

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Τεχνικές Μετάδοσης και Λήψης

Δημοσθένης Βουγιούκας

Αναπληρωτής Καθηγητής Παν. Αιγαίου

dnougiou@aegean.gr

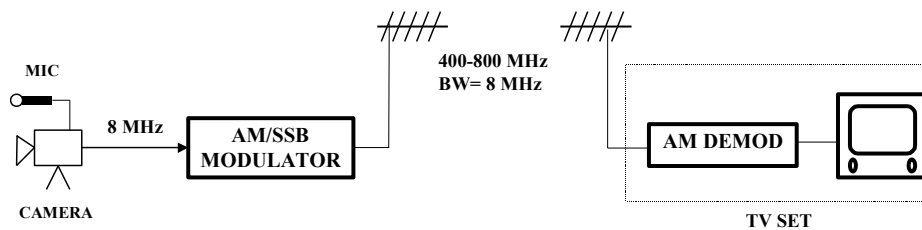
ΕΚΠΑ

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Επίγεια Αναλογική Διανομή

2

ΕΠΙΓΕΙΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΝΟΜΗ ΣΤΑ VHF/UHF (AM)



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Επίγεια Αναλογική Μετάδοση

3

- Το σήμα αποτελείται κατά βάση από **τρία** διακριτά σήματα (εκ των οποίων το ένα έχει δύο συνιστώσες):
 - Το **σήμα φωτεινότητας (Y)** το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί στην ασπρόμαυρη τηλεόραση και συνεχίστηκε να χρησιμοποιείται και στην έγχρωμη αναλογική, αρχικά για λόγους συμβατότητας, αλλά και για να μπορεί να υφίσταται διαφορετική διαχείριση (π.χ. αναφορικά με τη δειγματοληψία) λόγω της μεγαλύτερης σπουδαιότητάς του σε σχέση με αυτό του χρώματος για την ποιότητα της εικόνας
 - Το **σήμα του χρώματος**, το οποίο αποτελείται από δύο συνιστώσες και συγκεκριμένα τις χρωμοδιαφορές. Ανάλογα με το σύστημα χρώματος που χρησιμοποιείται, τα σήματα που αφορούν το χρώμα προκύπτουν με άλλο τρόπο. Στην περίπτωση του NTSC έχουμε τα I και Q, στο PAL χρησιμοποιούνται τα U και V, ενώ στην περίπτωση του SECAM χρησιμοποιούνται τα D_R και D_B. Σε όλες τις περιπτώσεις οι συνιστώσες αυτές προκύπτουν απευθείας από τις χρωμοδιαφορές με κλιμάκωση
 - Το **σήμα του ήχου**, το οποίο διαμορφώνεται και μεταδίδεται ξεχωριστά, εντός του συγκεκριμένου καναλιού

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Επίγεια Αναλογική Μετάδοση

4

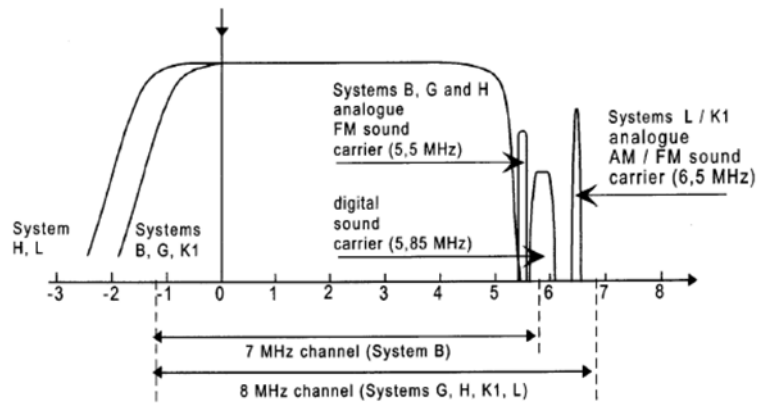
- Τα σήματα αυτά αθροίζονται και διαμορφώνονται και το συνολικά διαμορφωμένο σήμα εντάσσεται στο εύρος ζώνης του εκάστου καναλιού
- Το εύρος ζώνης στην περίπτωση που το κανάλι ανήκει στη ζώνη των VHF είναι 7 MHz, ενώ στην περίπτωση που ανήκει στα UHF έχει εύρος ζώνης 8 MHz
- Όσον αφορά τη μετάδοση του σήματος χρώματος, η Ελλάδα είχε υιοθετήσει αρχικά το SECAM, ωστόσο στις αρχές της δεκαετίας του 1990 έγινε μετάβαση στα συστήματα PAL B/G
- Αντίστοιχη μετάβαση έγινε για σημαντικό πλήθος χωρών που είχαν αρχικά υιοθετήσει το SECAM
- Το PAL B αντιστοιχεί στο κανάλι VHF (δηλαδή με εύρος ζώνης 7 MHz) και το PAL G σε κανάλι UHF (δηλαδή με εύρος ζώνης 8 MHz)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Επίγεια Αναλογική Μετάδοση

5

□ Φάσμα Αναλογικού Τηλεοπτικού Σήματος

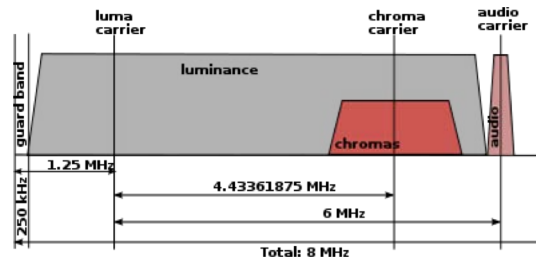


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Επίγεια Αναλογική Μετάδοση

6

- Το σήμα της φωτεινότητας πολυπλέκεται κατά FDM με το σήμα της χρωματικότητας και αυτό του ήχου για να σχηματιστεί το τελικό τηλεοπτικό σήμα με εύρος 8 MHz. Στην Ευρώπη ακολουθήθηκε το πρότυπο PAL όσον αφορά την τελική μορφή του σήματος.

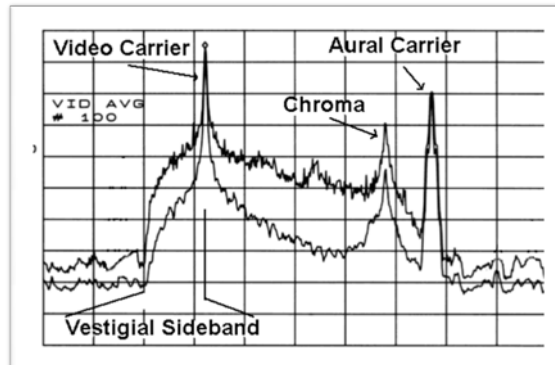


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Επίγεια Αναλογική Μετάδοση

7

- Το σήμα εκπέμπεται στον αέρα διαμορφώνοντας κατά AM-SSB ένα φέρον στην τηλεοπτική μπάντα (VHF: 174-230 MHz ή UHF: 470-862 MHz)

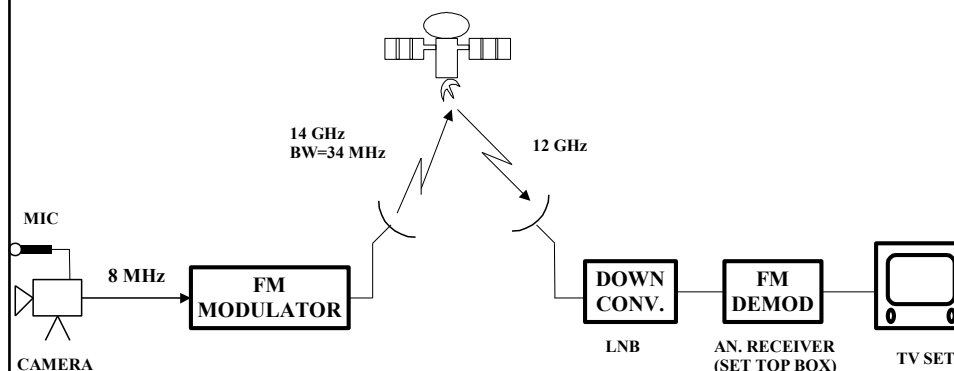


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Δορυφορική Αναλογική Διανομή

8

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΝΟΜΗ (FM)

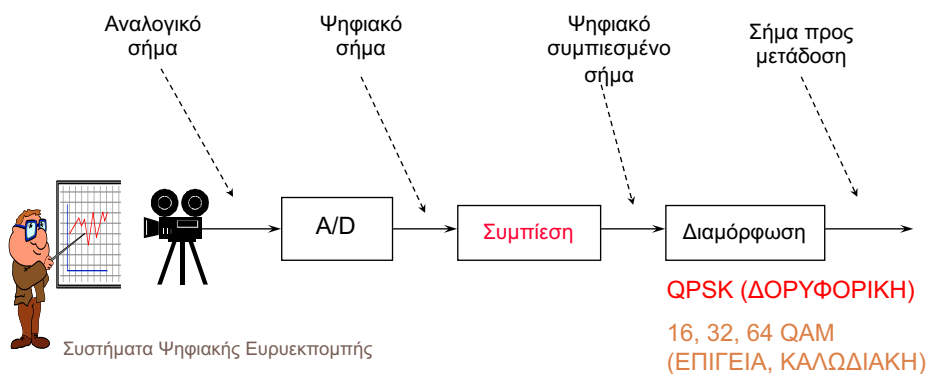


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Ψηφιακή Τηλεόραση

9

- Είναι η εκπομπή τηλεοπτικών προγραμμάτων με τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας. Δηλαδή τα σήματα video και audio εκτέμπονται με τη μορφή ψηφιακών σημάτων (bit).



