξεργασίας σημάτων, συμπίεσης πληροφορίας και κωδικοποίησης καναλιού είχαν ως αποτέλεσμα το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των ψηφιακών συστημάτων να γίνει μικρότερο από το κόστος των αναλογικών για τις περισσότερες εφαρμογές.
- ✓ Τα περισσότερα συστήματα επικοινωνιών είναι ψηφιακά και αυτό αναμένεται να συνεχιστεί στο προσεχές μέλλον.
- Μειονεκτήματα: **Βαριά Υπολογιστικά η Επεξεργασία Σήματος, Συγχρονισμός πολύ κρίσιμος/ πολλά δεδομένα σηματοδοσίας, Μεγαλύτερο Εύρος Ζώνης Μετάδοσης, Σημαντικός Υποβιβασμός Σήματος σε φαινόμενα διάδοσης.**
- **Στα δίκτυα με πολλούς χρήστες το θέμα του συγχρονισμού είναι πιο σημαντικό.**



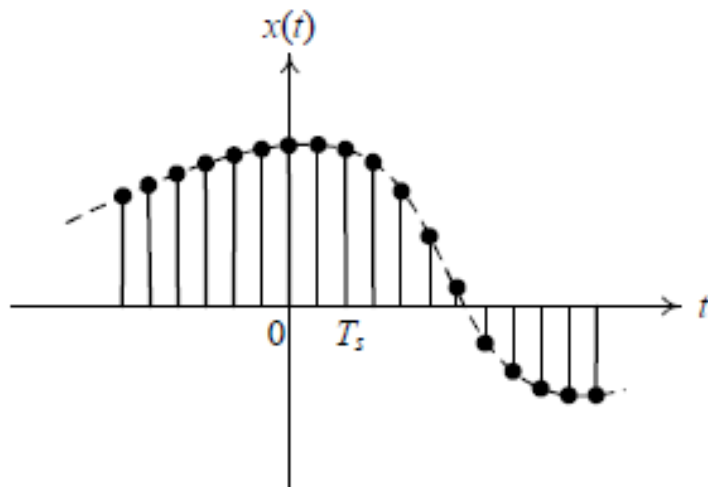
Παραδείγματα Σημάτων



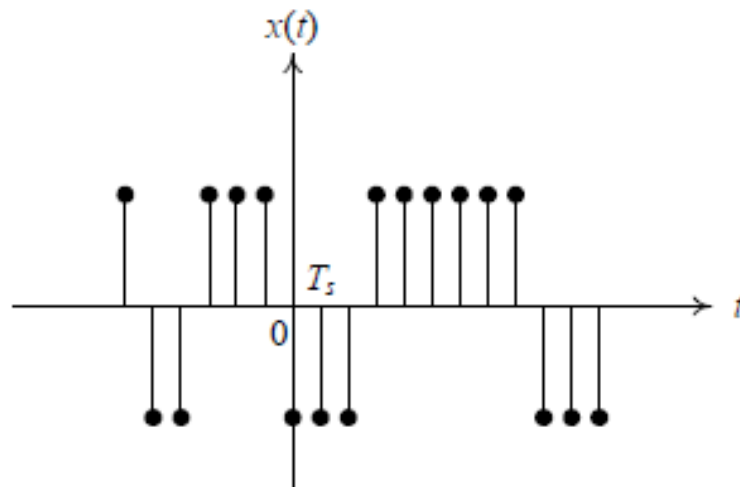
(a)



(b)

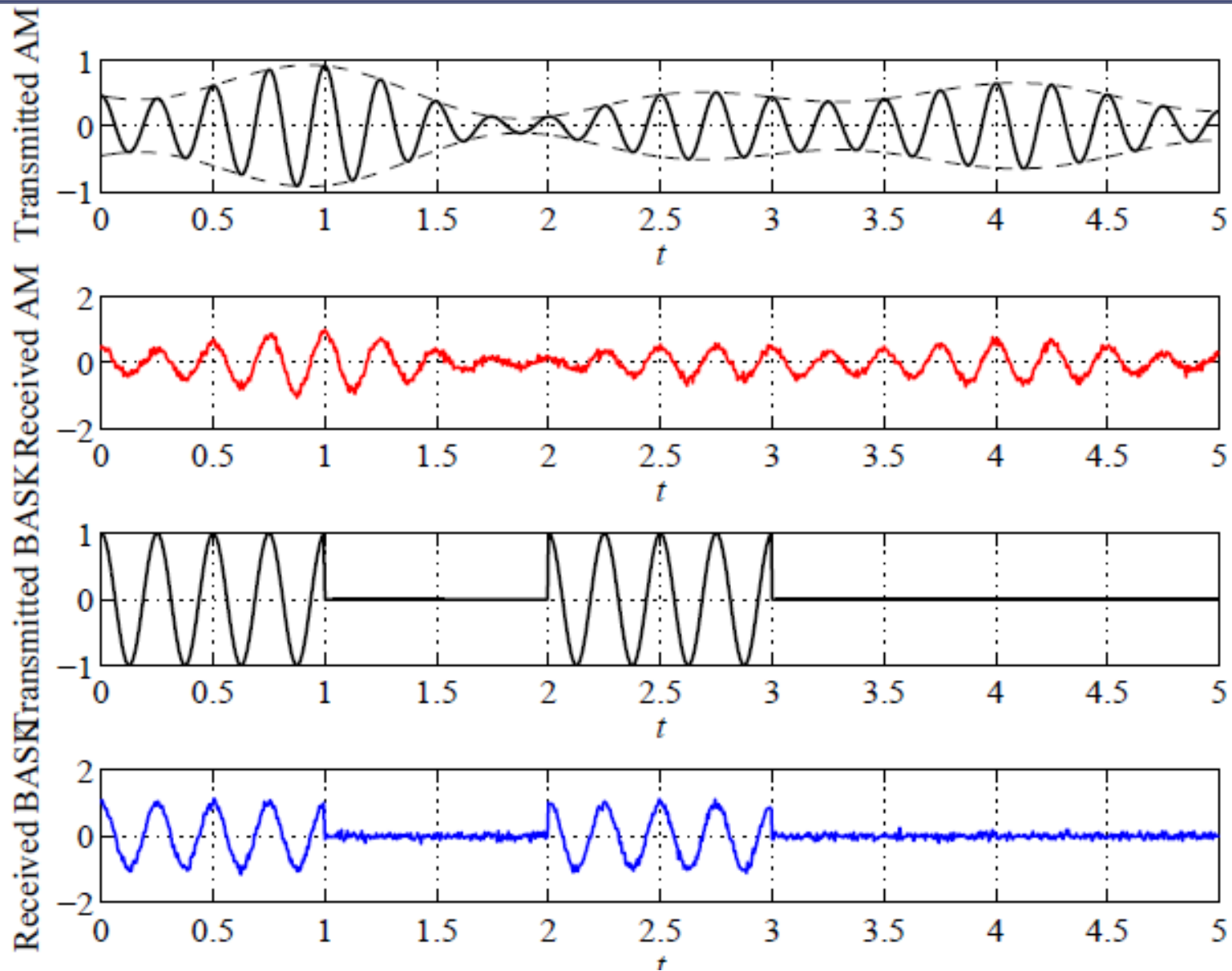


(c)