Πρότυπα DVB



10

- Το Digital Video Broadcasting (DVB) αποτελείται από ένα σύνολο διεθνώς ανοικτών προτύπων για την ψηφιακή τηλεόραση.
- Τα πρότυπα DVB διατηρούνται από το DVB Project (www.dvb.org) μια διεθνής βιομηχανική κοινοπραξία με περισσότερα από 270 μέλη και δημοσιεύονται από την Κοινή Τεχνική Επιτροπή (JTC) του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI), της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ηλεκτροτεχνικής Τυποποίησης (CENELEC) και την Ευρωπαϊκή Ένωση Ραδιοφωνίας (EBU).

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Πρότυπα DVB



11

- Τα συστήματα DVB διανέμουν δεδομένα χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις, όπως:
 - Δορυφορική: **DVB-S**, **DVB-S2** και **DVB-SH**
 - **DVB-SMATV** για διανομή μέσω SMATV
 - Καλωδιακή: **DVB-C**, **DVB-C2**
 - Επίγεια τηλεόραση: **DVB-T**, **DVB-T2**
 - Ψηφιακή επίγεια τηλεόραση για φορητές συσκευές: **DVB-H**, **DVB-SH**
 - Μικροκύματα: χρησιμοποιώντας τα πρότυπα
 - DTT (**DVB-MT**)
 - MMDS (**DVB-MC**)
 - MVDS (**DVB-MS**)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Πρότυπα DVB

12

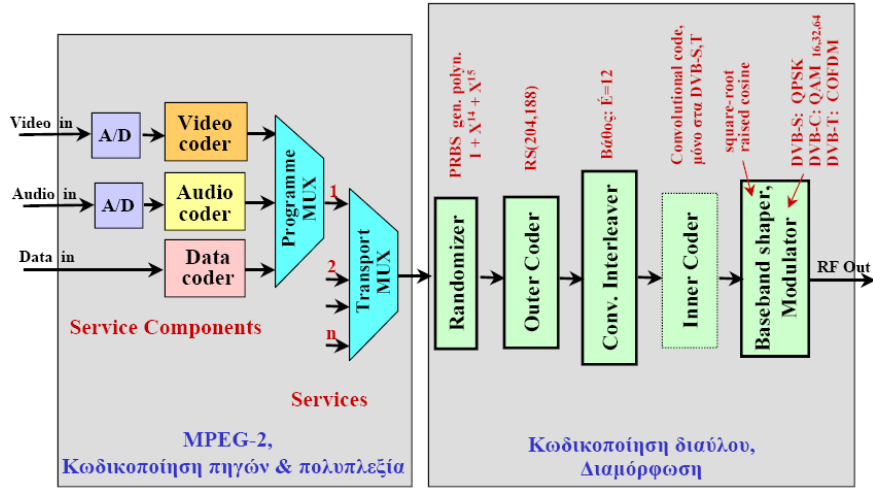
Δορυφορικό	ETS 300 421 Digital satellite transmission systems
Καλωδιακό	ETS 300 429 Digital cable delivery systems
Επίγειο	ETS 300 744 Digital terrestrial broadcasting systems
Διανομής “πολλών σημείων”	ETS 300 748 Digital multipoint distribution systems at and above 10 GHz ETS 300 749 Digital multipoint distribution systems at or below 10 GHz
(Satellite) Master Antenna Telev. (SMART)	ETS 300 473 Digital satellite master antenna television (SMART) distribution systems
Αλληλο- δραστικής τηλεόρασης	ETS 800 Return channels in CATV systems (DVB-RCC) ETS 300 801 Network-independent Interactive protocols (DVB-NIP) ETS 300 802 Return channels in PSTN / ISDN systems ETS 300 813 Interfacing to PDH networks ETS 300 814 Interfacing to SDH networks
Εκπομπής Data	TS/EN 301 192 Specification for the transmission of data in DVB systems

<http://www.dvb.org>

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

DVB: Αρχιτεκτονική πομπού

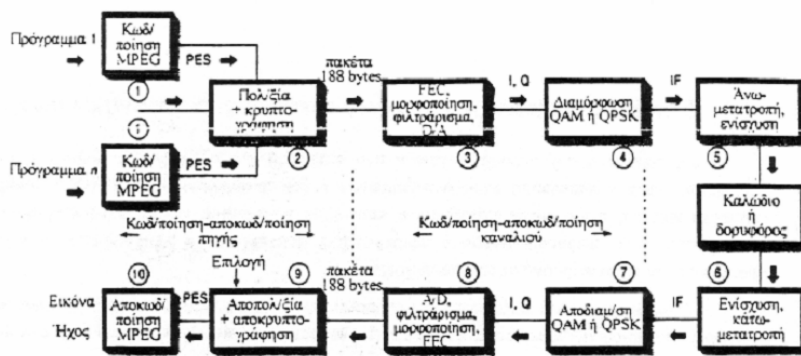
13



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Μετάδοση και Λήψη DVB

14



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Μετάδοση DVB

15

- Μια τυπική μέθοδος μετάδοσης στοιχείων στοιχειώδους ροής από έναν κωδικοποιητή βίντεο ή ήχου είναι πρώτα να δημιουργηθούν πακέτα Packetized Elementary Stream (PES) από τα δεδομένα στοιχειώδους ροής και στη συνέχεια να ενσωματωθούν μέσα στα πακέτα μεταφοράς ρεύματος (TS) ή στα πακέτα προγραμμάτων Stream (PS)
- Τα πακέτα TS μπορούν στη συνέχεια να πολυπλέκονται και να μεταδίδονται χρησιμοποιώντας τεχνικές εκπομπής
- Τα προς αναμετάδοση οπτικά και ηχητικά σήματα οδηγούνται διαμέσου ενός κωδικοποιητή MPEG-2, ο οποίος διανέμει τα οπτικά και ηχητικά (PES) στον πολυπλέκτη (περίπου τέσσερα με οκτώ προγράμματα ανά κανάλι RF ανάλογα με τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για την κωδικοποίηση)
- Αυτά τα PES χρησιμοποιούνται από τον πολυπλέκτη για τον σχηματισμό πακέτων μετάδοσης μεγέθους 188 bytes, τα οποία τελικά κρυπτογραφούνται (πίνακες Conditional Access Table (CAT) που φέρουν πληροφορίες πρόσβασης υπό συνθήκη ECM/EMM εισάγονται σε αυτήν την περίπτωση), καθώς επίσης και οι πίνακες PAT, PMT, PSI και DVB-SI (ETSI EN 300 468) για τον ηλεκτρονικό οδηγό προγράμματος EPG (electronic program guide)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Μετάδοση DVB

16

- Η διόρθωση σφαλμάτων RS αυξάνει το μέγεθος του πακέτου σε 204 bytes. Για την περίπτωση δορυφορικής μετάδοσης, η συνελκτική κωδικοποίηση πολλαπλασιάζει τον ρυθμό με ένα παράγοντα μεταξύ 1.14 ($R_c = 7/8$) και 2 ($R_c = 1/2$). Στη συνέχεια η μορφοποίηση των δεδομένων (*χαρτογράφηση συμβόλων*) ακολουθούμενη από φιλτράρισμα και ψηφιακή-σε-αναλογική (D/A) μετατροπή παράγει τα αναλογικά σήματα I και Q
- Τα σήματα I και Q διαμορφώνουν (QPSK για δορυφορική και QAM για καλωδιακή) ένα φέρον IF (ενδιάμεσης συχνότητα της τάξης των 70 MHz)
- Το σήμα IF ανυψώνεται σε κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων (ανάλογα το μέσο) για την μετάδοση του στους τελικούς χρήστες

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Λήψη DVB

17

- Στην περίπτωση δορυφορικής λήψης, γίνεται αρχικά υποβιβασμός της συχνότητας στην απόληξη της κεραίας (μετατροπέας χαμηλού θορύβου, LNC, low noise converter), ο οποίος οδηγεί την συχνότητα στην ζώνη στα 950-2150 MHz (είσοδος του IRD), όπου δέχεται μια δεύτερη υποβάθμιση (μετά την επιλογή του RF καναλιού) σε μια IF συχνότητα περίπου 480MHz. Για καλωδιακή λήψη, υπάρχει μόνο ένας υποβιβασμός της συχνότητας από την ζώνη των VHF/UHF στην IF συχνότητα των 36.15 MHz στην Ευρώπη
- Η σχετική αποδιαμόρφωση αυτού του IF σήματος παρέχει τα αναλογικά σήματα I και Q

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Λήψη DVB

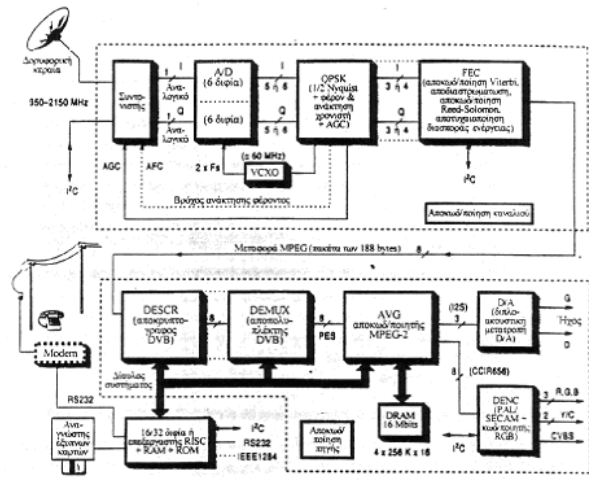
18

- Μετά την μετατροπή αναλογικό-σε-ψηφιακό (A/D), το φιλτράρισμα και την αναμόρφωση των σημάτων I και Q (αποχαρτογράφηση συμβόλων, symbol demapping), ανακτώνται τα πακέτα μετάδοσης των 188 bytes με εμπρόσθια διόρθωση σφαλμάτων
- Ο αποπολυπλέκτης επιλέγει το PES που αντιστοιχεί στο πρόγραμμα που επέλεξε ο χρήστης, το οποίο μπορεί να είχε προηγουμένως αποκρυπτογραφηθεί με την βοήθεια των ECM, EMM και του κλειδιού χρήστη (έξυπνη κάρτα)
- Ο αποκωδικοποιητής MPEG-2 ανασυνθέτει την εικόνα και τον ήχο του επιλεγμένου προγράμματος

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

19



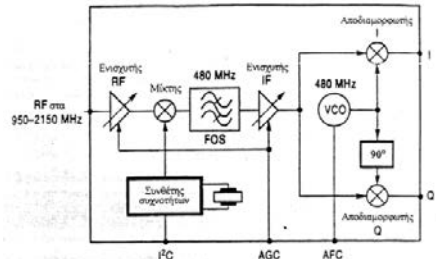
Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκτομής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

20

□ Συντονιστής ή front end

- Ο συντονιστής ελέγχεται γενικότερα από ένα σειριακό δίαυλο επικοινωνίας (I²C bus), επιλέγει τα απαιτούμενο κανάλι RF στην περιοχή 950-2150 MHz, το μετατρέπει σε ένα σήμα EF των 480 MHz και επιτυγχάνει την απαιτούμενη επιλογή διαμέσου ενός φίλτρου επιφανείας ακουστικού κύματος (SAW, surface acoustic wave filter). Το σήμα ενισχύεται και αποδιαμορφώνεται συμφασικά ως προς τους άξονες 0° και 90° για να ληφθούν τα αναλογικά σήματα I και Q. Η ανάκτηση της φάσης του φέροντος που απαιτείται για αποδιαμόρφωση, πραγματοποιείται σε συνδυασμό με τα επόμενα στάδια του δέκτη με κλειδίωμα της φάσης και της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή διαμέσου ενός βρόχου ανάκτησης του φέροντος



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκτομής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

21

- **Μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC)**
 - Ο ADC λαμβάνει τα αναλογικά σήματα I και Q, τα οποία μετατρέπει σε διπλάσια από την συχνότητα συμβόλου f_{symb} (της τάξης των 30 MHz στην Ευρώπη). Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτό επιτυγχάνεται με έναν διπλό ADC με ανάλυση 6 bits ο οποίος λειτουργεί με συχνότητα δειγματοληψίας μεγαλύτερη των 60 MHz. Εδώ ξανά, η συχνότητα δειγματοληψίας κλειδώνεται στην συχνότητα συμβόλου διαμέσου ενός κυκλώματος βρόχου κλειδωμένης φάσης PLL (δηλ. βρόχος ανάκτησης χρονισμού)
- **QPSK**
 - Το τμήμα QPSK, εκτός των λειτουργιών του που αφορούν τους βρόχους ανάκτησης του φέροντος και χρονισμού, επιτυγχάνει την διαδικασία φιλτραρίσματος ημί-Nyquist επιπρόσθετα αυτής που εφαρμόζεται στον αναμεταδότη για τα σήματα I και Q. Τα ψηφιοποιημένα πλέον σήματα οδηγούνται οργανωμένα σε ομάδες των 2x3 ή 2x4 bits στο επόμενο λειτουργικό τμήμα (FEC)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

22

- **Εμπρόσθια διόρθωση σφαλμάτων (FEC)**
 - Το τμήμα FEC διακρίνει, με την λογική της πλειονότητας, τα '0' από τα '1' και επιτυγχάνει την πλήρη διόρθωση σφαλμάτων με την ακόλουθη σειρά: αποκωδικοποίηση του κώδικα συνέλιξης, απο-διεμπλοκή (de-interleaving), αποκωδικοποίηση Reed-Solomon και από-τυχαιοποίηση (de-randomizing) διασποράς ενέργειας. Τα δεδομένα εξόδου είναι πακέτα μετάδοσης μεγέθους 188 bytes που γενικότερα διανέμονται σε παράλληλη μορφή (δεδομένα 8-bit, σήματα ελέγχου και χρονισμού, από τα οποία το ένα δηλώνει μη-διορθώσιμα σφάλματα)
- **Αποκρυπτογράφος**
 - Το τμήμα DESCR λαμβάνει τα πακέτα μετάδοσης και επικοινωνεί με τον κυρίως επεξεργαστή διαμέσου παράλληλου δίαυλου για την γρήγορη μεταφορά δεδομένων. Επιλέγει και αποκρυπτογραφεί τα πακέτα του απαιτούμενου προγράμματος υπό έλεγχο της μονάδας πρόσβασης υπό συνθήκη. Αυτή η λειτουργία πολλές φορές συνδυάζεται τον αποπολυπλέκτη

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

23

- **Αποπολυπλέκτης**
 - Ο αποπολυπλέκτης (DEMUX) επιλέγει, διαμέσου προγραμματιζόμενων 'φίλτρων', τα πακέτα PES που αντιστοιχούν στο πρόγραμμα που επιλέχθηκε από τον χρήστη
- **MPEG**
 - Οι οπτικές και ηχητικές έξοδοι PES από τον αποπολυπλέκτη εφαρμόζονται στην είσοδο του τμήματος MPEG, που σε γενικές γραμμές συνδυάζει τις οπτικές και ηχητικές λειτουργίες και αυτές του ελέγχου γραφικών που απαιτούνται, μεταξύ άλλων, για τον ηλεκτρονικό οδηγό προγράμματος (EPG). Η αποκωδικοποίηση MPEG-2 περιλαμβάνει γενικότερα τουλάχιστο 16 Mbits **DRAM** (κάποιες φορές περισσότερα για την αποκωδικοποίηση σημάτων 625 γραμμών, ανάλογα των δυνατοτήτων διαχείρισης της μνήμης)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

24

- **Μικροεπεξεργαστής**
 - Το όλο σύστημα ελέγχεται από έναν πανίσχυρο μικροεπεξεργαστή 16/32 bits ο οποίος ελέγχει το κύκλωμα, ερμηνεύει τις εντολές του χρήστη από το τηλεχειριστήριο, και διαχειρίζεται τους αναγνώστες έξυπνων καρτών και τις επικοινωνιακές διασυνδέσεις που γενικά υπάρχουν στο δέκτη. Το λογισμικό ανέρχεται σε αρκετές εκατοντάδες Kbytes, και είναι αποθηκευμένο μερικώς σε μια flash EPROM για να υπάρχει η δυνατότητα αναβάθμισης κατά την διάρκεια του χρόνου ζωής του προϊόντος (εκτός λειτουργίας ή μέσω των θυρών επικοινωνίας)
- **Έξυπνοι αναγνώστες καρτών (smart card readers)**
 - Η μονάδα πρόσβασης υπό συνθήκη περιλαμβάνει γενικότερα έναν ή δύο τέτοιους αναγνώστες (ένας μπορεί να είναι για τραπεζική κάρτα, για παράδειγμα). Στην περίπτωση της αποσπώμενης μονάδας κοινής διασύνδεσης τύπου DVB-CI (προφανώς στο σχήμα της υποδοχής PCMCIA), τα κυκλώματα πρόσβασης υπό συνθήκη και αποκρυπτογράφησης εντοπίζονται στην αποσπώμενη μονάδα τύπου PCMCIA. Ο αποπολυπλέκτης που περιλαμβάνεται στον δέκτη IRD λαμβάνει τα πακέτα αποκωδικοποιημένα ('όπως είναι' ή αποκρυπτογραφημένα)
- **Θύρες επικοινωνίας**
 - Ο δέκτης IRD μπορεί να επικοινωνήσει με τον έξω κόσμο (PC, modem, κτλ.) μέσω μιας ή περισσότερων θυρών. Από την απλούστερη (σειριακή RS232) έως τη γρηγορότερη (παράλληλη IEEE 1284), αυτές οι θύρες, όπως και η διασύνδεση διαμέσου τηλεφωνικής γραμμής (με την βοήθεια ενός ολοκληρωμένου modem), είναι τα απαραίτητα σημεία σύνδεσης για αλληλεπίδραση και δυνατότητα πρόσβασης σε νέες υπηρεσίες (χρέωση-ανά-θέμα, τηλεαγορά, πρόσβαση σε δίκτυα)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Δομή Δορυφορικού Δέκτη

25

- Ψηφιακός κωδικοποιητής εικόνας (digital video encoder, DENC)
 - Τα οπτικά σήματα που ανασυντίθενται από τον αποκωδικοποιητή MPEG-2 (ψηφιακά σήματα YUV στη μορφή CCIR 656) εφαρμόζονται στη συνέχεια στον ψηφιακό κωδικοποιητή εικόνας DENC που εξασφαλίζει την μετατροπή τους σε αναλογικά σήματα RGB και συγχρονισμού, για την βέλτιστη δυνατή ποιότητα εικόνας στην τηλεόραση διαμέσου διασύνδεσης SCART/PERITEL και PAL, NTSC ή SECAM (σύνθετο σήμα και/ή Y/C) κυρίως για VCR εγγραφή
- Μετατροπέας από ψηφιακό σε αναλογικό (DAC)
 - Τα αποσυμπιεσμένα ψηφιακά ηχητικά σήματα μορφής I²C ή παρόμοιας οδηγούνται σε ένα διπλό μετατροπέα από ψηφιακό σε αναλογικό (DAC) με ανάλυση 16 bits ή περισσότερων, ο οποίος παράγει το δεξί και το αριστερό αναλογικό σήμα ήχου