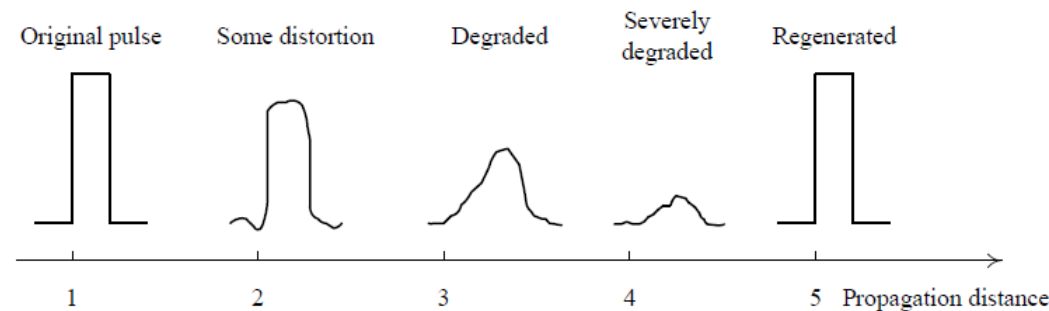
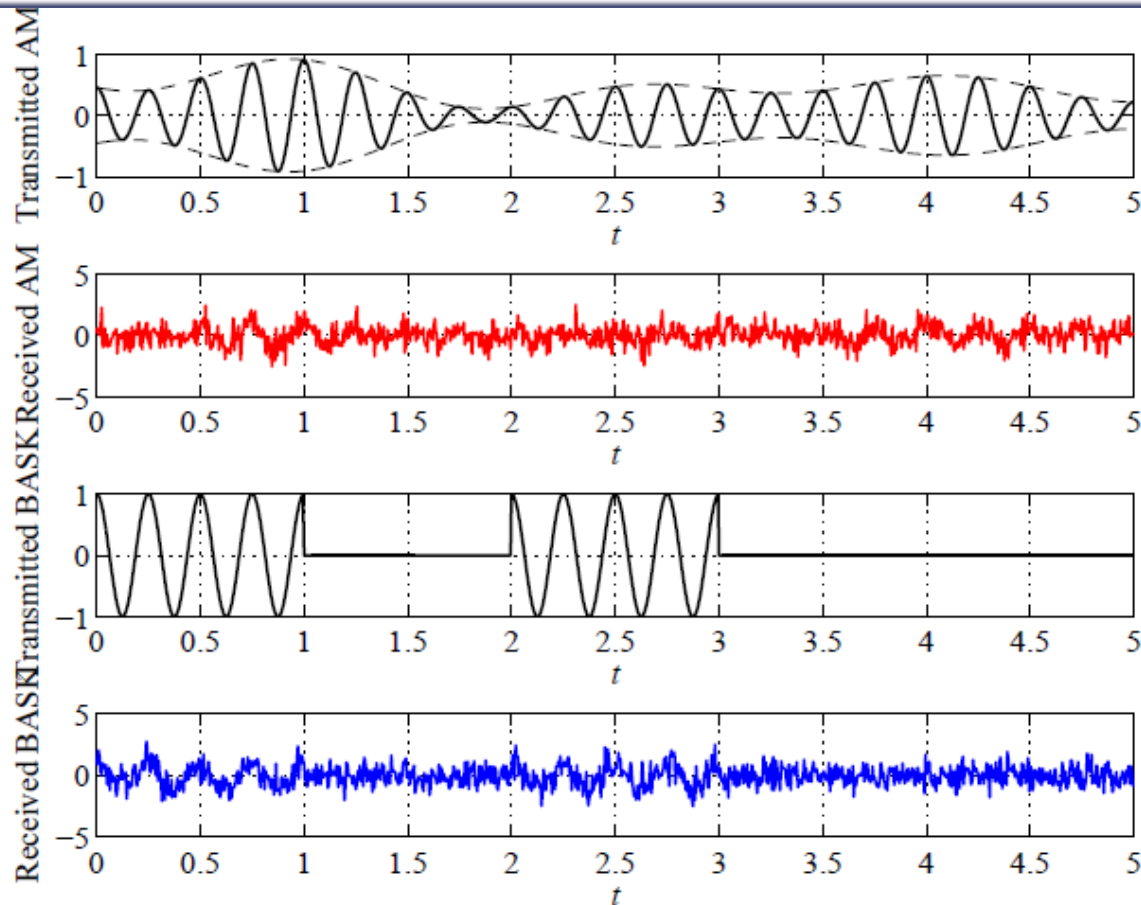


(d)

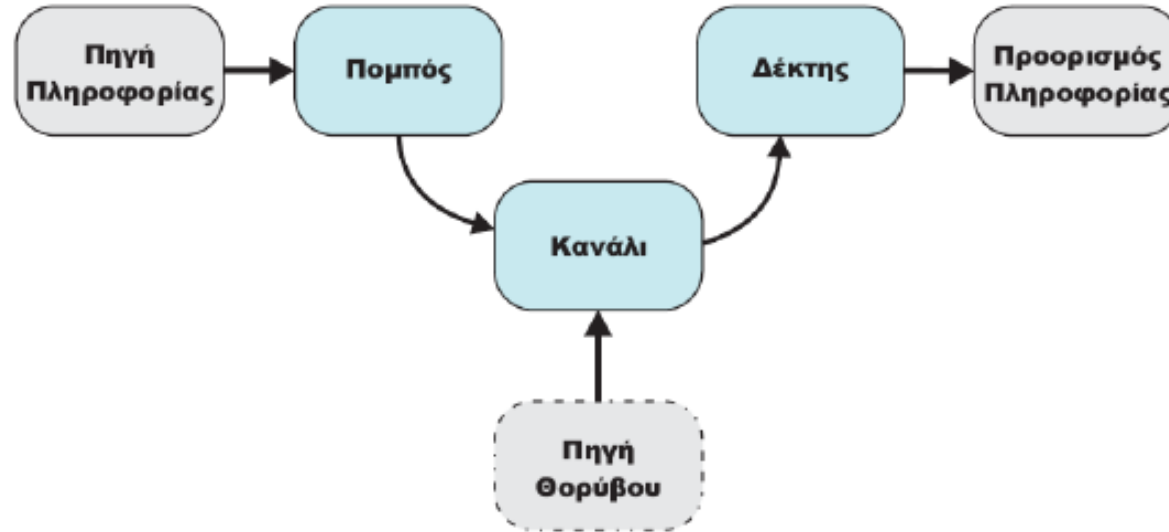
Παραδείγματα Σημάτων



Παραδείγματα Σημάτων



Επικοινωνία (Shannon-Weaver)

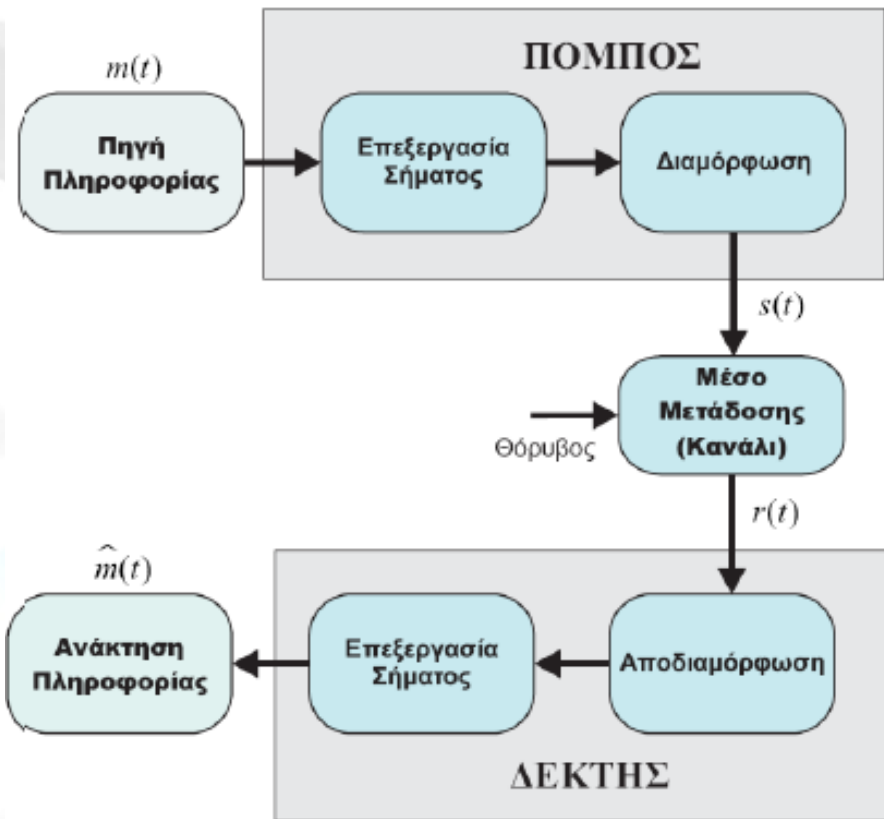


• **C. E. Shannon-W. Weaver:** «Επικοινωνία είναι όλες εκείνες οι διαδικασίες που εμπλέκονται στη μεταφορά της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη...».

• Το επικοινωνιακό μοντέλο C. E. Shannon-W. Weaver, το οποίο συχνά ονομάζεται η “μητέρα όλων των μοντέλων”, εισάγει τις έννοιες της πηγής πληροφορίας (information source), του μηνύματος(message), του πομπού (transmitter), του δέκτη (receiver), του καναλιού (channel), της κωδικοποίησης (coding), της πιθανότητας σφάλματος (probability of error), της χωρητικότητας καναλιού (channel capacity), της εντροπίας (entropy), κ.λ.π.

• Το μοντέλο αυτό έγινε ευρέως αποδεκτό και από διάφορες άλλες επιστήμες εκτός από τις τηλεπικοινωνίες, όπως η παιδαγωγική, η ψυχολογία, η κοινωνιολογία, κ.λ.π.

Βασική Δομή Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος



Πομπός: Αποτελείται από τις βαθμίδες Επεξεργασίας Σήματος και Διαμόρφωσης.

Η έξοδος της *πηγής πληροφορίας* είναι το σήμα-πληροφορίας, $m(t)$, το οποίο μπορεί να είναι σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή και μπορεί να αντιπροσωπεύει φωνή, ήχο, εικόνα, κ.λ.π. Το φασματικό περιεχόμενο του $m(t)$ είναι συγκεντρωμένο γύρω από τη μηδενική συχνότητα και για το λόγο αυτό ονομάζεται σήμα βασικής ζώνης.

Κανάλι: Το κανάλι είναι το μέσο μετάδοσης της πληροφορίας από τον πομπό στο δέκτη. Προκαλεί εξασθένηση και εισαγωγή θορύβου, με αποτέλεσμα στο δέκτη να φθάνει ένα αλλοιωμένο αντίγραφο του εκπεμπόμενου σήματος.

Δέκτης: Σκοπός του είναι η αξιόπιστη ανάκτηση του σήματος πληροφορίας, που εκπέμπει ο πομπός.

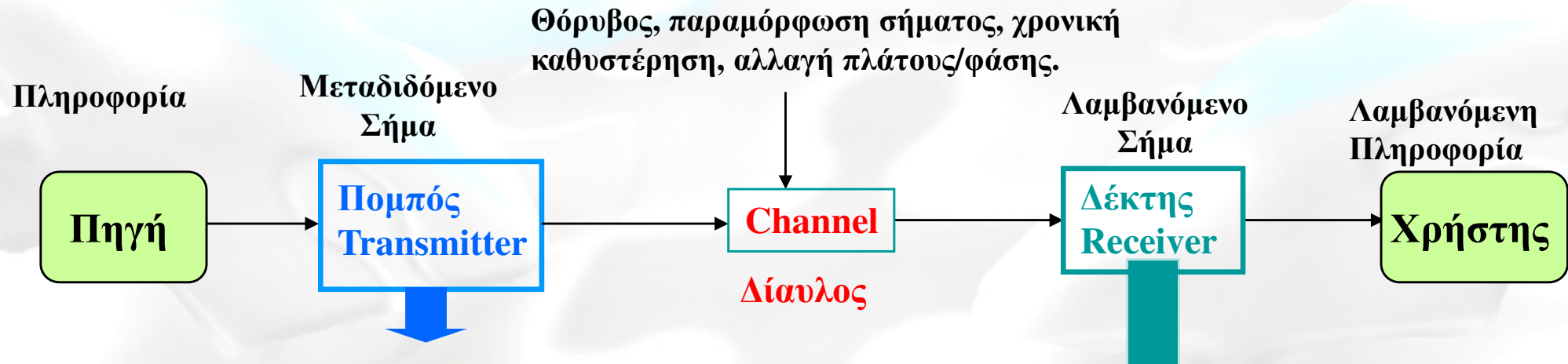


Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

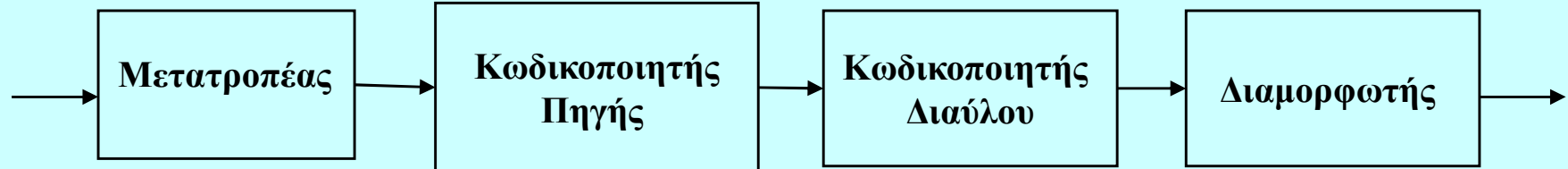
- Τα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα έχουν στόχο την **μετάδοση πληροφορίας** από ένα σημείο σε ένα άλλο.
- Για την αποθήκευση και μετάδοση της πληροφορίας χρησιμοποιούν **μεταβαλλόμενα ρεύματα και τάσεις (μεταβαλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία)**.
- Χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα για τη μετάδοση των σημάτων, όπως χάλκινα καλώδια (συστρεφόμενου ζεύγους, ομοαξονικά καλώδια...), κυματοδηγοί, οπτικές ίνες, ασύρματα.
- Τα σήματα προσαρμόζονται στο μέσο μετάδοσης μέσω της **διαμόρφωσης (modulation)** και της **κωδικοποίησης (coding)**.
- Οι τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης επιλέγονται με βάση το μέσο μετάδοσης και την πηγή πληροφορίας (στατιστική, τον ρυθμό μετάδοσης (rate) – ποιότητα επικοινωνίας (Quality of Service-QoS).