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Ψηφιακή Διαμόρφωση

26

- Ανάλογα με το μέσο (δορυφορικό, καλωδιακό, επίγειο δίκτυο), το εύρος ζώνης που διατίθεται για την μετάδοση εξαρτάται από τεχνικές και διοικητικές θεωρήσεις, όπου οι τελευταίες κυρίως εξαρτώνται από τις προηγούμενες
- Στην πραγματικότητα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά (λόγος σήματος – προς – θόρυβο, SNR και ανακλάσεις) διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των σημάτων που προέρχονται από:
 - **δορυφόρο**, αδύναμα αλλά σχετικά σταθερά εφόσον προέρχονται από πομπό χαμηλής ισχύος σε απόσταση μεγαλύτερη των 36000 km
 - από **καλωδιακό δίκτυο**, όπου τα σήματα είναι σε γενικές γραμμές ισχυρά και σταθερά στην πρίζα του συνδρομητή
 - **επίγειο πομπό**, όπου οι συνθήκες μπορεί να διαφέρουν αρκετά, ειδικά στην περίπτωση ενός κινητού δέκτη

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Ψηφιακή Διαμόρφωση

27

- Για **δορυφορική** λήψη, ο λόγος σήματος-προς-θόρυβο (λόγος φέροντος-προς-θόρυβο, carrier- to-noise ratio C/N ή CNR) μπορεί να είναι πολύ μικρός (10 dB ή λιγότερο) αλλά το σήμα πρακτικά δεν επηρεάζεται από ανακλάσεις
- Για **καλωδιακή** λήψη, ο SNR είναι πολύ πιο μεγάλος (γενικότερα μεγαλύτερος των 30 dB), αλλά το σήμα μπορεί να επηρεαστεί από ανακλάσεις (echoes) λόγω της κακής προσαρμογής του δικτύου
- Για **επίγεια** λήψη, οι συνθήκες είναι πιο δυσκολίες, ειδικά στην κινητή λήψη όπου απαιτούνται πολύ μικρές κεραίες λήψης (πολλαπλές ανακλάσεις λόγω πολλαπλών διαδρομών (multipath), παρεμβολών, σημαντικών μεταβολών στη στάθμη του σήματος)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Ψηφιακή Διαμόρφωση

28

- Οι τεχνικές διαμόρφωσης πρέπει να διαφέρουν, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθούν για τους συγκεκριμένους περιορισμούς του καναλιού μετάδοσης και για συμβατότητα με υπάρχουσες αναλογικές μεταδόσεις:
 - Στο **δορυφόρο**, το εύρος καναλιού βρίσκεται γενικότερα μεταξύ 27 και 36 MHz, λόγω της αναγκαιότητας της χρήσης διαμόρφωσης συχνότητας (FM, frequency modulation) για την μετάδοση αναλογικών τηλεοπτικών προγραμμάτων (εύρος ζώνης 6-8 MHz μαζί με το αντίστοιχο φέρον ήχου), λόγω του χαμηλού CNR που αναφέρθηκε παραπάνω
 - Για **καλωδιακά** ή **επίγεια** δίκτυα, το εύρος καναλιού ποικίλει από 6 (ΗΠΑ) σε 7 ή 8 MHz (Ευρώπη) λόγω της χρήσης αναλογικής διαμόρφωσης (AM) με ημιμονόπλευρη εκπομπή (VSB, vestigial sideband) για την εικόνα και ενός ή περισσότερων φερόντων ήχου

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Ψηφιακή Διαμόρφωση

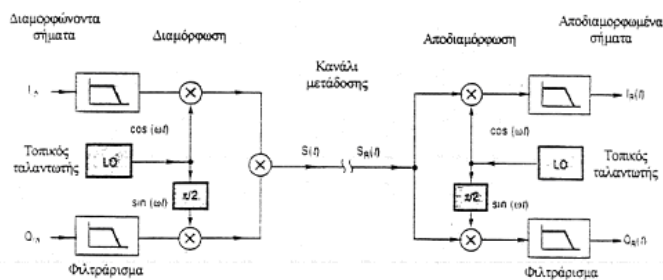
29

- Τεχνικές διαμόρφωσης, όπως FSK και ASK έχουν μικρή φασματική απόδοση
- Για να αυξηθεί η φασματική απόδοση χρησιμοποιούνται οι ορθογωνικές διαμορφώσεις
 - **DVB-S**
 - QPSK
 - 8-PSK
 - 16-QAM
 - **DVB-T**
 - QPSK
 - 16-QAM
 - 64-QAM σε σχήμα πολλαπλών ορθογωνίων φερόντων (COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και ιεραρχικής διαμόρφωσης
 - **DVB-C**
 - QPSK
 - 16-QAM
 - 32-QAM
 - 64-QAM
 - 128-QAM
 - 256-QAM

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Ορθογωνική διαμόρφωση

30

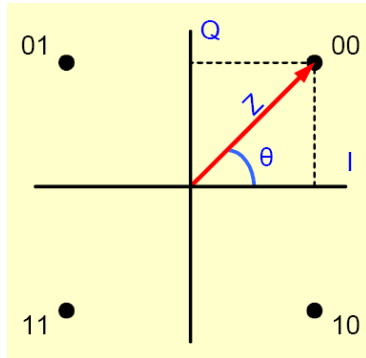


Κωδικοποίηση I/Q (bits)	Bit/Σύμβολο	Αριθμ. Καταστάσεων	Συντομογραφία
1	2	4	QPSK (4-QAM)
2	4	16	16-QAM
3	6	64	64-QAM
4	8	256	256-QAM

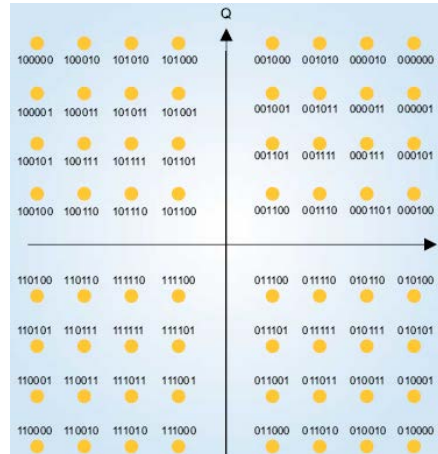
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Διαγράμματα αστερισμού (Constellation Diagrams)

31



4-QAM (QPSK)

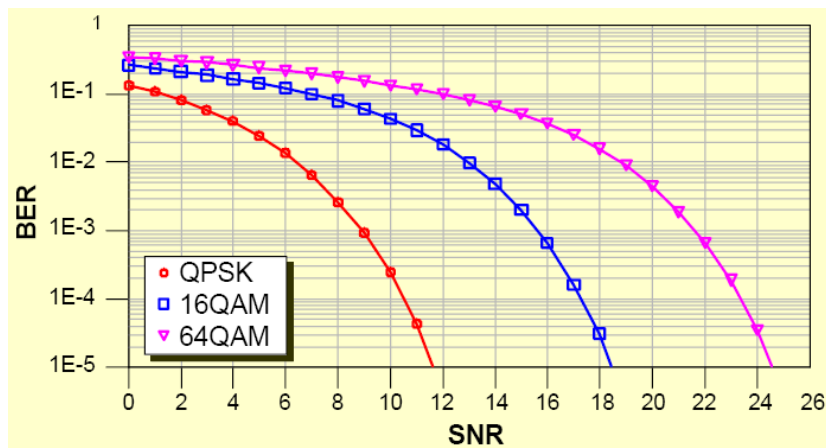


64-QAM

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής

Απόδοση διαμόρφωσης

32



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομπής

Επιδράσεις ατελειών

33

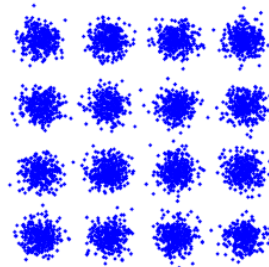
- Ενοχλήσεις ή ατέλειες μετάδοσης στις μονάδες εκπομπής και λήψης είναι:
 - ▣ Ατελής απόκριση συχνοτήτων
 - ▣ Παρεμβολές
 - ▣ Ενδοδιαμόρφωση (*intermodulation*)

Αυξάνουν τις αλληλεπιδράσεις συμβόλων και παρουσιάζονται ως θόρυβος στο διάγραμμα αστερισμού, ενισχύοντας την ανάγκη για συστήματα διόρθωσης σφαλμάτων.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Επίδραση θορύβου

34



16-QAM

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Πρόβλημα αβεβαιότητας φάσης

35

□ QAM

- Δεν έχει μια απόλυτη φάση αναφοράς για να αποδιαμορφώσει το διάγραμμα αστερισμού, σε αντίθεση με την αποδιαμόρφωση υποφέροντος στα συστήματα **NTSC** ή **PAL**, όπου η ριπή αναφοράς (reference burst) αποστέλλεται στην αρχή κάθε γραμμής
- Υπάρχει μια αβεβαιότητα φάσης (**phase ambiguity**) της τάξης των 90° (το σύστημα ανάκτησης φέροντος μπορεί να κλειδώσει σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις φάσης), που εμποδίζει τον δέκτη να συγχρονιστεί όσο η φάση αποδιαμόρφωσης είναι λανθασμένη

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Λύση προβλήματος αβεβαιότητας φάσης

36

- Με την χρήση διαφορικής διαμόρφωσης των δύο MSB του συμβόλου:
 - Η κατάσταση των MSB του **I** και του **Q** δηλώνει διαφορά φάσης και όχι απόλυτη τιμή φάσης, κάτι που επιτρέπει την λειτουργία του δέκτη σε κάθε μια από τις τέσσερις δυνατές καταστάσεις κλειδώματος (το σημειόγραμμα των LSB είναι ταυτόσημη στα τέσσερα τεταρτημόρια)
- Στην περίπτωση της (μη διαφορικής) διαμόρφωσης QPSK που χρησιμοποιείται στην δορυφορική μετάδοση, η '**εκτός συγχρονισμού**' πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροποποιήσει (έως τρεις φορές) της διαφοράς φάσης μεταξύ του ανακτημένου και του λαμβανομένου σήματος μέχρι να επιτευχθεί ο συγχρονισμός

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Κύρια χαρακτηριστικά των μεταδόσεων ψηφιακής τηλεόρασης συμβατών με το DVB

37

Παράμετρος	DVB-S	DVB-C
Πλάτος καναλιού	26-54 MHz	8 MHz (7 MHz δυνατή)
Τύπος διαμόρφωσης	QPSK (4-QAM)	64, 32 ή 16-QAM
Παράγοντας εξασθένησης (α)	0.35	0.15

DVB-S

Εύρος καναλιού	Μέγιστος ρυθμός συμβόλων (MHz)	Μέγιστος ωφέλιμος ρυθμός (Mbps)				
		$R_c = 1/2$	$R_c = 2/3$	$R_c = 3/4$	$R_c = 5/6$	$R_c = 7/8$
54	42.2	38.9	51.8	58.3	64.8	68.0
46	35.9	33.1	44.2	49.7	55.2	58.0
40	31.2	28.8	38.4	43.2	48.0	50.4
36	28.1	25.9	34.6	38.9	43.2	45.4
33	25.8	23.8	31.7	35.6	39.6	41.6
30	23.4	21.6	28.8	32.4	36.0	37.8
27	21.1	19.4	25.9	29.2	32.4	34.0
26	20.3	18.7	25.0	28.1	31.2	32.8

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση COFDM

38

- Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση και το επίγειο ψηφιακό ραδιόφωνο χρησιμοποιεί για τη μετάδοση του σήματος την κωδικοποιημένη ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (**C**oded **O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing, **COFDM**).
- Το πλεονέκτημα του COFDM είναι η αντοχή στον θόρυβο που προκύπτει λόγω πολλαπλών διαδρομών, επειδή χρησιμοποιεί πολλαπλά φέροντα για να διαβιβάσει το σήμα.
- Το COFDM αναθέτει την πληροφορία από ένα ενιαίο ψηφιακό σήμα σε πολλαπλά φέροντα που λειτουργούν ταυτόχρονα.
- Το πρόβλημα των διαλείψεων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα (frequency selective fading) επιλύεται συνδυάζοντας τη χρήση υποφορέων με τη χρήση FEC, η οποία αποτελεί και το **C** στο COFDM

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση OFDM

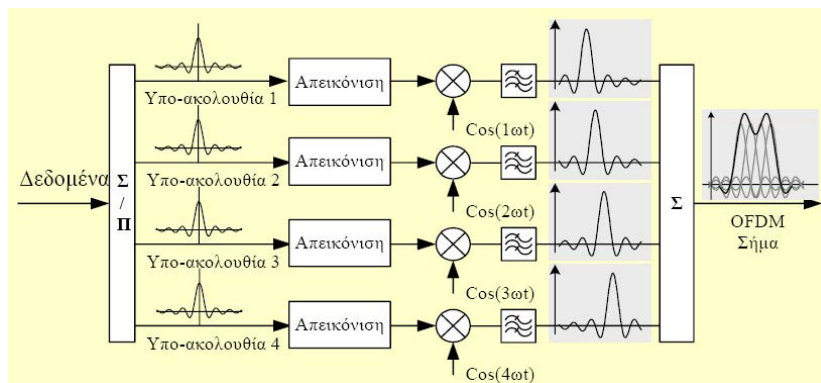
39

- Το **DVB-T** βασίζεται στην διαμόρφωση **2K/8K OFDM**, που εκδόθηκε από το ETSI και δημοσιεύτηκε στην αναφορά ETSI/EBU 300 744
- Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη διανομή ενός υψηλού ρυθμού ροής διαμέσου ενός **μεγάλου αριθμού ορθογωνίων φερόντων** (από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες), όπου κάθε ένα από αυτές φέρει ένα χαμηλό ρυθμό
- Η ίδια αρχή διατηρήθηκε στο παρελθόν για το ευρωπαϊκό σύστημα ψηφιακής ραδιοφωνίας **DAB** (Digital Audio Broadcast) που χρησιμοποιεί 2K OFDM
- Το κύριο πλεονέκτημα της είναι η εξαιρετική συμπεριφορά στην περίπτωση λήψης από πολλαπλές διαδρομές (**multipath reception**), που είναι συνήθης στην επίγεια κινητή και φορητή λήψη
 - ▣ Σε αυτήν την περίπτωση οι καθυστερήσεις των έμμεσων διαδρομών (**paths**) γίνεται πολύ μικρότερη από την περίοδο συμβόλου

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Διαμόρφωση OFDM

40



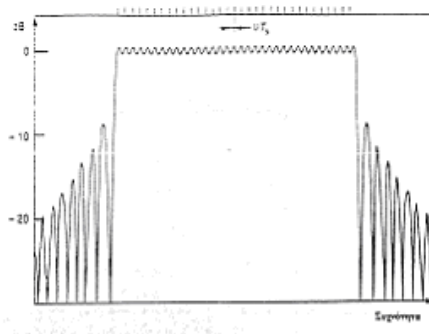
Ν παράλληλα συστήματα διαμόρφωσης QAM τα οποία λειτουργούν σε ακέραια πολλαπλάσια συχνοτήτων

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Διαμόρφωση OFDM

41

- Η σχέση μεταξύ της συχνότητας f_0 του χαμηλότερου φέροντος και αυτής τον φέροντος k ($0 < k < N - 1$), f_k , δίνεται από $f_k = f_0 + k/T_s$
- Το φάσμα συχνοτήτων μιας τέτοιας ομάδας φερόντων παρουσιάζει δευτερεύοντες παρασιτικούς λοβούς εύρους $1/T_s$, (για $N = 32$ φέροντα)



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση OFDM

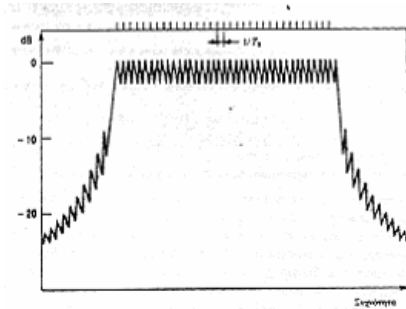
42

- Σε πραγματικές συνθήκες επίγειας λήψης τα σήματα καταφθάνουν από πολλές έμμεσες διαδρομές που προστίθενται στην άμεση διαδρομή, υπονοούν ότι η κατάσταση ορθογωνιότητας μεταξύ των φερόντων δεν ισχύει πλέον, με αποτέλεσμα την ενδο-συμβολική παρεμβολή
- Αυτό το πρόβλημα μπορεί να παρακαμφθεί με την προσθήκη ενός διαστήματος προστασίας (**guard interval**) Δ πριν την περίοδο συμβόλου T_s για να επιτευχθεί μια νέα περίοδος συμβόλου $T'_s = \Delta + T_s$
- Αυτό το διάστημα προστασίας είναι γενικά ίσο ή μικρότερο του $T/4$.
- Η φασματική πυκνότητα τροποποιείται από αυτό το διάστημα προστασίας (για $N = 32$ και $\Delta = T_s/4$), όπου παρατηρούνται μια κυμάτωση στην ωφέλιμη ζώνη και μια μείωση των δευτερευόντων λοβών
- Το N είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του 32 και η σχετική σπουδαιότητα του δευτερευόντος λοβού είναι πολύ μικρότερη
- Με τις υψηλές τιμές του N που πρόσφατα ορίστηκαν για το DVB-T (2048 ή 8192), η φασματική συχνότητα μπορεί να θεωρηθεί ως ουσιαστικά ορθογώνια

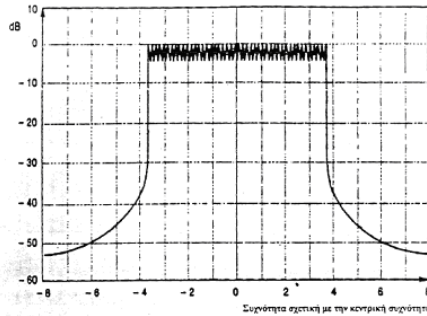
Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση OFDM

43



Φάσμα με διάστημα προστασίας ίσο με $T_s/4$



Φάσμα ενός καναλιού DVB-T με διάστημα προστασίας $T_s/4$ (8 ή 2K OFDM)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση OFDM