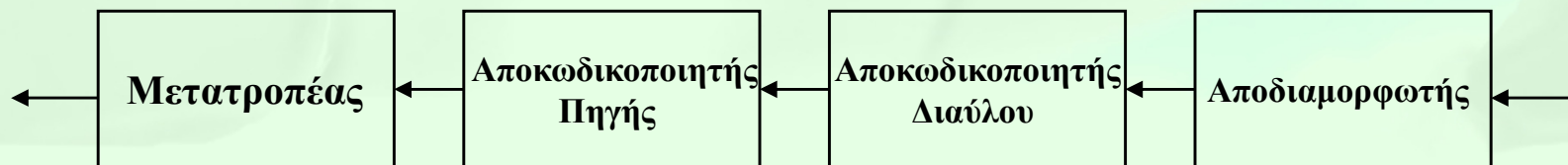
Συστημικό Διάγραμμα (Block) ενός Ψηφιακού Συστήματος Επικοινωνιών



Transmitter - Πομπός



Receiver - Δέκτης



Είδη Επικοινωνίας

Ανάλογα με τη ροή της πληροφορίας:

Μονόδρομη (Simplex): η πληροφορία μεταδίδεται προς μια κατεύθυνση π.χ. ραδιοφωνο, τηλεόραση – συστήματα ευρυεκπομπής – **Broadcasting**

Αμφίδρομη (Full Duplex): η πληροφορία μεταδίδεται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις π.χ. τηλεφωνικό δίκτυο, συστήματα κινητής τηλεφωνίας.

Ημι-αμφίδρομη (Half Duplex): πραγματοποιείται η επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις. Μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη χρησιμοποιείται εναλλάξ για αποστολή και λήψη πληροφοριών π.χ. CB (citizens band) radio



Διαμόρφωση

Διαμόρφωση: είναι η διαδικασία κωδικοποίησης της πληροφορίας από μια πηγή (μήνυμα) σε μια μορφή κατάλληλη για μετάδοση.

Η μετάδοση ήχου στον αέρα έχει πεπερασμένη κλίμακα (απόσταση μετάδοσης) για την ισχύ που μπορούν να παράγουν οι Πνεύμονες. Για να επεκτείνουμε τη απόσταση κάλυψης πρέπει να την μεταδώσουμε μέσα από μια μέσω ενός μέσου μετάδοσης όπως ραδιοκύματα ή τηλεφωνική γραμμή.

Η διαδικασία μετατροπής της πληροφορίας (π.χ. φωνή) ώστε να μπορεί να μεταδοθεί με επιτυχία ονομάζεται διαμόρφωση.

Γενικά το μήνυμα πληροφορίας είναι χαμηλής συχνότητας και αλλάζει κάποια από τα χαρακτηριστικά ενός υψίσυχνου σήματος.



Διαμόρφωση

- ▶ **Σήμα Μηνύματος/Το σήμα που διαμορφώνει / Βασικής Ζώνης :** αυτό είναι το μήνυμα που προτιθέμεθα να κωδικοποιήσουμε και να μεταδώσουμε.
- ▶ **Σήμα Φέροντος:** Το αναλογικό σήμα υψηλής συχνότητας που μεταφέρει το σήμα μηνύματος και είναι γνωστό ως Φέρον Σήμα.
- ▶ **Διαμορφούμενο Σήμα:** Το φέρον σήμα διαμορφωμένο από το σήμα βασικής ζώνης (ζωνοπερατό σήμα).

**Σήμα Διαμορφωμένο/Ζωνοπερατό Σήμα =
Φέρον Σήμα + Σήμα Βασικής Ζώνης**



Γιατί κάνουμε Διαμόρφωση ?

- ✓ **Διαμόρφωση για Μετάδοση :** Η αποτελεσματική εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χρειάζεται κεραίες που οι διαστάσεις τους είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος του σήματος που πρέπει να ακτινοβοληθεί. Για τα ακουστικά σήματα τα οποία περιέχουν χαμηλές συχνότητες 100 Hz το μήκος της κεραίας που απαιτείται για να ακτινοβοληθούν είναι περίπου 300 Km. Αν το ακουστικό σήμα διαμορφωθεί με φέρουσα συχνότητα 100 MHz τότε η αναγκαία κεραία δεν θα ξεπερνά το 1m.
- ✓ **Διαμόρφωση για πολυπλεξία:** Όταν περισσότερα από ένα σήματα χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι, η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμεύσει για να μεταφέρει τα διάφορα σήματα σε διαφορετικές φασματικές θέσεις επιτρέποντας στο δέκτη να επιλέξει το επιθυμητό σήμα
- ✓ **Διαμόρφωση για την υπερκέραση των περιορισμών από τις διατάξεις:** Οι επιδόσεις των διατάξεων επεξεργασίας του σήματος, όπως είναι τα φίλτρα και οι ενισχυτές, και η ευχέρεια με την οποία μπορούν να κατασκευασθούν οι διατάξεις αυτές εξαρτώνται από τη θέση του σήματος στο φασματικό πεδίο και από το λόγο της πιο ψηλής προς την πιο χαμηλή συχνότητα του σήματος. Η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά του σήματος σε μια περιοχή συχνοτήτων όπου υπάρχουν ευκολότερες συνθήκες σχεδίασης και καλύτερες επιδόσεις.
- ✓ **Διαμόρφωση για εκχώρηση συχνότητας:** Η διαμόρφωση επιτρέπει στους διάφορους ραδιοφωνικούς ή τηλεοπτικούς σταθμούς να εκπέμπουν συγχρόνως σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες και να επιτρέπει στους διαφορετικούς δέκτες να “συντονίζονται” για να επιλέξουν διαφορετικούς σταθμούς.
- ✓ **Διαμόρφωση για περιορισμό θορύβου και παρεμβολών:** Η επίδραση του θορύβου και των παρεμβολών δεν μπορεί να εξαλειφθεί πλήρως σε ένα σύστημα επικοινωνίας. Όμως, είναι δυνατό να περιορίσουμε τις επιπτώσεις τους χρησιμοποιώντας ορισμένους τύπους διαμόρφωσης.



Είδη Διαμόρφωσης

Ψηφιακή Διαμόρφωση: όταν η πηγή/το σήμα βασικής ζώνης είναι ψηφιακό.

Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους- Amplitude Shift Keying (ASK)