44

- Κατά την λήψη γίνεται μετατροπή συχνότητας με την βοήθεια ενός τοπικού ταλαντωτή στη συχνότητα $f_o + N/(2 \times T_s)$ (που είναι η τιμή του κέντρου της ζώνης OFDM), για την επίτευξη ενός φάσματος συχνοτήτων με κέντρο το 0 (μηδενική IF) η οποία μετά δειγματορίζεται στα N/T_s (διπλάσια της μέγιστης συχνότητας του σήματος)
- Στην πράξη, για την απλοποίηση του απαιτούμενου φιλτραρίσματος και για την αποφυγή οποιασδήποτε παραποίησης (**aliasing**) λόγω της δειγματοληψίας, το ωφέλιμο εύρος ζώνης πρέπει να είναι μικρότερο από το μισό της συχνότητας δειγματοληψίας
- Αυτό μπορεί να γίνει με την μετακίνηση μερικών φερόντων στα δύο άκρα της ζώνης RF (για παράδειγμα $N' = 28$ αντί του $N = 32$)
- Επιπλέον, η διαδικασία ολοκληρώνεται με ένα γρήγορο μετασχηματισμού Fourier (**FFT, Fast Fourier Transform**) σε N σημεία, η οποία πρέπει να εκτελεστεί σε ένα χρονικό διάστημα μικρότερο της περιόδου συμβόλου T_s

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση OFDM

45

- Για επίγειες μεταδόσεις, το σύστημα DVB (DVB-T) βασίζεται σε διαμόρφωση με OFDM με φέροντα 8192 (8K) ή 2048 (2K)
- Για να βοηθηθεί ο δέκτης στην ανάκτηση του σήματος και κατόπιν στην πληροφόρηση του, όσον αφορά τις παραμέτρους της διαμόρφωσης και της κωδικοποίησης καναλιού, η πολυπλεξία OFDM περιλαμβάνει **συνεχή πιλοτικά φέροντα** που μεταφέρουν πληροφορίες μετάδοσης παραμέτρων σηματοδότησης (TPS, transmission parameter signaling) και διασκορπισμένα πιλοτικά σήματα εκπεμπόμενα στο διπλάσιο του κανονικού επιπέδου ισχύος και διαμορφωμένα από μια ακολουθία αναφοράς

Παράμετρος	Κατάσταση λειτουργίας 8K	Κατάσταση λειτουργίας 2K
Απαιτούμενος αριθμός φερόντων (N)	6817	1705
Χρήσιμη διάρκεια συμβόλου (T_s)	896 μ s	224 μ s
Διάστημα προστασίας (D)	$T_s/4$ ή $T_s/8$ ή $T_s/32$	$T_s/4$ ή $T_s/8$ ή $T_s/32$
Απόσταση διαδοχικών φερόντων ($1/T_s$)	1116 Hz	4464 Hz
Απόσταση μεταξύ ακραίων φερόντων $(N-1)/T_s$	7.61 MHz	7.61 MHz
Διαμόρφωση φέροντος	QPSK ή 16-QAM ή 64-QAM	QPSK ή 16-QAM ή 64-QAM

Διαμόρφωση OFDM

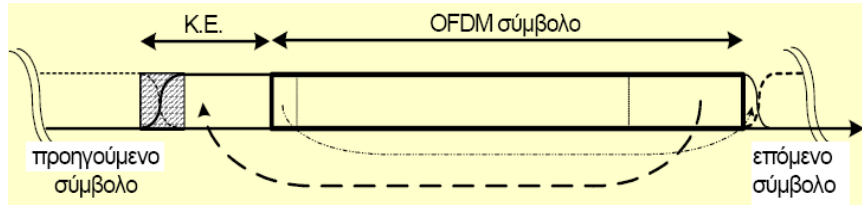
46

- Η υλοποίηση της μεθόδου των 8K είναι αρκετά πολύπλοκη, κάτι που κάνει τον δέκτη ακριβό, αλλά η μεγάλη περίοδος συμβόλου του (896 μ s) με τη χρήση του μέγιστου διαστήματος προστασίας (224 μ s), επιτρέπει ικανοποιητική λήψη ακόμη και στην παρουσία πολύ μεγάλων καθυστερήσεων λόγω πολλαπλών διαδρομών
 - Αυτό επιτρέπει όχι μόνο καλή κινητή λήψη αλλά και ανάπτυξη των δικτύων μετάδοσης χρησιμοποιώντας ένα κανάλι σε μια μεγάλη περιοχή, και για τον λόγο αυτό ονομάζονται δίκτυα μιας συχνότητας (SFN, single frequency networks), με αναμεταδότες που μπορεί να είναι εγκατεστημένοι δεκάδες χιλιόμετρα μακριά μεταξύ τους
- Η μέθοδος 2K είναι απλούστερη και ο δέκτης είναι λιγότερο ακριβός, αλλά η μικρότερη περίοδος συμβόλου περιορίζει σημαντικά την απόδοση κατά την παρουσία πολύ μεγάλων ανακλάσεων, κάτι που την καθιστά ουσιαστικά ακατάλληλη για δίκτυα μιας συχνότητας

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διάστημα προστασίας OFDM

47



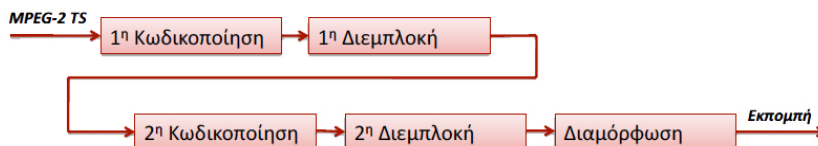
Το **διάστημα προστασίας** ή **κυκλική επέκταση** προστίθεται στην αρχή κάθε OFDM συμβόλου βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Αρχές Λειτουργίας Μετάδοσης

48

- Για την προστασία και τη μετάδοση του σήματος χρησιμοποιούνται από το διαμορφωτή οι τρεις βασικοί μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται και στο δορυφορικό σύστημα:
 - ▣ **Κωδικοποίηση καναλιού** – Channel coding (2 σταδίων)
 - ▣ **Διεμπλοκή** – Interleaving (2 σταδίων)
 - ▣ **Διαμόρφωση** – Modulation

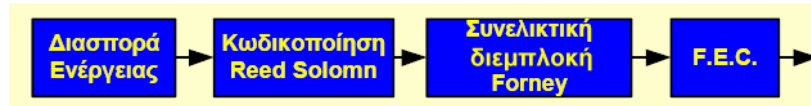


Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Κωδικοποίηση Καναλιού

49

- **Κωδικοποίηση καναλιού** καλείται η προσθήκη πλεονασμού πληροφορίας η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδιοτήτων ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων στη μεταδιδόμενη ενέργεια



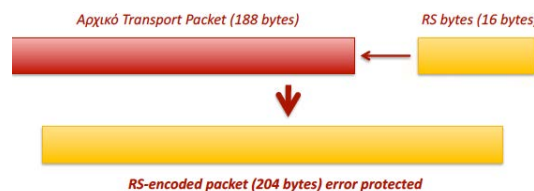
1. Πολλαπλασιασμός με μία ψευδοτυχαία ακολουθία
2. **RS** Πρόσθεση 16 Bytes ιστοιμίας
3. Χρονική αναδιάταξη ακολουθίας
4. **FEC** με βασικό ρυθμό 1/2 και μέσω **puncturing** 2/3, 3/4, 5/6 ή 7/8
Το 4^ο στάδιο χρησιμοποιείται μόνο στα DVB-S και DVB-T

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Κωδικοποίηση Καναλιού

50

- Ο αλγόριθμος **Reed-Solomon (RS)** χρησιμοποιείται σε πολλά ενσύρματα και ασύρματα συστήματα, αλλά και σε συστήματα αποθήκευσης (π.χ. στα CD)
- Στον πομπό/διαμορφωτή, σε κάθε πακέτο μεταφοράς (Transport Packet) προστίθενται 16 bytes πλεονασμού (RS bytes) που υπολογίζονται με βάση τα 188 bytes του TP
- Σχηματίζεται έτσι ένα RS-κωδικοποιημένο πακέτο των 204 bytes το οποίο πλέον είναι προστατευμένο από λάθη και αυτό είναι που τελικά μεταδίδεται

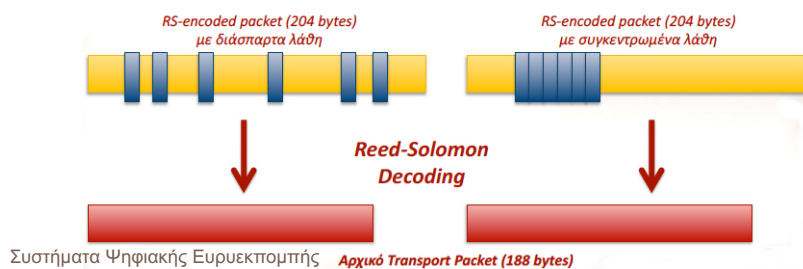


Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Κωδικοποίηση Καναλιού

51

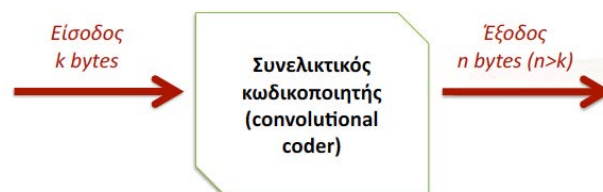
- Ο δέκτης λαμβάνει το κωδικοποιημένο πακέτο, στο οποίο πιθανόν να έχουν υπεισεέλθει λάθη
- Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αποκωδικοποίησης **Reed-Solomon**, ο δέκτης μπορεί να διορθώσει μέχρι 8 λανθασμένα bytes στο κωδικοποιημένο πακέτο. Αυτά τα λάθη μπορεί να είναι είτε συγκεντρωμένα είτε διάσπαρτα
- Αν τα λάθη είναι περισσότερα από 8, ο αλγόριθμος αποτυγχάνει και το πακέτο δεν μπορεί να ανακτηθεί



Κωδικοποίηση Καναλιού

52

- Μετά την κωδικοποίηση RS, στον πομπό ακολουθεί και κωδικοποίηση δεύτερου σταδίου, με μια διαφορετική τεχνική που λέγεται **συνελικτική κωδικοποίηση (convolutional coding)**
- Η αρχή είναι η ίδια, δηλ. σε κάθε k bytes εισόδου προστίθενται bytes πλεονασμού για διόρθωση λαθών, ώστε στην έξοδο του κωδικοποιητή να εξέρχονται n bytes, όπου $n > k$



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Κωδικοποίηση Καναλιού

53

- Σε αντίθεση με την κωδικοποίηση Reed-Solomon, όπου ο αριθμός των bytes που προστίθενται είναι συγκεκριμένος (16 B για κάθε πακέτο των 188 B), στη συνελκτική κωδικοποίηση μπορούμε να επιλέξουμε το ποσοστό των bytes πλεονασμού
- Μπορούμε δηλαδή να επιλέξουμε τον ρυθμό κώδικα (code rate - CR) που είναι ο λόγος των bytes εισόδου στον κωδικοποιητή προς τα bytes εξόδου
- Όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός κώδικα, τόσο περισσότερα είναι τα bytes πλεονασμού που προστίθενται. Στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται και ο αριθμός των λαθών που μπορεί να διορθωθούν. Συνεπώς, ο δέκτης μπορεί να λειτουργήσει σωστά υπό δυσκολότερες συνθήκες λήψης (χαμηλότερες τιμές SNR)
- Το τίμημα είναι ότι τα bytes πλεονασμού δεν μεταδίδουν πληροφορία και έτσι ελαττώνεται η ποσότητα της χρήσιμης πληροφορίας που μπορούμε να στείλουμε (δηλ. το ωφέλιμο bitrate)

$$CR = \frac{\text{input bytes}}{\text{output bytes}} = \frac{k}{n}$$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Κωδικοποίηση Καναλιού

54

- Στο DVB-S μπορούμε να επιλέξουμε code rate μεταξύ των τιμών: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 και 7/8
- Ο CR 1/2 δίνει τον «δυνατότερο» κώδικα, που δίνει τη δυνατότητα στο δέκτη να μπορεί να λειτουργήσει σωστά σε πολύ χαμηλό SNR
- Όμως, η ωφέλιμη χωρητικότητα του καναλιού πέφτει στο μισό, αφού για κάθε byte πληροφορίας εκπέμπεται ένα byte πλεονασμού

Code Rate	Ωφέλιμο bitrate (Mbits/s, για εύρος ζώνης 33 MHz)	Ελάχιστο απαιτούμενο SNR στον δέκτη (dB)
1/2	23.8	4.1
2/3	31.7	5.8
3/4	35.6	6.8
5/6	39.6	7.8
7/8	41.6	8.4

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Κωδικοποίηση Καναλιού

55

- Στο DVB-T2 (και στο DVB-S2) χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση οι αλγόριθμοι **BCH** (Bose–Chaudhuri–Hocquenghem – 1ο στάδιο) και **LDPC** (Low-Density Parity Check – 2ο στάδιο)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διεμπλοκή

56

- Πολλές φορές, το δορυφορικό κανάλι υφίσταται απότομη διάλειψη ή παρεμβολή που διαρκεί πολύ λίγο αλλά είναι πολύ ισχυρή (π.χ. από ηλεκτρική εκκένωση στην ατμόσφαιρα ή από σπινθήρα σε κάποια ηλεκτρική συσκευή κοντά στο δέκτη)
- Το αποτέλεσμα είναι ότι χάνεται μια σειρά από διαδοχικά bytes που είναι τόσα πολλά που ο αποκωδικοποιητής καναλιού δεν μπορεί να διορθώσει. Αυτό ονομάζεται λάθος ριπής (burst error)
- Η τεχνική της **διεμπλοκής (interleaving)** χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει αυτό το φαινόμενο. Συνίσταται στην εκούσια αλλαγή της σειράς των bytes που μεταδίδονται με συγκεκριμένο τρόπο, γνωστό και στον πομπό και στον δέκτη
- Έτσι, μια σειρά από διαδοχικά λανθασμένα bytes μετατρέπεται τελικά σε πολλά μεμονωμένα λάθη, που εύκολα διορθώνονται από τον αποκωδικοποιητή καναλιού

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διεμπλοκή

57

- Παράδειγμα με πληροφορία κειμένου: Θέλουμε να αποστείλουμε το μήνυμα «ΑυτοΕιναιΕναΠαραδειγμαΔιεμπλοκης» (32 bytes). Στο 5ο byte, συμβαίνει ένα λάθος ριπής διάρκειας 8 bytes.

ΑυτοΕιναιΕναΠαραδειγμαΔιεμπλοκης < Αρχικό μήνυμα – Μετάδοση χωρίς διεμπλοκή

Αυτο_____ΠαραδειγμαΔιεμπλοκης < Λάθος ριπής – Αδύνατη η ανακατασκευή του μηνύματος στο δέκτη

ΑυτοΕιναιΕναΠαραδειγμαΔιεμπλοκης < Αρχικό μήνυμα

ΑΕιΠδμεουιΕαεαμκτνριδηοααγιλς < Διεμπλοκή του μηνύματος στον πομπό

ΑΕιΠ_____εαμκτνριδηοααγιλς < Λάθος ριπής

Α_τοΕ_ναι_ναΠ_ρα_ειγ_αΔι_μπλ_κης < Αντίστροφη διεμπλοκή στο δέκτη

ΑυτοΕιναιΕναΠαραδειγμαΔιεμπλοκης < Διόρθωση μεμονωμένων λαθών και ανακατασκευή του μηνύματος

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση

58

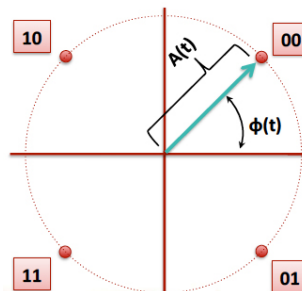
- Είναι η διαδικασία αντιστοίχισης ενός ή περισσότερων bits («σύμβολο» – symbol) σε μια συγκεκριμένη κυματομορφή μέσα από ένα γνωστό σύνολο κυματομορφών
- Οι κυματομορφές αυτές είναι που διαμορφώνουν το τελικό σήμα ραδιοσυχνοτήτων.
- Ο δέκτης προσπαθεί να αναγνωρίσει στο σήμα που λαμβάνει κάποια από τις κυματομορφές του συνόλου ώστε να προσδιορίσει τελικά το σύμβολο (τα bits) που εκτέμφθηκαν.

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Διαμόρφωση

59

- Μπορούμε να απεικονίσουμε τη διαμόρφωση ένα διάγραμμα όπου κάθε σύμβολο (που μεταφράζεται σε τιμή φάσης και πλάτους) αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο σημείο
- Το διάγραμμα αυτό λέγεται διάγραμμα I-Q (I-Q diagram) ή διάγραμμα σηματοστερισμού (constellation diagram)
- Το πλάτος και η φάση του φέροντος ανά πάσα στιγμή παρίστανται με ένα διάνυσμα με αφετηρία την αρχή των αξόνων («phasor»)
 - Π.χ., για τη διαμόρφωση QPSK το διάγραμμα σηματοστερισμού έχει ως εξής:

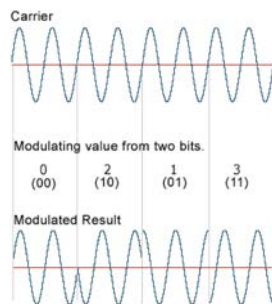


Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

Διαμόρφωση

60

- Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση είναι η QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)
- Δηλαδή κάθε ένα από τα 4 δυνατά σύμβολα (00, 01, 10, 11) αντιστοιχεί σε μια διαφορετική μετατόπιση φάσης του φέροντος



$$S(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

Όπου:

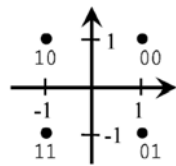
- για 00 $\rightarrow \phi=0$
- για 01 $\rightarrow \phi=\pi/2$
- για 10 $\rightarrow \phi=\pi$
- για 11 $\rightarrow \phi=3\pi/2$

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

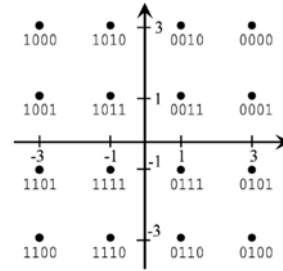
Διαμόρφωση

61

- Στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση χρησιμοποιούνται τέσσερις διαμορφώσεις διαφορετικής «τάξης»: QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM. (Η τελευταία μόνο στο DVB-T2)



QPSK (2 bits/symbol)

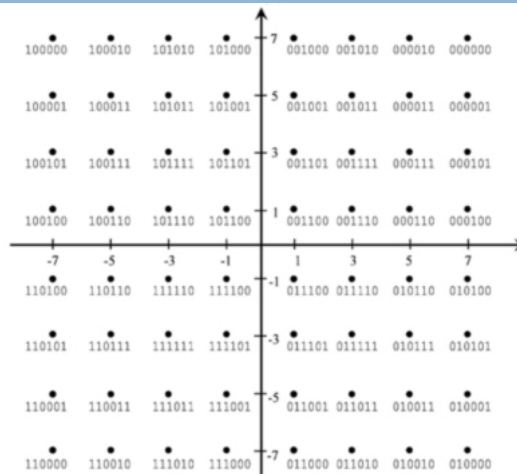


16-QAM (4 bits/symbol)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Διαμόρφωση