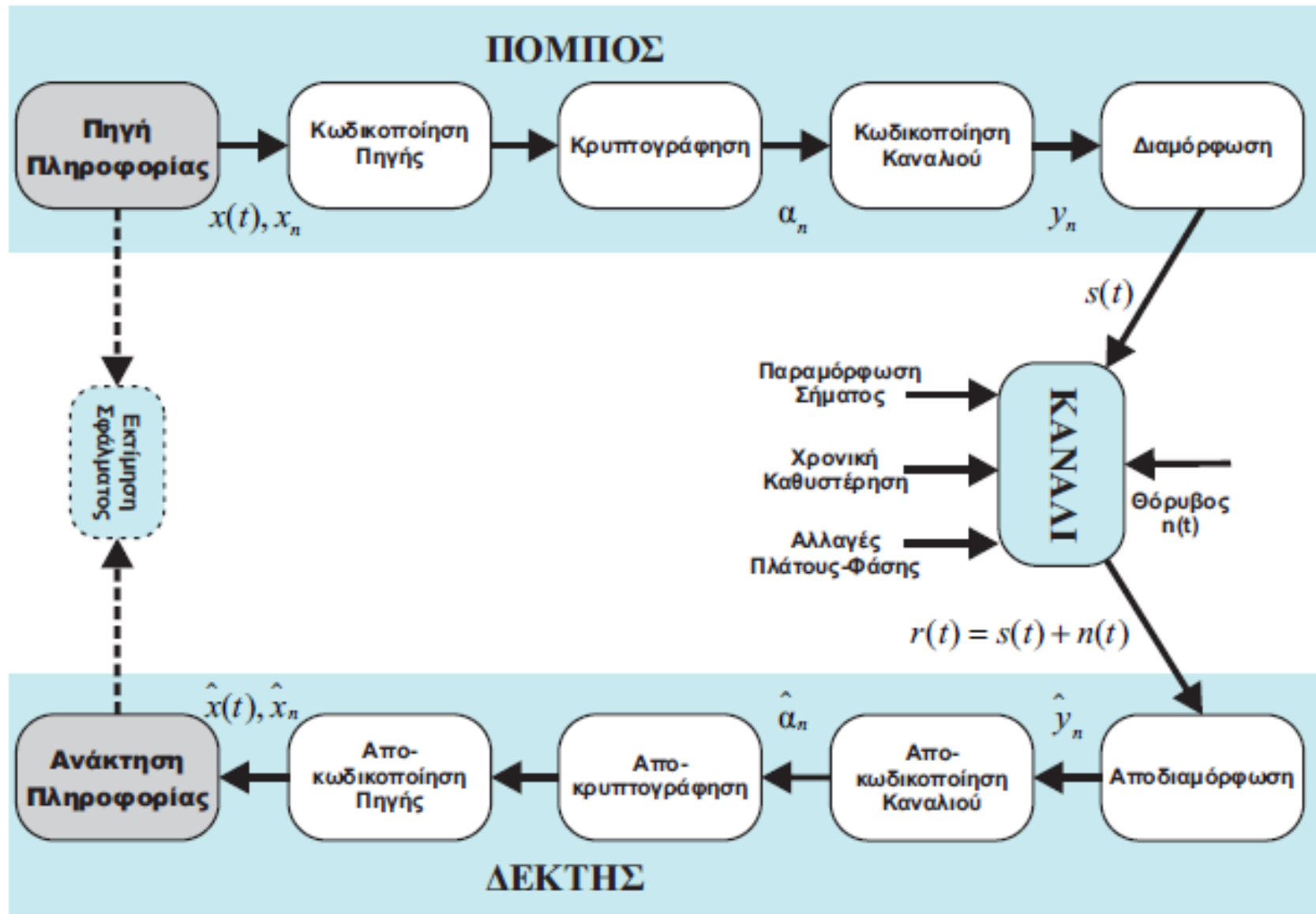
Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας – Frequency Shift Keying (FSK)

Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης- Phase Shift Keying (PSK)

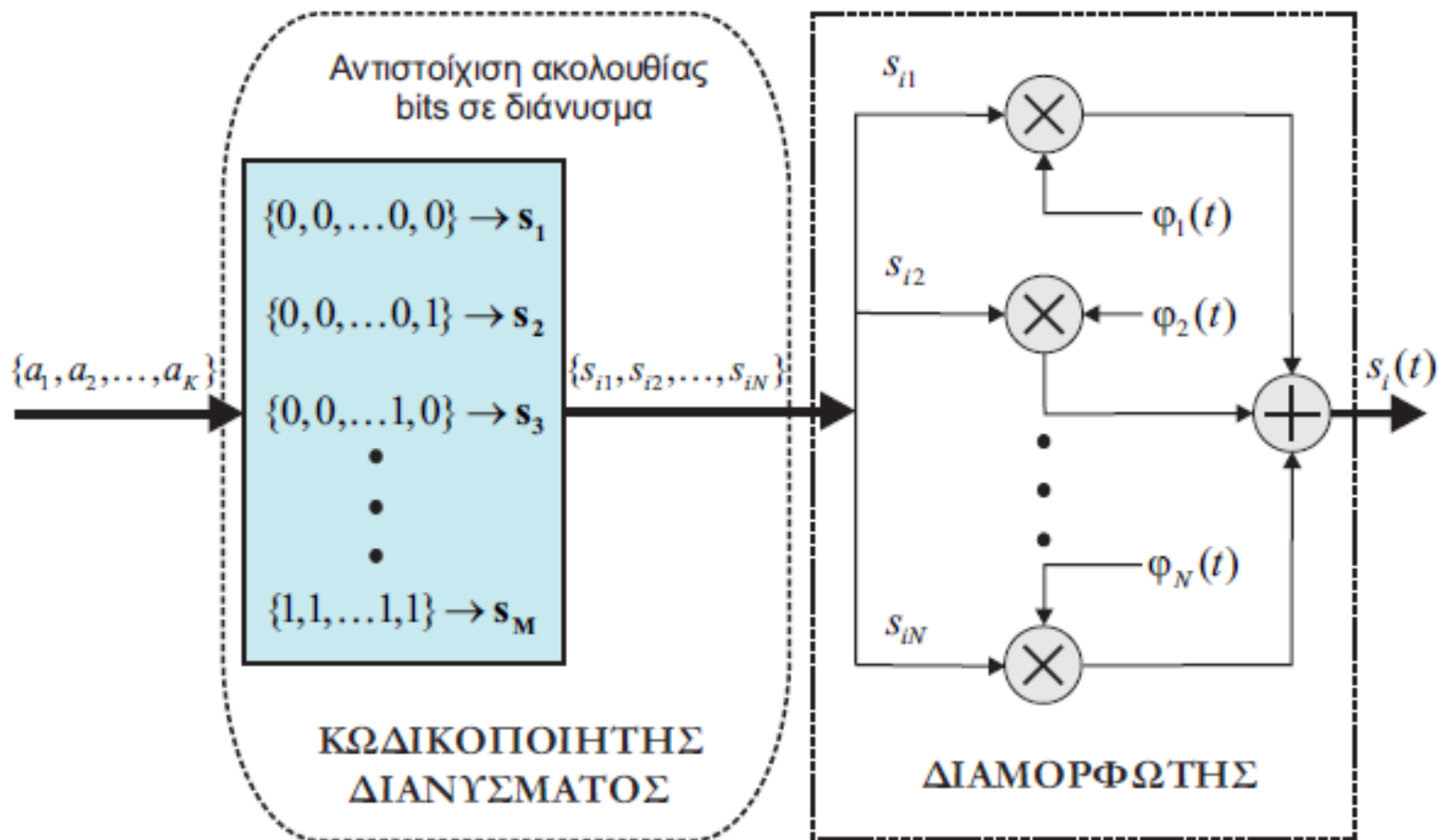
Quadratic Amplitude Modulation (QAM) –
συνδυασμός της ASK και της PSK



Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα



Ψηφιακός Πομπός



UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

THE RADIO SPECTRUM

RADIO SERVICES COLOR LEGEND



ACTIVITY CODE



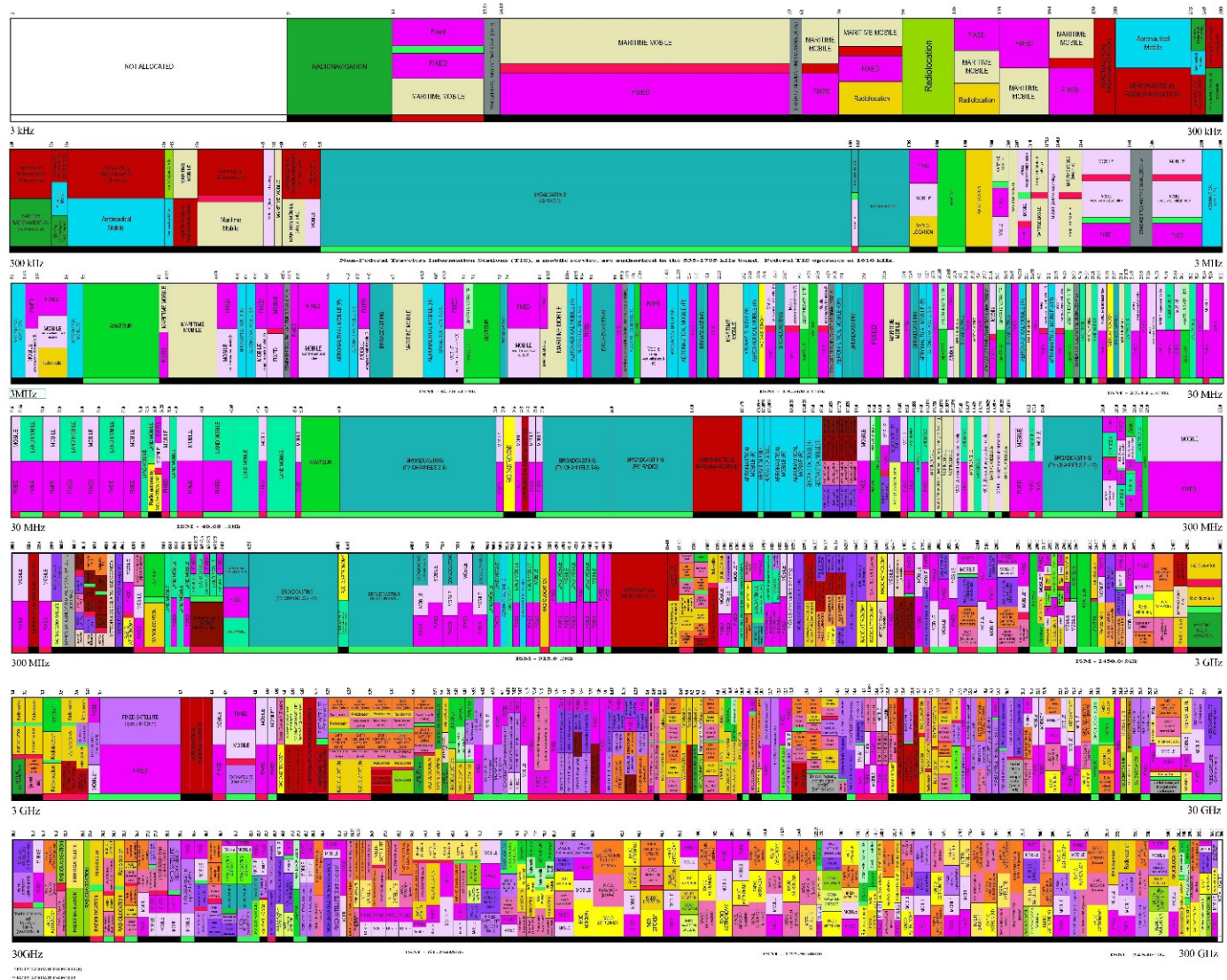
ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLES	DESCRIPTION
Leases	Lease	Leasehold interest
Security	Security	Interest in the leasehold interest

The first is a growing split in the usage of the title. Companies often use it as CEO or CMO, and it is clearly very difficult to find specific financial data on corporate usage of it. In many African markets, it is very common to use it as the title of a senior executive or director.

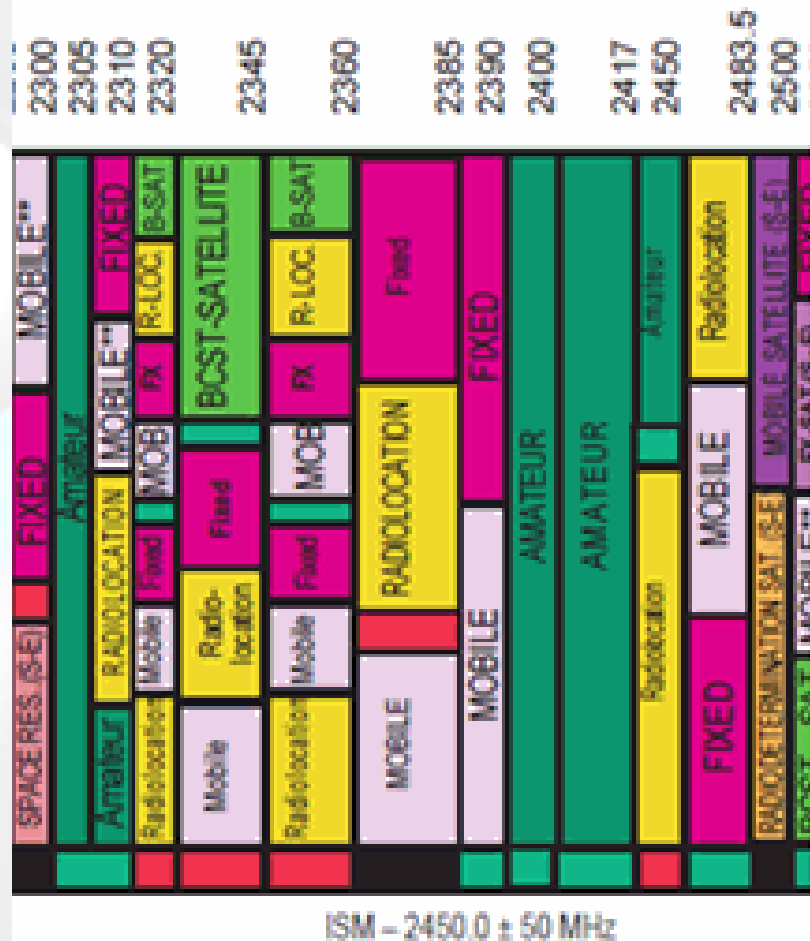


U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
National Telecommunications and Information Administration
Office of Spectrum Management
August 2011

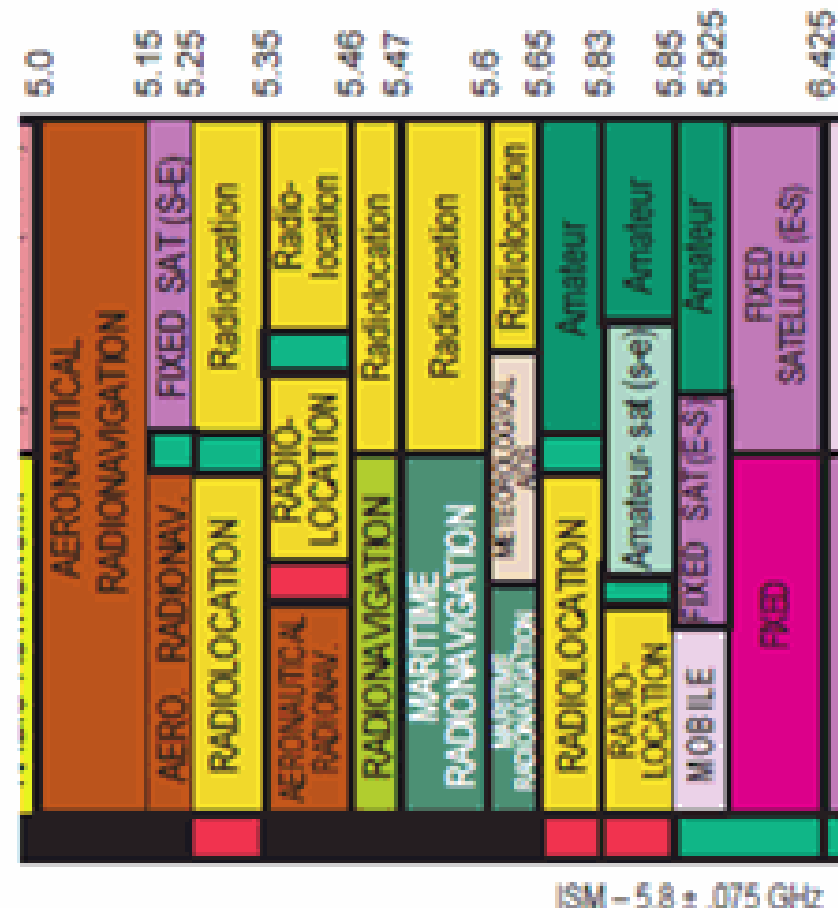


Wi-Fi Radio Spectrum

Wi-Fi Radio Spectrum



2.4 GHz



5 GHz

Δορυφορικό Ραδιοφάσμα

Ονομασία Ζώνης Συχνοτήτων	Συχνότητα Uplink (GHz)	Συχνότητα Downlink (GHz)	Υπηρεσία ITU-R
L	2	1	MSS LMSS
S	4	2	MSS Space Research
C	6	4	FSS
X	10,5	8	military FSS
Ku	14	11	FSS/BSS
Ka	30	20	FSS/BSS
Q/V	50	40	FSS
W	90	80	FSS



Ρύθμιση Φάσματος

- Το φάσμα είναι περιορισμένο «φυσικά» και χρησιμοποιείται από πολλούς.
- Το παγκόσμιο ράδιο-φάσμα ελέγχεται από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU-R (International Telecommunications Union)
www.itu.int
- Στην Ευρώπη υπάρχει το ETSI (European Telecommunications Standardization Institute).
- Στις ΗΠΑ το FCC (Federal Communications Commission; Εμπορική χρήση) and OSM (Office of Spectral Management; Στρατιωτική χρήση).
- Στην Ελλάδα η ΕΕΤΤ www.eett.gr. (www.cept.org, www.ero.dk)
- Το φάσμα μπαίνει σε πλειστηριασμό, ή πληρώνεται με σταθερή τιμή, or “given away- δωρίζεται” (ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων).
- Κάποιο κομμάτι του φάσματος «αποταμιεύεται» για παγκόσμια χρήση.



Πρότυπα

- Διαδραστικά συστήματα απαιτούν προτυποποίηση (συμβατότητα, διαλειτουργικότητα)
- Τυπικά: εταιρείες επιθυμούν τα δικά τους συστήματα να υιοθετηθούν ως πρότυπα!
 - ▶ Εναλλακτικά: δοκίμασε για “de-facto” πρότυπα
- Παγκοσμίως τα πρότυπα καθορίζονται από την ITU-T (International Telecommunications Union)
- Στην Ευρώπη από τον ETSI (European Telecommunications Standardization Institute)
- Στις ΗΠΑ από τον TIA (Telecommunications Industry Association)
 - ▶ IEEE πρότυπα συνήθως υιοθετούνται (επίσης παγκοσμίως)
 - ▶ Διαδικασία γεμάτη με ανεπάρκειες και ενδιαφέρουσες συγκρούσεις...

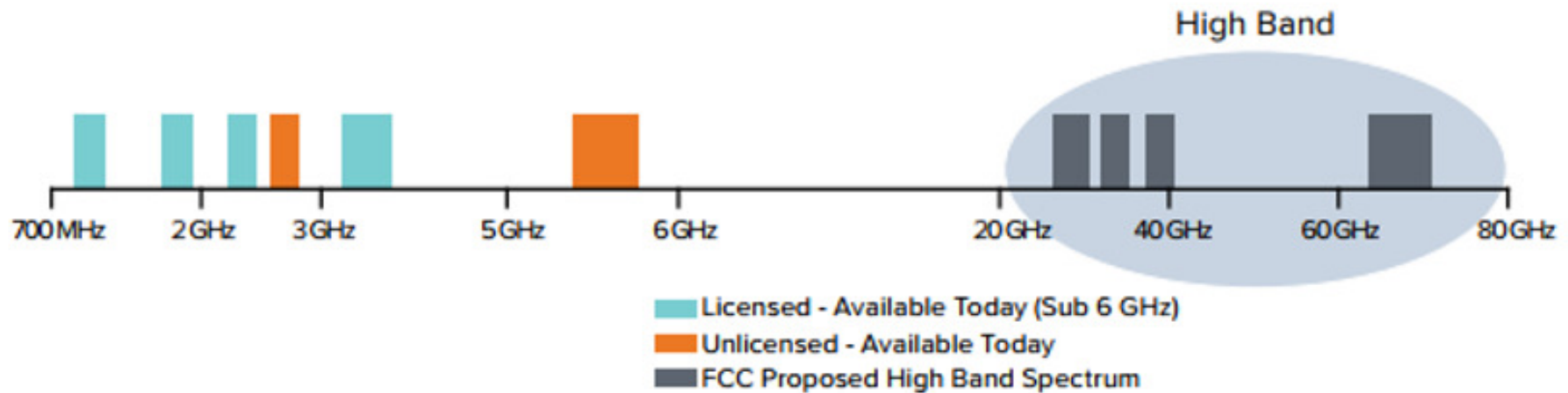


3G: ITU-developed, UMTS/IMT-2000





From 1G – 5G

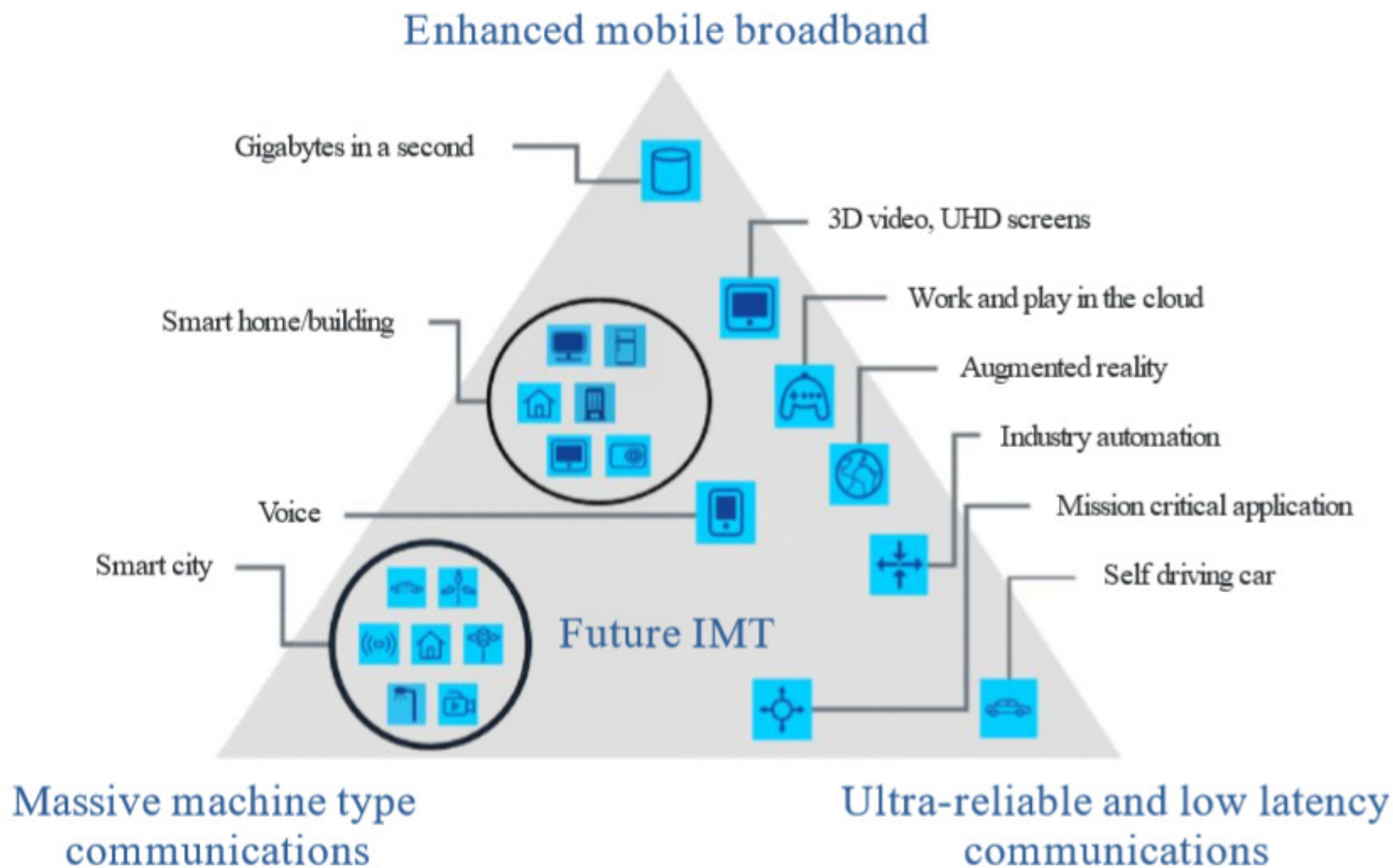


	1G	2G	3G	4G	5G
ROAD TYPE:	Dirt road	Paved one lane road	Two lane road	Four lane highway	Ten lane superhighway
CHANNEL SIZE:	30 KHz	200 KHz	1.25 MHz	20 MHz	200 MHz
APPLICATIONS:	Voice	+ Text, Email, Limited Internet	+ Internet, low quality video	+ Social media, streaming video	+ HD video, VR, AR, High-speed data
FREQUENCY BAND:	800 MHz	800/1900 MHz	800/1700/1900 MHz 2.1 GHz	700/800/1700/1900 MHz 2.1/2.3/2.5 GHz	High Band+



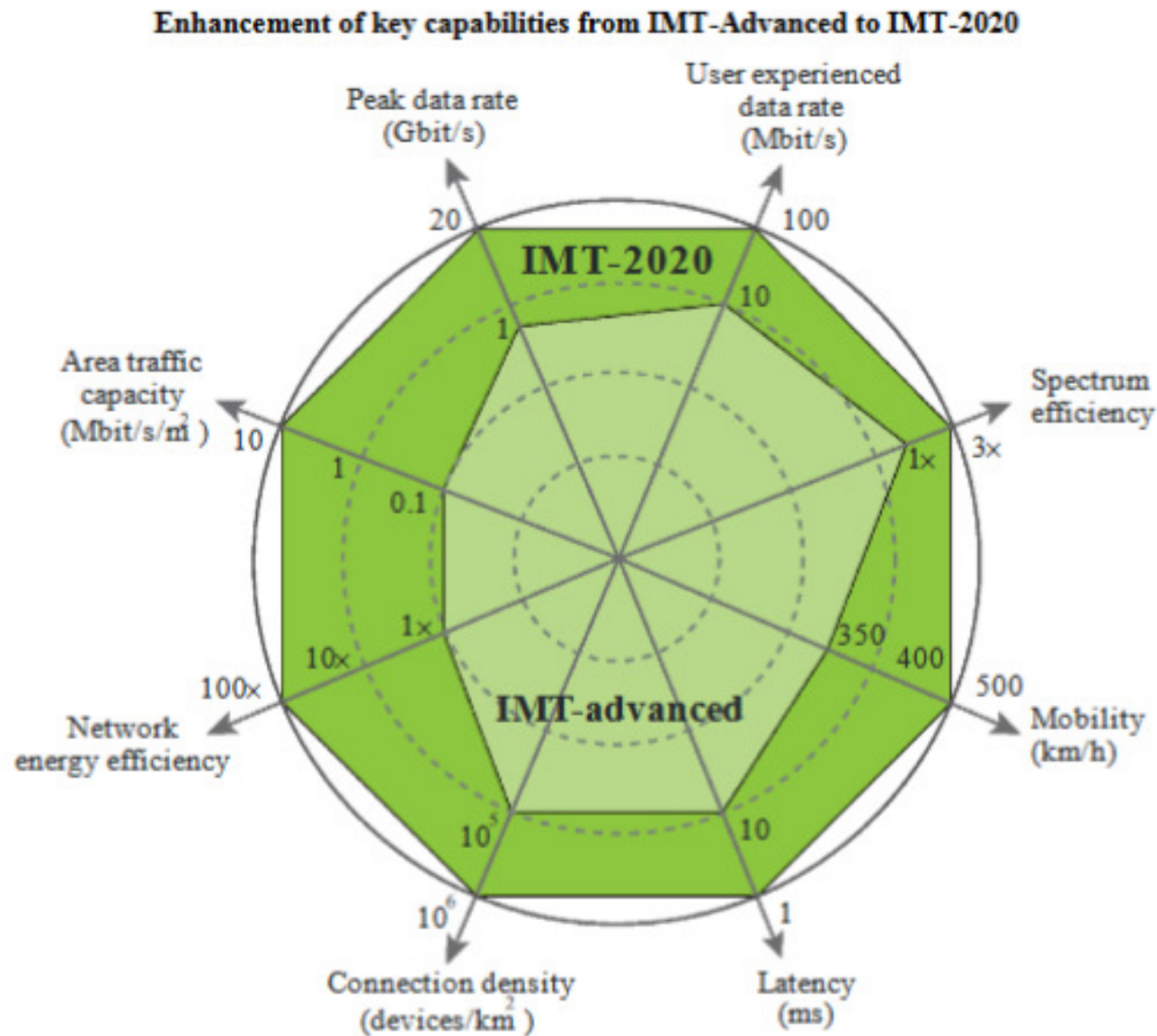
- The aim of 5G is to improve on the performance of previous generation systems
- [ITU-R Recommendation M.2083](#), the general performance objectives can be quantified as follows:
 - Peak data rate: tens of Gbit/s
 - User experienced data rate: 100 Mbit/s to 1 Gbit/s
 - Connection density: 1 million connections per km²
 - End-to-end latency: millisecond level
 - Traffic volume density: 10 Mbit/s per m²
 - Mobility: up to 500 km/h

Usage scenarios of IMT for 2020 and beyond



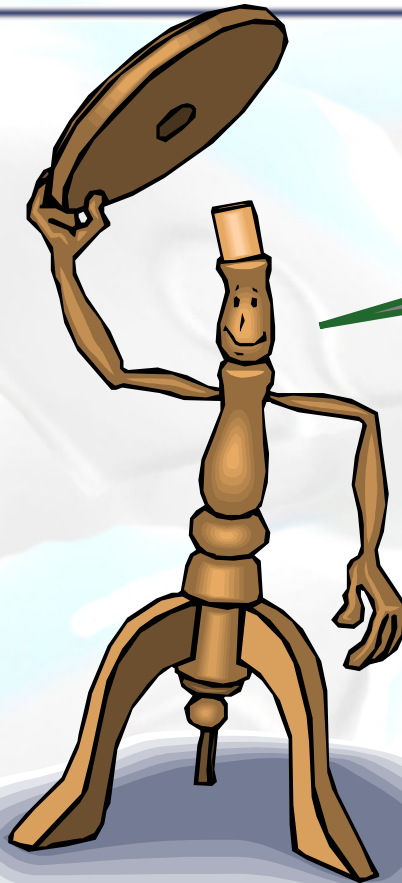


Enhancement of Key Capabilities



Q&A

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας !!!



E-mail: thpanag@ece.ntua.gr
Παλ. Κτίρια Ηλ/γων Γρ. 3.2.9