62



64-QAM (6 bits/symbol)

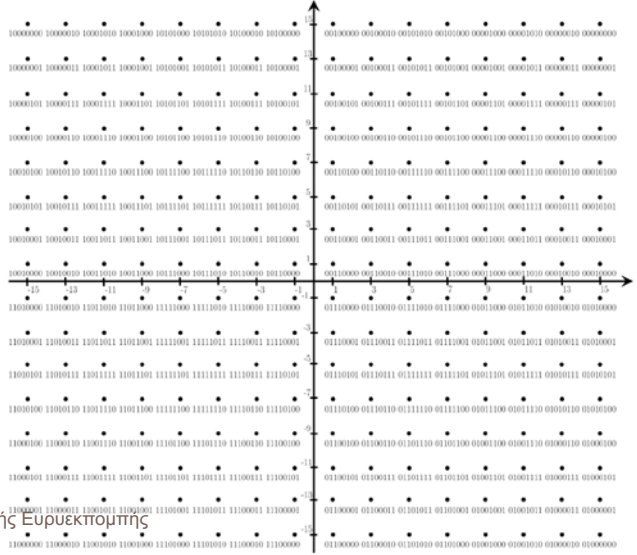
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκπομπής

Διαμόρφωση

63

256-QAM
(6 bits/symbol)
μόνο στο DVB-T2

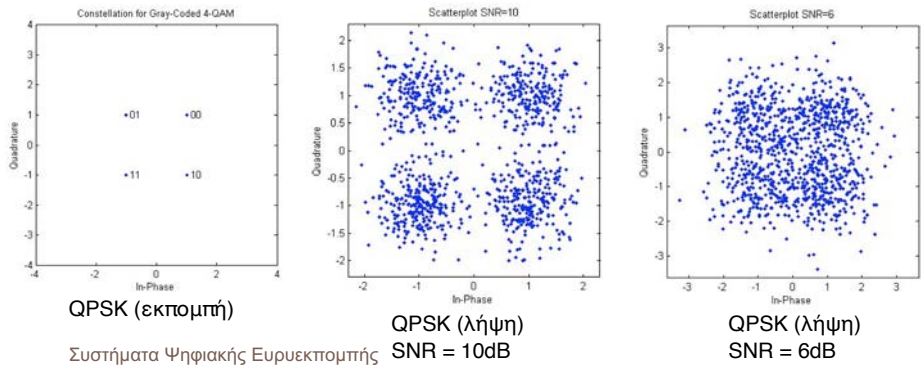
Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής



Διαμόρφωση

64

- Η πτώση του σηματοθορυβικού λόγου προκαλεί τυχαίες μεταβολές, τόσο στο πλάτος όσο και στη φάση του λαμβανόμενου σήματος
- Στον δέκτη, τα σημεία του σηματοαστερισμού παρουσιάζουν αποκλίσεις



QPSK (εκπομπή)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεκτομής

QPSK (λήψη)
SNR = 10dB

QPSK (λήψη)
SNR = 6dB

Διαμόρφωση

65

- Συνεπώς υπάρχουν δύο παράμετροι που ορίζουν τη χωρητικότητα (σε ωφέλιμο bitrate) και την αντοχή του σήματος:
 - Ρυθμός κώδικα στην κωδικοποίηση καναλιού
 - Χαμηλός ρυθμός κώδικα (δηλ. πολλά bits πλεονασμού) → σήμα που μπορεί να ληφθεί σωστά ακόμη και σε χαμηλό SNR
 - Υψηλός ρυθμός κώδικα → Μεγαλύτερο ωφέλιμο bitrate (αυξημένη χωρητικότητα)
 - Σχήμα (τάξη) διαμόρφωσης
 - Διαμόρφωση μικρής τάξης (π.χ. QPSK) → σήμα που μπορεί να ληφθεί σωστά ακόμη και σε χαμηλό SNR
 - Διαμόρφωση μεγάλης τάξης (π.χ. 256-QAM) → Μεγαλύτερο ωφέλιμο bitrate (αυξημένη χωρητικότητα)
- Ο συνδυασμός σχήματος διαμόρφωσης και ρυθμού κώδικα που επιλέγουμε στον πομπό λέγεται σχήμα μετάδοσης (transmission scheme)
- Το σχήμα μετάδοσης ορίζει:
 - το ωφέλιμο bitrate (δηλ. το μέγιστο bitrate του MPEG-2 Transport Stream) και
 - το ελάχιστο απαιτούμενο SNR στον δέκτη
- ώστε να ληφθεί σωστά το σήμα (δηλ. για να μην υπερβούμε τη μέγιστη ικανότητα διόρθωσης του αποκωδικοποιητή καναλιού)

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Χωρητικότητα ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης

66

Modulation	Code Rate	Ωφέλιμο bitrate (Mbits/s)	Ελάχιστο απαιτούμενο SNR στον δέκτη (dB)
QPSK	1/2	5.53	3.1
QPSK	2/3	7.37	4.9
QPSK	3/4	8.29	5.9
QPSK	5/6	9.22	6.9
QPSK	7/8	9.68	7.7
16-QAM	1/2	11.06	8.8
16-QAM	2/3	14.75	11.1
16-QAM	3/4	16.59	12.5
16-QAM	5/6	18.43	13.5
16-QAM	7/8	19.35	13.9
64-QAM	1/2	16.59	14.4
64-QAM	2/3	22.12	16.5
64-QAM	3/4	24.88	18.0
64-QAM	5/6	27.65	19.3
64-QAM	7/8	29.03	20.1

Τιμές για σήμα DVB-T σε κανάλι 8MHz, Guard Interval = 1/8

Συστήματα

Χωρητικότητα ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης

67

Ωφέλιμη χωρητικότητα DVB-T

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Απαιτούμενος SNR για ψηφιακή επίγεια τηλεόραση

68

Modulation	Code rate	Gaussian channel	Ricean channel (F ₁)	Rayleigh channel (P ₁)
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0
64-QAM	2/3	16,5	17,1	19,3
64-QAM	3/4	18,0	18,6	21,7
64-QAM	5/6	19,3	20,0	25,3
64-QAM	7/8	20,1	21,0	27,9

- Για όλους τους συνδυασμούς ρυθμών κωδικοποίησης και ειδών διαμόρφωσης
- Για ρυθμό σφαλμάτων < 10⁻⁴
- Για τύπο καναλιού μετάδοσης Gaussian, Ricean και Rayleigh

Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής

Χρήσιμος ρυθμός μετάδοσης ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης

69

- Ο χρήσιμος ρυθμός μετάδοσης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

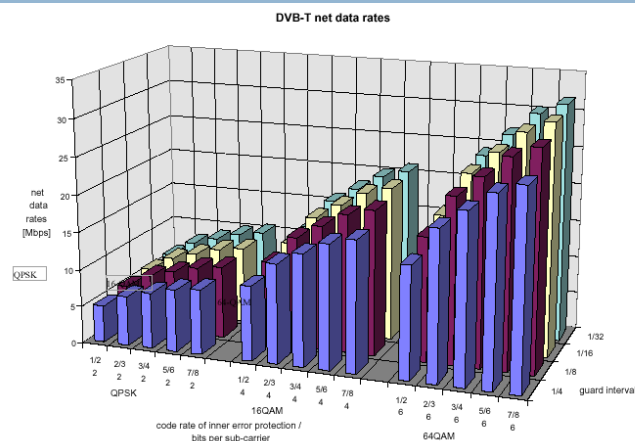
$$R_u = R_s \times b \times CR_i \times CR_r \times (T_u/T_s)$$

- R_u : ο χρήσιμος ρυθμός μετάδοσης σε Mbit/s
- R_s : ο ρυθμός συμβόλων σε Msymbols/s
- b : bit ανά φέρον
- CR_i : ρυθμός κωδικοποίησης
- CR_r : κωδικοποίηση Reed Solomon, 188/204
- T_u : διάρκεια χρήσιμου μέρους συμβόλου
- T_s : διάρκεια συμβόλου
- T_u/T_s : 4/5, 8/9, 16/17 ή 32/33 ανάλογα με το διάστημα προστασίας

Συστήματα Ψηφιακής Ευρεεκτομπής

Χρήσιμος ρυθμός μετάδοσης ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης

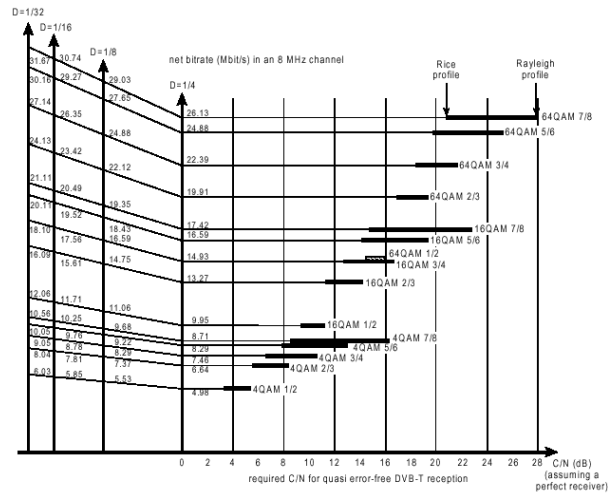
70



Συστήματα Ψηφιακής Ευρεεκτομπής

Απαιτούμενος CNR για ψηφιακή επίγεια τηλεόραση

71



Συστήματα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής