



*ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ*

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:  
«Προηγμένα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα και Δίκτυα»

**Διπλωματική Εργασία:**

«Ψηφιακή Τηλεόραση»

ΚΟΥΤΣΟΝΑΣΙΟΥ ΕΥΦΡΟΣΥΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΣΑΓΙΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

2013

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Πρόλογος .....	5

## **Κεφάλαιο 1 :**

### **Γενικές αρχές της τηλεόρασης**

1.1 Ιστορική αναδρομή της τηλεόρασης.....	6
1.2 Επίγεια τηλεόραση .....	8
1.3 Έγχρωμη εικόνα .....	10
1.3.1 Το σύστημα NTSC.....	11
1.3.2 Το σύστημα SECAM.....	11
1.3.3 Το σύστημα PAL.....	12
1.4 Η ψηφιακή εποχή είναι γεγονός.....	13
1.5 Η ψηφιακή τηλεόραση του μέλλοντος.....	14
1.6 Τα πρώτα βήματα.....	16

## **Κεφάλαιο 2:**

### **Ψηφιοποίηση και συμπίεση σήματος**

2.1 Ψηφιοποίηση σήματος.....	17
2.2 Συμπίεση σήματος.....	18
2.2.1 Με απώλειες και χωρίς απώλειες .....	19
2.2.2 Τεχνικές κωδικοποίησης Εντροπίας .....	20
2.2.3 Τεχνικές Κωδικοποίησης πηγής .....	21
2.3 Τα MPEG πρότυπα .....	22
2.3.1 MPEG-1 .....	22
2.3.2 MPEG-2 .....	23
2.3.3 MPEG-4 .....	24
2.3.4 MPEG-7 .....	25
2.3.5 MPEG-21.....	26
2.4 Το πρότυπο H.261.....	26
2.5 Το πρότυπο H.263 .....	27
2.6 Το πρότυπο H.264.....	28
2.7 Το πρότυπο JPEG.....	28
2.8 Το πρότυπο JPEG2000 .....	29

## **Κεφάλαιο 3:**

### **Συστήματα ψηφιακής τηλεόρασης**

3.1 Το σύστημα DVB.....	30
3.2 Το σύστημα DVB –T.....	32
3.2.1 Η εξέλιξη του DVB-T σε DVB-T2.....	34
3.3 Το σύστημα DVB –S.....	35
3.3.1 Η εξέλιξη του DVB –S σε DVB-S2.....	36
3.4 Το σύστημα DVB –C.....	37
3.4.1 Η εξέλιξη του DVB –C σε DVB-C2.....	37

3.5 Το σύστημα DVB –H .....	38
3.5.1 Η εξέλιξη του DVB –H σε DVB-SH.....	39

## **Κεφάλαιο 4:**

### **Διαμόρφωση ψηφιακών συστημάτων**

4.1 Διαμόρφωση φάσης-πλάτους.....	40
4.1.1 Διαμόρφωση QPSK .....	41
4.1.2 Διαμόρφωση 16-QAM.....	43
4.1.3 Διαμόρφωση 64-QAM.....	45
4.2 Η τεχνική OFDM .....	47
4.3 Η διαμόρφωση COFDM.....	53
4.4 MFNs και SFNs.....	54

## **Κεφάλαιο 5 :**

### **Στοιχεία απόδοσης για την ψηφιακή τηλεόραση**

5.1 Γενικές επιπλοκές συστήματος .....	57
5.2 Θόρυβος συστήματος .....	57
5.3 Εξωτερικές πηγές θορύβων .....	59
5.4 Σφάλματα μετάδοσης.....	60
5.5 Παρεμβολή.....	60
5.6 Ομοιοκαναλική παρεμβολή .....	61
5.7 Παρεμβολή διπλανού καναλιού.....	61
5.8 Διαλείψεις .....	62
5.8.1 Διαλείψεις μεγάλης και μικρής κλίμακας .....	62
5.8.2 Διαλείψεις Rice .....	63
5.8.3 Διαλείψεις Rayleigh .....	64

## **Κεφάλαιο 6 :**

### **Οι μελλοντικές εξελίξεις της ψηφιακής τηλεόρασης**

6.1 Η HDTV είναι το μέλλον της τηλεόρασης.....	68
6.2 Ultra HDTV το επόμενο βήμα στην τηλεόραση.....	69
6.3 Η Διαδικτυακή τηλεόραση (IPTV).....	69
6.3.1 Το δίκτυο της IP-TV.....	70
6.3.2 Εφαρμογές της IP-TV .....	71
6.3.3 Τα πλεονεκτήματα της IP-TV.....	71
6.4 Ψηφιακή διαδραστική τηλεόραση .....	72
6.4.1 Διαδραστικές υπηρεσίες και εφαρμογές .....	73
6.5 Η σημερινή κατάσταση στην Ελλάδα.....	73

## **Κεφάλαιο 7 :**

### **Αξιολόγηση της απόδοσης του DVB-T προτύπου βάσει της OFDM πάνω σε ασύρματα κανάλια επικοινωνίας**

7.1 ΤΟ ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ.....	74
7.2 Προσομοιώσεις και αναλύσεις .....	75
7.2.1 Ανάλυση για τη λειτουργία 2K.....	76
7.2.2 Ανάλυση για τη λειτουργία 8K.....	80
7.3 Η αξιολόγηση των επιδόσεων των 2K και 8K φερόντων .....	82

7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	86

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. RCA CT-100 .....	11
Εικόνα 2.Μικροκυματική κεραία.....	12
Εικόνα 3.Καθοδικός σωλήνας.....	13
Εικόνα 4.Συσχέτιση των YUV με τα RGB (red-green-blue ) της αναλογικής μετάδοσης.....	13
Εικόνα 5. Διαφορά μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού σήματος.....	17
Εικόνα 6. Η ψηφιακή εποχή είναι γεγονός.....	19
Εικόνα 7. Ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος.....	21
Εικόνα 8. Γενικό σχήμα συμπίεστή.....	22
Εικόνα 9. Παραδείγματα περιορισμού των επαναλαμβανόμενων χαρακτήρων.....	23
Εικόνα 10. Κωδικοποίηση Μετασχηματισμού.....	25
Εικόνα 11. Δομή ενός GOP .....	26
Εικόνα 12. Το πρότυπο MPEG -7.....	29
Εικόνα 13. Η σύνθεση ενός H.261 CIF .....	30
Εικόνα 14. Η σύγκριση δύο εικόνων χρησιμοποιώντας JPEG και JPEG2000.....	32
Εικόνα 15 . Η παγκόσμια κατάσταση της ψηφιακής τηλεόρασης.....	34
Εικόνα 16. Οργάνωση δορυφορικού συστήματος.....	39
Εικόνα 17. Διαμόρφωση QPSK.....	44
Εικόνα 18. Ο μηχανισμός παραγωγής της QPSK.....	45
Εικόνα 19. Διάγραμμα αστερισμού για την QPSK.....	45
Εικόνα 20. Αποδιαμόρφωση σήματος QPSK.....	46
Εικόνα 21. Διαμορφωτής 16-QAM.....	47
Εικόνα 22. Διάγραμμα αστερισμού 16-QAM.....	47
Εικόνα 23. Αποδιαμορφωτή 16-QAM.....	48
Εικόνα 24. Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM μη ιεραρχική ή ιεραρχική με $\alpha=1$ .....	49
Εικόνα 25. Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM ιεραρχική με $\alpha=2$ .....	49
Εικόνα 26. Σύμβολο OFDM στο πεδίο του χρόνου.....	50
Εικόνα 27. Εξοικονόμηση εύρους ζώνης κατά 50% .....	52
Εικόνα 28. Μπλοκ Διάγραμμα Δομής εκπομπού OFDM.....	52
Εικόνα 29. Φάσμα λευκού θορύβου σε συστήματα α) μονής και β) πολλαπλών Φερουσών.....	54
Εικόνα 30. Η OFDM τεχνική.....	55
Εικόνα 31. Παράδειγμα MFN.....	58
Εικόνα 32. Παράδειγμα SFN.....	59
Εικόνα 33. Κατανομή Rice.....	64
Εικόνα 34. Κατανομή Rayleigh.....	65
Εικόνα 35. 40 inch picture quality with high definition 1080p.....	71

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Αριθμητικές τιμές για τις παραμέτρους COFDM για τις μεθόδους στα 8 MHz..	57
Πίνακας 2 . Διάρκεια του μέρους του συμβόλου για τα επιτρεπόμενα διαστήματα φύλαξης σε κανάλια 8 MHz .....	57
Πίνακας 3. Παράγοντες σχεδιασμού .....	61
Πίνακας 2. DVB-T παράμετροι για 2K και 8K MODE.....	76

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Μπλοκ διάγραμμα.....	75
Σχήμα 2α . Διαγράμματα αστερισμού για 4QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.....	76
Σχήμα 2β . Διαγράμματα αστερισμού για 16QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.....	77
Σχήμα 2γ. Διαγράμματα αστερισμού για 64QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.....	77
Σχήμα 3α .Σύγκριση 4QAM και 16QAM σε AWGN κανάλι.....	77
Σχήμα 3β. Σύγκριση 4QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού....	78
Σχήμα 3γ. Σύγκριση 16QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού...	79
Σχήμα 3δ . Σύγκριση 64QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού...	79
Σχήμα 4α . Διαγράμματα αστερισμού για 4QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.....	80
Σχήμα 4β. Σύγκριση 4QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού....	80
Σχήμα 4γ. Διαγράμματα αστερισμού για 16QAM μέσω των AWGN, Rician και Rayleigh καναλιών αντίστοιχα.....	81
Σχήμα 4δ. Σύγκριση 16QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού...	81
Σχήμα 4ε. Διαγράμματα αστερισμού για 64QAM μέσω των AWGN, Rician και Rayleigh καναλιών αντίστοιχα.....	82
Σχήμα 4στ. Σύγκριση 64QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλι....	82

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DTV) είναι μια καινοτομία. Είναι η νέα τεχνολογία μετάδοσης OTA (over-the-air) η οποία μεταδίδει εικόνες μέσω ραδιοκυμάτων σε δυαδικά ψηφία δεδομένων, όπως ένας υπολογιστής. Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση δίνει την δυνατότητα στους τηλεοπτικούς σταθμούς να παρέχουν εντυπωσιακά καθαρότερες εικόνες, καλύτερη ποιότητα ήχου και περισσότερες επιλογές προγραμμάτων.

Επιπλέον, η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση καθιστά δυνατή την μετάδοση υψηλής ευκρίνειας για τους θεατές που έχουν αντίστοιχα τηλεοράσεις υψηλής ευκρίνειας και παρέχει διαδραστικές δυνατότητες και υπηρεσίες δεδομένων.

Σκοπός της συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της ψηφιακής τηλεόρασης. Επίσης, να γίνει μια γενικότερη αναφορά στη μετάβαση της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης.

Αρχικά θα γίνει μια εισαγωγή στην ιστορία της τηλεόρασης και θα αναφερθούν τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν και οι τεχνικές που υπάρχουν στην αναλογική τηλεόραση. Έπειτα θα περιγράψουμε τη διαδικασία ψηφιοποίησης και συμπίεσης του τηλεοπτικού ψηφιακού σήματος, θα εξηγήσουμε τα διάφορα πρότυπα συμπίεσης MPEG. Επιπλέον, θα αναφερθούμε στους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων ψηφιακής τηλεόρασης, καθώς επίσης και στις διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται.

Δεδομένου ότι το σύστημα ψηφιακής μετάδοσης DVB-T χρησιμοποιείται στην διάδοσή του επίγειου κανάλι, γίνεται εκτενής ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την επίγεια μετάδοση, κυρίως από την οπτική των απωλειών.

Έπειτα θα αναφερθούμε στην υπάρχουσα κατάσταση των τηλεοπτικών δεδομένων της χώρας μας, στην μετάβαση της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας HDTV και στους λόγους της ανάπτυξης της. Στην διαδικτυακή και στην αμφίδρομη τηλεόραση αλλά και στην αναμενόμενη εξέλιξη αυτών.

Καταλήγοντας, θα προσομοιώνουμε μέσω του MATLAB τη διαδικασία της OFDM, εξάγοντας τις γραφικές παραστάσεις με τη μορφή του OFDM σήματος σε κάθε στάδιο. Θα μελετήσουμε την επίδραση του ασύρματου καναλιού στην εξασθένηση του OFDM σήματος, και θα εξάγουμε τις γραφικές παραστάσεις για τα AWGN, Rician και Rayleigh κανάλια, επιβεβαιώνοντας την εξασθένηση αυτή.

Λέξεις κλειδιά: Επίγεια ψηφιακή τηλεόραση, DVB-T, Matlab Simulink, OFDM, προσομοίωση, Rayleigh, Rician, AWGN

## **Abstract**

Terrestrial digital TV (DTV) is a novelty. It's the new transmission technology OTA (over-the-air) which transmits images via a radio data bits, like a computer. The DTV enables TV stations to provide dramatically clearer pictures, better sound quality and more options programs.

In addition, terrestrial digital TV broadcasting allows for High Definition viewers are respectively HDTVs and provides interactive capabilities and data services.

The purpose of writing this thesis is the study of digital television, also to make a general reference to the transition of digital terrestrial television.

Initially it will be an introduction to the history of television and speak about the systems used and the techniques available in analog TV. Then we will describe the process of digitization and compression of digital TV signal will explain the various compression standards MPEG. Furthermore, I will refer to the factors that affect the performance of digital TV systems, as well as the configurations used.

Since the digital broadcast system DVB-T is used to spread the terrestrial channel, an extensive analysis of the parameters affecting terrestrial, mainly from the perspective of losses.

Then we will refer to the existing state of television data of our country's transition to high definition television HDTV and the reasons for the growth in the Internet and interactive TV and the expected evolution of these.

In conclusion, we simulate using MATLAB process of OFDM, exporting the graphs in the form of OFDM signal at each stage. We will study the impact of the wireless channel in OFDM signal attenuation will draw the graphs for AWGN, the Rician and Rayleigh channel, confirming the weakening it.

Key Words: Digital terrestrial television, DVB-T, Matlab Simulink, OFDM, simulation, Rayleigh, Rice, AWGN,

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ζώντας στον 21<sup>ο</sup> αιώνα που είναι η εποχή της ψηφιακής επικοινωνίας, γεννιέται η ανάγκη της ραγδαίας εξέλιξης της μικροηλεκτρονικής με τη χρήση κυκλωμάτων και επεξεργαστών έχοντας ως αποτέλεσμα να αλλάξει ο τρόπος λειτουργίας της τηλεόρασης. Η μετεξέλιξη από την παραδοσιακή αναλογική μορφή σε ψηφιακή φέρνει μαζί της μια σειρά από επαναστατικές καινοτομίες με σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη ζωή.

Η σχέση του τηλεθεατή με το τηλεοπτικό προϊόν αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον. Η μετάδοση τηλεοπτικών σημάτων με ψηφιακό τρόπο είναι πλέον σε θέση να προσφέρει στον τηλεθεατή την αναβάθμιση της ποιότητας ενός μέσου το οποίο για αρκετά χρόνια δεν είχε παρουσιάσει σημαντικές εξελίξεις. Τα κυριότερα προβλήματα τα οποία έπρεπε να αντιμετωπιστούν, ήταν το γεγονός της συνύπαρξης ψηφιακής και αναλογικής τεχνολογίας και η ανάγκη ανάπτυξης κοινών προτύπων τόσο για τη συμπίεση του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος, όσο και για τη μετάδοσή του.

Ιστορικά, το πρώτο παράδειγμα ασύρματης επικοινωνίας σήματος, video, ήταν η πρώτη εκπομπή ασπρόμαυρης τηλεόρασης το 1936 στη Μεγάλη Βρετανία. Το τοπίο από τότε έχει παρουσιάσει ραγδαία εξέλιξη. Η τηλεόραση, με την τεράστια διείσδυση της στα σπίτια σε όλο τον κόσμο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις ζωές των ανθρώπων. Παρέχοντας ενημέρωση και ψυχαγωγία, διαμορφώνοντας τις προσωπικότητες των ανθρώπων και ακόμα την ίδια τη σύγχρονη ιστορία. Αλλά και η ίδια η μορφή της τηλεόρασης άλλαξε μέσα σε αυτά τα χρόνια. Το 1950 έγινε έγχρωμη και πλέον έχουμε μπει για τα καλά στην ψηφιακή τηλεόραση, την τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, και οδεύουμε προς την διαδραστική τηλεόραση.

Σήμερα η τηλεόραση ετοιμάζεται να εισέλθει στο διαδίκτυο και να χρησιμοποιηθεί για επιχειρηματικούς σκοπούς με πιο ξεκάθαρους στόχους και με μεγαλύτερη μεθοδικότητα.



## Κεφάλαιο 1

### Γενικές αρχές της τηλεόρασης

#### 1.1 Ιστορική αναδρομή της τηλεόρασης

Μετά από την εφεύρεση του ραδιοφώνου, το οποίο μεταδίδει ήχους σε απόσταση, χρειάστηκε σχεδόν ένας αιώνας για να μπορέσουν να ταξιδέψουν έτσι και οι εικόνες και να τελειοποιηθεί η σύγχρονη τηλεόραση.

Ο Βρετανός φυσικός Α. Μπείν κατάφερε, το 1843, να μεταδώσει για μια στιγμή μια εικόνα, χάρη σε ηλεκτρομηχανική σάρωση, η οποία μετέφρασε την εικόνα σε ηλεκτρικά σήματα. Το 1884 ο Γερμανός επιστήμονας Πάουλ Νίκοφ ευήβρε ένα δίσκο με πολλές τρύπες σε σπειροειδή διάταξη. Καθώς ο δίσκος περιστρεφόταν οι τρύπες σάρωναν το είδωλο που σχηματιζόταν από έναν αντικειμενικό φακό. Σε αυτό το γεγονός είναι τα θεμέλια της τηλεόρασης, αλλά μόνο στα 1926 πραγματοποίησε την πρώτη δημόσια μετάδοση τηλεοπτικών εικόνων ο Σκοτσέζος Τζ. Α. Μπαιρντ. Ο Μπαιρντ βελτίωσε τον λεγόμενο δίσκο του Νίκοφ. Το σύστημα αυτό περιλάμβανε έναν περιστρεφόμενο δίσκο με μια σειρά από τρύπες πάνω του σε ελικοειδή τοποθέτηση. Πίσω από το δίσκο τοποθετούνταν ένα φωτοκύτταρο, ενώ μπροστά από το δίσκο τοποθετούνταν το αντικείμενο που επρόκειτο να μαγνητοσκοπηθεί.

Καθώς ο δίσκος περιστρεφόταν με μεγάλη ταχύτητα, το φωτοκύτταρο ανίχνευε στιγμιαία το φως που ανακλούσε στο αντικείμενο και περνούσε μέσα από τις τρύπες. Το φωτοκύτταρο τότε παρήγαγε ένα αντίστοιχα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα μέσω ενός καλωδίου οδηγούνταν σε μια πρωτόγονη τηλεοπτική συσκευή, η οποία το μετέτρεπε σε φως μεταβαλλόμενης έντασης. Το φως αυτό περνούσε μέσα από έναν δεύτερο όμοιο δίσκο, ο οποίος περιστρεφόταν ακριβώς όπως ο πρώτος. Κοιτώντας κανείς μέσα από τις τρύπες του δίσκου μπορούσε να δει μια αχνή εικόνα του αρχικού αντικειμένου. Έως το 1928, ο Μπαιρντ κατάφερε να μεταδώσει τηλεοπτικές εικόνες από το Λονδίνο στη Νέα Υόρκη. Η ηλεκτρονική σάρωση της εικόνας, πολύ γρηγορότερη και ακριβέστερη, ουσιαστικά τελειοποιήθηκε από τον Αμερικανό Β. Ζουόρυκιν, ο οποίος δημιούργησε και την πρώτη ηλεκτρονική κάμερα το 1934. Οι εικόνες στην αρχή ήταν ασπρόμαυρες και μπορούσαν να μεταδοθούν μόνο κατευθείαν από την κάμερα στο δέκτη. Για να διατηρηθούν, έπρεπε να μεταφερθούν σε κινηματογραφικό φιλμ. Οι πρώτες έγχρωμες τηλεοράσεις βγήκαν στο εμπόριο, στις Η.Π.Α., το 1953, παρόλο που η έρευνα για την έγχρωμη τηλεόραση είχε αρχίσει την δεκαετία του 1930.

Το 1956, η αμερικανική εταιρία Ampex τελειοποιεί ένα σύστημα αποθήκευσης εικόνων και ήχου σε μαγνητική ταινία χάρη σε μια συσκευή, το μαγνητοσκόπιο. Από τότε οι τηλεοπτικές εικόνες μπορούν να καταγραφούν και να μεταδοθούν. Όμως στην δεκαετία του 1950 περίπου δύο ντουζίνες ανθρώπων είχαν συσκευές που μπορούσαν να τις προβάλλουν. Από το 1971 και έπειτα οι πωλήσεις των έγχρωμων τηλεοράσεων ξεπέρασαν αυτές των ασπρόμαυρων.

Οι σύγχρονοι τηλεοπτικοί δέκτες διαθέτουν ένα πυροβόλο ηλεκτρονίων, το οποίο «ζωγραφίζει» τις τηλεοπτικές εικόνες σε γραμμές πάνω στην οθόνη. Οι δέσμες

ηλεκτρονίων καθοδηγούνται από ηλεκτρικά φορτισμένες πλάκες και σαρώνουν την οθόνη. Η οθόνη είναι καλυμμένη με φωσφορίζουσες ουσίες που ακτινοβολούν όταν πέφτει πάνω μια δέσμη ηλεκτρονίων. Οι συνηθισμένες τηλεοράσεις στην Ευρώπη αναλύουν την εικόνα σε 625 γραμμές, ενώ προβάλλουν 25 εικόνες (καρέ) το δευτερόλεπτο. Στη Ιαπωνία και τις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν συστήματα τηλεόρασης 525 γραμμών που προβάλλουν 30 καρέ το δευτερόλεπτο. Οι τηλεοράσεις υψηλής ανάλυσης (HDTV) έχουν ανάλυση 1.125 γραμμών και παρέχουν πολύ μεγαλύτερη ευκρίνεια και λεπτομέρεια στην εικόνα.



*Η RCA CT-100 παρουσιάστηκε το 1953 και ήταν η πρώτη ηλεκτρονική τηλεόραση που βγήκε σε λιανική τιμή στην Αμερική. Το κόστος της τότε ήταν 1000 δολάρια, δηλαδή περίπου 6000 σημερινά. Λιγότερο από 5000 κομμάτια κατασκευάστηκαν, αφού μετά από λίγους μήνες η RCA κατασκεύασε μεγαλύτερες τηλεοράσεις.*

**Εικόνα 4. RCA CT-100**

## 1.2 Επίγεια τηλεόραση

Εκατομμύρια άνθρωποι βλέπουν καθημερινά τηλεόραση, κι έτσι αυτή έγινε η βασική πηγή πληροφόρησης, αλλά και τρόπος διασκέδασης.

Στον κόσμο υπάρχουν δύο είδη τηλεοπτικών σταθμών. Ο πρώτος είναι η κρατική τηλεόραση, η οποία ανήκει στο κράτος ή σε κάποιο κρατικό οργανισμό. Γενικά, χρηματοδοτείται τόσο από τη διαφήμιση, όσο και από το φόρο που πληρώνουν οι κάτοχοι τηλεόρασης. Ενώ ο δεύτερος είναι η ιδιωτική τηλεόραση, η οποία είναι ανεξάρτητη από το κράτος και χρηματοδοτείται από τις διαφημίσεις, από συνδρομές κτλ. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι περισσότεροι τηλεοπτικοί σταθμοί είναι ιδιωτικοί, αλλά ορισμένοι χρηματοδοτούνται επίσης και από εισφορές τηλεθεατών. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν ένα μεικτό σύστημα, όπου συνυπάρχουν κρατική και ιδιωτική τηλεόραση. Σήμερα χάρη στους δορυφόρους, είναι δυνατόν να παρακολουθούμε στους δέκτες μας κανάλια και προγράμματα ξένων χωρών.

Οι διάφοροι σταθμοί διαθέτουν συστήματα που καταγράφουν τα ποσοστά τηλεθέασης. Με αυτό τον τρόπο οι ίδιοι οι τηλεθεατές συμβάλλουν στη διαμόρφωση των προγραμμάτων σε μεγάλο ποσοστό. Έτσι έχουν δημιουργηθεί οι λεγόμενες τηλεοπτικές ζώνες προκειμένου να ικανοποιηθούν οι τηλεθεατές. Κυρίως προγράμματα που ενημερώνουν και τέρπουν τους θεατές όλων των ηλικιών.

Όμως, η τηλεόραση είναι ένα ολόκληρο σύστημα που χρησιμεύει στη μετάδοση και στη λήψη κινούμενων εικόνων και ήχου από απόσταση. Λέγοντας «τηλεόραση» εννοούμε τη συσκευή, δηλαδή τον δέκτη, ο οποίος λαμβάνει το τηλεοπτικό σήμα που εκπέμπουν οι σταθμοί σε συγκεκριμένες συχνότητες, και μέσω της οθόνης απεικονίζεται το αποτέλεσμα της εκπομπής, δηλαδή μετατρέπεται το σήμα σε εικόνα και ήχο.

Ο δέκτης λαμβάνει το τηλεοπτικό σήμα είτε ασύρματα είτε ενσύρματα. Η ασύρματη λήψη μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Με κεραία στραμμένη σε κάποιο επίγειο σταθμό εκπομπής που βρίσκεται σε κάποιο ψηλό σημείο όπως η κορυφή κάποιου βουνού. Εναλλακτικά από δορυφόρο μέσω δορυφορικής κεραίας (πιάτο) και ειδικού δέκτη. Στην ενσύρματη λήψη έχουμε την καλωδιακή τηλεόραση και τη λήψη μέσω δικτύου. Στις μέρες μας, η ανάπτυξη της ευρυζωνικής δικτύωσης, καθώς και οι νέες τεχνικές συμπίεσης τηλεοπτικού σήματος έχουν παρουσιάσει αλματώδη ανάπτυξη και στη μετάδοση τηλεοπτικού προγράμματος μέσω Διαδικτύου.

Στην Ελλάδα και γενικότερα στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες στον συγκεκριμένο τομέα, ο πιο διαδεδομένος τρόπος για την μετάδοση του σήματος είναι ο επίγειος. Η υλοποίηση αυτού του τρόπου γίνεται με την εγκατάσταση ενός κέντρου εκπομπής στην κορυφή κάποιου βουνού, το οποίο θα λαμβάνει το σήμα από τον σταθμό και θα το οδηγεί σε κάποιον πομπό. Ο πομπός αυτός εκπέμπει το σήμα σε μία από τις εξής συχνότητες<sup>[2]</sup>: είτε στην UHF (Ultra High Frequency), είτε στην VHF (Very High Frequency).

Η ζώνη συχνοτήτων για την UHF κυμαίνεται από 300 MHz έως 3000 MHz και ανήκει στη κατηγορία των μικροκυμάτων όπου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν μήκος από 0,1 έως 100 εκατοστά. Τα μικροκύματα έχουν πολύ περισσότερες εφαρμογές σε σχέση με τις άλλες ζώνες ραδιοκυμάτων λόγω του πλούσιου φάσματός τους. Χρησιμοποιούνται για εκπομπή επίγειου τηλεοπτικού σήματος, στην εκπομπή δορυφορικού τηλεοπτικού σήματος και αλλού.

Η ζώνη συχνοτήτων για την VHF κυμαίνεται από 30 MHz έως 300 MHz και ανήκει στη κατηγορία των υπερβραχέων κυμάτων όπου το μήκος κύματος είναι μεταξύ 1 και 10 μέτρων. Τα βραχέα κύματα έχουν εφαρμογή στην τηλεόραση και στην ραδιοφωνία.

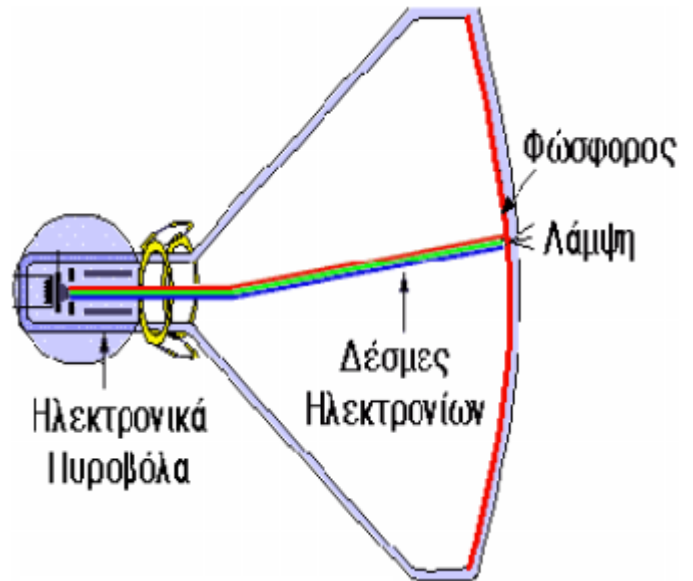
Για να μην παρεμβάλουν τα σήματα μεταξύ τους χωρίστηκαν οι συχνότητες στις περιοχές VHF I, VHF II και VHF III. Η πρώτη και η τρίτη ζώνη έχουν παραχωρηθεί στην τηλεόραση και αντιστοιχούν στα κανάλια 1 έως 4 και 5 έως 12 και η ζώνη VHF II έχει παραχωρηθεί στο ραδιόφωνο και αντιστοιχεί στην περιοχή συχνοτήτων 87,7 έως 108 MHz.



Εικόνα 5.Μικροκυματική κεραία

### 1.3 Έγχρωμη εικόνα

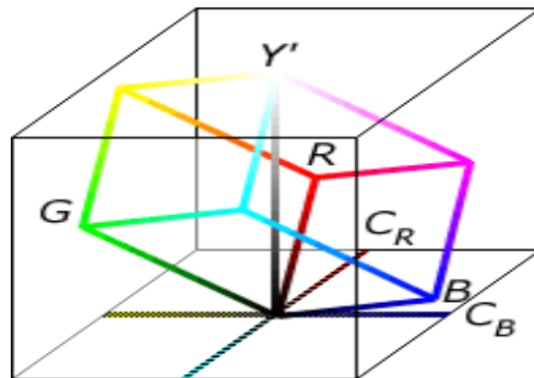
Στην αρχή η τηλεόραση ήταν μόνο ασπρόμαυρη, δηλαδή το σήμα μετέφερε μόνο την πληροφορία της φωτεινότητας. Για την απόδοση του χρώματος απαιτούνται τρία σήματα, που αντιστοιχούν στο κόκκινο, στο πράσινο και στο μπλε χρώμα (Red, Green, Blue – RGB). Όλα τα χρώματα προκύπτουν ως γραμμικός συνδυασμός αυτών των τριών βασικών χρωμάτων. Η αναλογική τηλεόραση χρησιμοποιούσε σάρωση zig-zag σε 625 γραμμές ενώ η προβολή στην οθόνη γινόταν μέσω κινούμενης δέσμης ηλεκτρονίων που προσέπιπτε στη φθορίζουσα επιφάνεια ενός καθοδικού σωλήνα. Ο καθοδικός σωλήνας ήταν



Εικόνα 6.Καθοδικός σωλήνας

καλυμμένος από φώσφορο και εξέπεμπε φώς όταν έπεφτε πάνω του μια δέσμη ηλεκτρονίων. Αυτό το υλικό ήταν διευθετημένο σε ένα πίνακα από εκατομμύρια μικροσκοπικά κελιά, τα οποία ονομάζονταν κουκίδες (dots). Αν κοιτάξουμε από πολύ κοντά την οθόνη, θα διακρίνουμε αυτές τις κουκίδες με την χρήση ενός μεγεθυντικού φακού. Στην πίσω πλευρά του καθοδικού σωλήνα υπήρχε ένα σύνολο από ηλεκτρονικά πυροβόλα, που παρήγαγαν δέσμες ηλεκτρονίων, όπως υποδηλώνει το όνομα τους. Η φωτεινότητα κάθε γραμμής αντιστοιχούσε σε ένα συνεχές ηλεκτρικό αναλογικό σήμα. Για να παραχθεί μια εικόνα στην οθόνη, αυτά τα πυροβόλα άρχιζαν από την κορυφή της οθόνης και σάρωναν πολύ γρήγορα από αριστερά στα δεξιά. Για λόγους συμβατότητας αλλά και εξοικονόμησης φάσματος, αντί για τις χρωματικές συντεταγμένες RGB χρησιμοποιούνται οι YUV όπου Y είναι η φωτεινότητα (όπως στην ασπρόμαυρη τηλεόραση), U είναι η χρωματικότητα του μπλε (αλλιώς  $C_B$ ) και V είναι η χρωματικότητα του κόκκινου (αλλιώς  $C_R$ ). Ο μετασχηματισμός από το σύστημα RGB στο YUV γίνεται ως εξής<sup>[1]</sup>:

- $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$
- $U = 0.492(B - Y)$
- $V = 0.877(R - Y)$



Εικόνα 4.Συσχέτιση των YUV με τα RGB (red-green-blue) της αναλογικής μετάδοσης

Το 1950 παρουσιάστηκε το πρώτο σύστημα έγχρωμης τηλεόρασης στην Αμερική το οποίο εγκρίθηκε από την FCC (Federal Communications Commission). Το σύστημα αυτό αντιμετωπίστηκε με δυσπιστία από το κοινό και τους κατασκευαστές, κυρίως γιατί δεν ήταν προσαρμοσμένο στο σύστημα της ασπρόμαυρης τηλεόρασης. Το σύστημα NTSC αποτελεί τη βάση στην οποία στηρίχθηκαν όλα τα άλλα συστήματα που αναπτύχθηκαν αργότερα.

Στην Ευρώπη έχουν καθιερωθεί και έχουν γίνει αποδεκτά τα συστήματα PAL και SECAM. Το σύστημα PAL έχει προέλευση από τη Γερμανία και είναι τροποποίηση του συστήματος NTSC. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες της Ευρώπης από το 1967. Το σύστημα SECAM έχει προέλευση τη Γαλλία και εφαρμόστηκε το 1956. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στη Γαλλία, στη Σοβιετική Ένωση και σε άλλες ανατολικές χώρες της Ευρώπης. Στην Ελλάδα καθιερώθηκε περίπου από το 1980 το σύστημα SECAM. Κατά καιρούς έγιναν προσπάθειες για την καθιέρωση ενός συστήματος τηλεόρασης που να είναι αποδεκτό παγκοσμίως. Έτσι το 1950 στη διεθνή σύσκεψη του IRCC στο Λονδίνο διαμορφώθηκαν 4 βασικά συστήματα τηλεόρασης. Το ευρωπαϊκό με 625 οριζόντιες γραμμές ανά εικόνα, το αμερικάνικο με 525, το αγγλικό με 405 και το γαλλικό με 819 γραμμές. Το αγγλικό και το γαλλικό σύστημα καταργήθηκαν το 1984 και έτσι σήμερα υπάρχουν σε ολόκληρο τον κόσμο δύο μόνο βασικά συστήματα τηλεόρασης, το αμερικανικό των 525 γραμμών και 60 Hz και το ευρωπαϊκό των 625 γραμμών και 50 Hz.

### 1.3.1 Το σύστημα NTSC

Το σύστημα NTSC, πήρε το όνομά του από τα αρχικά του οργανισμού National Television System Committee είναι το αναλογικό τηλεοπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στο μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας Αμερικής, σε μέρη της Νότιας Αμερικής (εκτός από τη Βραζιλία, την Αργεντινή, την Ουρουγουάη), τη Νότια Κορέα, την Ταϊβάν, την Ιαπωνία, τις Φιλιππίνες, και σε μερικά νησιά του Ειρηνικού. Οι περισσότερες χώρες που χρησιμοποιούν το πρότυπο NTSC, καθώς και εκείνων που χρησιμοποιούν άλλα αναλογικά τηλεοπτικά πρότυπα, στρέφονται σε νεώτερα ψηφιακά τηλεοπτικά πρότυπα, που είναι τουλάχιστον τέσσερα διαφορετικά σε όλο τον κόσμο. Στην Βόρεια Αμερική, σε μέρη της Κεντρικής Αμερικής, και στην Νότια Κορέα έχουν στραφεί στην χρήση του ATSC προτύπου, ενώ άλλες χώρες υιοθετούν ή έχουν υιοθετήσει άλλα πρότυπα. Το πρώτο πρότυπο NTSC αναπτύχθηκε το 1941 και δεν είχε προβλεφτεί για την έγχρωμη τηλεόραση.

Το 1953 μια δεύτερη τροποποιημένη έκδοση του NTSC προτύπου, το οποίο επιτρέπει την εμφάνιση χρώματος στην τηλεοπτική μετάδοση συμβατό με τους υφιστάμενους μαύρο-άσπρους δέκτες κάνει την εμφάνιση του. Το NTSC ήταν το πρώτο ευρέως διαδεδομένο σύστημα μετάδοσης όπου το χρώμα κυριαρχούσε, μέχρι την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα, όταν αντικαταστάθηκε με τον ψηφιακό ATSC πρότυπο. Μετά από σχεδόν 70 χρόνια χρήσης, οι μεταδόσεις του συστήματος NTSC στις Ηνωμένες Πολιτείες απενεργοποιήθηκαν στις 12 Ιουνίου 2009 και στις 31 Αυγούστου του 2011 στον Καναδά.

### 1.3.2 Το σύστημα SECAM

Οι εργασίες για το σύστημα SECAM (**S**équentiel **C**ouleur **à** **m**émoire) ξεκίνησαν το 1956. Η τεχνολογία ήταν έτοιμη μέχρι το τέλος της δεκαετίας του πενήντα, αλλά ήταν πολύ σύντομο το χρονικό διάστημα για μια τόσο μεγάλη εισαγωγή. Αρχικά, μια έκδοση του SECAM για το γαλλικό τηλεοπτικό πρότυπο 819-γραμμές σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε, αλλά δεν εισήρθε ποτέ στην αγορά. Μετά από μια πανευρωπαϊκή συμφωνία για την εισαγωγή έγχρωμης τηλεόρασης μόνο σε 625 γραμμές, η Γαλλία έπρεπε να ξεκινήσει τη μετατροπή από τη μετάβαση σε ένα τηλεοπτικό πρότυπο 625-γραμμές, η οποία συνέβη στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με την εισαγωγή ενός δεύτερου δικτύου. Το πρώτο προτεινόμενο σύστημα ονομαζόταν SECAM I και έκανε την εμφάνιση του το 1961. Σκοπό ήταν η βελτίωση της συμβατότητας και της ποιότητας της εικόνας.

Όμως εμφανίστηκαν τα μεταγενέστερα συστήματα SECAM II και SECAM III το 1965 στη Βιέννη. Αυτά με την σειρά τους επιδέχτηκαν περαιτέρω βελτιώσεις και έτσι κατασκευάστηκαν τα συστήματα SECAM III A και έπειτα ακολούθησε το SECAM III B, το 1967. Σοβιετικοί τεχνικοί είχαν συμμετάσχει στην ανάπτυξη του προτύπου, και μάλιστα δημιούργησαν τη δική τους ασυμβίβαστη παραλλαγή που ονομάζεται SECAM IV ή NIR, η οποία δεν επεκτάθηκε. Η ομάδα δούλεψε στη Μόσχα υπό τη διεύθυνση του καθηγητή Shmakov. Η ονομασία NIR προέρχεται από το όνομα του Nautchno-Institut Issledovatelskiy Radio ένα σοβιετικό ερευνητικό ινστιτούτο που συμμετείχε στις μελέτες. Η CLT του Λιβάνου, έγινε ο τρίτος τηλεοπτικός σταθμός στον κόσμο, μετά τη Σοβιετική Ένωση και τη Γαλλία, που μεταδίδει με χρώμα την εικόνα, κάνοντας χρήση της γαλλικής τεχνολογίας SECAM.

Το σύστημα SECAM αργότερα υιοθετήθηκε από την Ελλάδα, τη Σοβιετική Ένωση και τις χώρες του Ανατολικού μπλοκ (με εξαίρεση τη Ρουμανία και την Αλβανία), και τις χώρες της Μέσης Ανατολής. Μερικοί έχουν υποστηρίξει ότι το πρωταρχικό κίνητρο για την ανάπτυξη της SECAM στη Γαλλία ήταν να προστατευτεί γαλλική κατασκευαστική εταιρία τηλεοπτικού εξοπλισμού. Το σύστημα NTSC θεωρήθηκε ανεπιθύμητο στην Ευρώπη, λόγω της προβληματικής απόχρωσης που απαιτούσε πρόσθετο έλεγχο. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να το λύσει το σύστημα SECAM και έπειτα ακολουθεί το σύστημα PAL. Μετά από μια περίοδο πολλών προτύπων τηλεόρασης, πολλές χώρες της Ανατολικής Ευρώπης αποφάσισαν να στραφούν στο σύστημα PAL.

### 1.3.2 Το σύστημα PAL

Το σύστημα PAL (Phase Alternating Line) κάνει την εμφάνιση του στη δεκαετία του 1950. Οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης αρχίζουν να σχεδιάζουν την εισαγωγή της έγχρωμης τηλεόρασης. Ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα πρότυπο για να χρησιμοποιηθεί για την έγχρωμη τηλεόραση και να πληροί τα στάνταρ της Ευρώπης (50 Hz). Το σύστημα PAL αναπτύχθηκε από τον Walter Bruch στο Telefunken στη Γερμανία. Παρουσιάστηκε το 1963, με τις πρώτες εκπομπές να ξεκινούν στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Δυτική Γερμανία το 1967.

## 1.4 Η ψηφιακή εποχή είναι γεγονός

Τον Απρίλιο του 2006 έγινε το πρώτο βήμα από την δημόσια ραδιοτηλεόραση και την πιλοτική εφαρμογή των τριών ψηφιακών καναλιών, του ΣΠΟΡ+, του ΣΙΝΕ+ και του ΠΡΙΣΜΑ+. Ήδη μέσα από τη συχνότητα της δημόσιας τηλεόρασης και το ΠΡΙΣΜΑ+ οι τηλεθεατές με αναπηρία, με προβλήματα ακοής και όρασης έχουν πρόσβαση στην ψυχαγωγία και την ενημέρωση. Παράλληλα οι τηλεθεατές έχουν την δυνατότητα κάποιων επιπλέον υπηρεσιών όπως είναι οι ηλεκτρονικοί οδηγοί προγραμμάτων και οι αμφίδρομες υπηρεσίες μέσα από τις ψηφιακές συχνότητες .

Έπειτα τον Μάιο του 2006 στη Διάσκεψη της Γενεύης, η χώρα μας κατοχύρωσε περίπου 2.500 συχνότητες εκ των οποίων οι 357 είναι ψηφιακές. Για να καταλάβει κάποιος το μέγεθος αυτής της επιτυχίας, πρέπει να σημειωθεί ότι η χώρα μας είχε μόλις 137 συχνότητες αναλογικής εκπομπής κατοχυρωμένες το 1961 και από τότε καμία άλλη. Είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό επίτευγμα γιατί με βάση αυτές τις συχνότητες είμαστε σήμερα σε θέση να συζητούμε και να μεταβούμε στην ψηφιακή εκπομπή.

Το Σεπτέμβριο του 2007 έγινε η ολοκλήρωση και ανακοίνωση του χάρτη συχνοτήτων για την μεταβατική περίοδο. Στη 1 Νοεμβρίου του 2008 άρχισε πιλοτικά η περίοδος της παράλληλης αναλογικής και ψηφιακής εκπομπής. Και φτάσαμε στη σημερινή κατάσταση, την ολοκλήρωση και παρουσίαση του χάρτη συχνοτήτων εκπομπής της ψηφιακής τηλεόρασης, και της συνδρομητικής, κατά την οριστική ψηφιακή εποχή, αλλά και του χάρτη συχνοτήτων εκπομπής του αναλογικού ραδιοφώνου.

Και με αυτά τα βήματα, η ψηφιακή εποχή είναι πλέον γεγονός και στη χώρα μας. Τα μειονεκτήματα της εκπομπής του αναλογικού σήματος οδήγησαν στη χρήση του ψηφιακού. Τα περιοδικά χιόνια και είδωλα που παρουσιάζονταν στο αναλογικό σήμα αντικαθίστανται πλέον από την τέλεια εικόνα χωρίς παραμορφώσεις και ενοχλητικές παρεμβολές. Το ψηφιακό σήμα χρειάζεται ένα ελάχιστο όριο σήματος για να λειτουργήσει. Παρόλο που είναι εξαιρετικά χαμηλό δίνει τη μέγιστη ποιότητα εικόνας και ήχου χωρίς παραμορφώσεις, χιόνια, είδωλα και ενοχλητικές παρεμβολές, σε αντίθεση με το αναλογικό σήμα που υπάρχουν προβλήματα στην λήψη εφόσον δεν υπάρχει ελεύθερο πεδίο προς το κέντρο εκπομπής. Επιπλέον με την λήψη του ψηφιακού σήματος έχουμε την δυνατότητα χρήσης πολλών υπηρεσιών. Για παράδειγμα ο ηλεκτρονικός οδηγός προγραμμάτων με πληροφορίες για το τι βλέπει κάποιος εκείνη τη στιγμή και τη δυνατότητα προγραμματισμού εγγραφής (πρέπει να υποστηρίζεται από τον αποκωδικοποιητή. Συγκριτικά με το αναλογικό σήμα το οποίο είχε ελλείψεις υπηρεσιών, αφού το μόνο που υποστήριζε ήταν το teletext το οποίο μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις δεν προβάλλονταν σωστά αφού απαιτούσε ισχυρό σήμα.



**Εικόνα 5. Διαφορά μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού σήματος**

Η συνεχής εξέλιξη και ωρίμανση των τεχνολογιών της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών αλλά και η συνεχώς αναπτυσσόμενη αξιοποίησή τους αναμένεται ότι θα προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες και θα έχουν τεράστιες επιπτώσεις στις κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες καθώς επίσης και στην καθημερινή μας ζωή. Μια νέα ψηφιακή εποχή αναδύεται με συνεχώς ταχύτερους ρυθμούς δημιουργώντας έναν νέο ψηφιακό τρόπο ζωής που παρουσιάζονται νέες προκλήσεις και ευκαιρίες για εξέλιξη.

#### 1.4.1 Η ψηφιακή τηλεόραση του μέλλοντος

Η εξατομίκευση αυτή των ηλεκτρονικών προϊόντων και υπηρεσιών θα προχωρήσει ακόμη περισσότερο. Σήμερα συνηθίζουμε να αγοράζουμε και να διαβάζουμε πολλά περιοδικά και βιβλία, να ακούμε πολλούς ραδιοφωνικούς σταθμούς και να βλέπουμε πολλά τηλεοπτικά κανάλια, συνήθως όλα γενικού ενδιαφέροντος, με σκοπό τελικά, μετά από πολλή προσπάθεια και κόπο, να εντοπίσουμε τα θέματα και τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν για την εργασία, την εκπαίδευση ή την ψυχαγωγία μας.

Η προσέγγιση αυτή της αγοράς και μελέτης πολλών γενικών πηγών πληροφόρησης ώστε να εντοπίσουμε τις ειδικές πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν σίγουρα είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και αντιοικονομική. Γι' αυτόν τον λόγο μελλοντικά αναμένεται να διαμορφωθεί ένα νέο μοντέλο εξατομικευμένης πληροφόρησης, θα μπορούμε εντελώς αυτόματα να αντλούμε σε ηλεκτρονική μορφή και να εμφανίζουμε στον προσωπικό μας υπολογιστή ή στην ψηφιακή μας τηλεόραση, μέσω διαφόρων ενσύρματων ή ασυρμάτων δικτύων, οποιοδήποτε υποσύνολο του περιεχομένου πολυάριθμων περιοδικών, βιβλίων, ραδιοφωνικών σταθμών, τηλεοπτικών σταθμών κτλ. μας ενδιαφέρει. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε μια μεγάλη σειρά νέων ειδικών και εξατομικευμένων πολυμεσικών προϊόντων και υπηρεσιών, τα οποία θα αποτελούνται από κείμενα, αριθμούς, γραφικά, ήχο και εικόνα σταθερή και κινούμενη για διάφορες θεματολογίες και συγκεκριμένα αντικείμενα. Ενδεικτικές του νέου αυτού μοντέλου είναι οι νέες αναπτυσσόμενες υπηρεσίες παροχής Video On Demand (VOD) στον χώρο της ψυχαγωγίας, οι οποίες θα μας δώσουν τη δυνατότητα της βαθμιαίας αντικατάστασης της συνδρομής σε έναν αριθμό τηλεοπτικών καναλιών με την αγορά από αυτά ορισμένων μόνο προγραμμάτων ή ταινιών που μας ενδιαφέρουν.



Η ψηφιακή τηλεόραση θα προσφέρει νέες μεγάλες δυνατότητες στον καλλιτεχνικό χώρο για δημιουργία και έκφραση. Καθώς και στη προβολή διάφορων έργων τέχνης, τόσο για τις υφιστάμενες τέχνες όσο και για νέες καινοτομικές ψηφιακές τέχνες συμμετοχικού χαρακτήρα που θα αναπτυχθούν. Η βασική ιδέα είναι ότι τόσο ο καλλιτέχνης όσο και το κοινό θα συμβάλλουν στη δημιουργία του έργου τέχνης.



Εικόνα 6. Η ψηφιακή εποχή είναι γεγονός

#### 1.4.2 Τα πρώτα βήματα

Το ηλεκτρονικό εμπόριο, η τηλεεκπαίδευση, η τηλεϊατρική, η τηλεργασία, η τηλεδιάσκεψη και η ηλεκτρονική διοίκηση αποτελούν ορισμένα πρώτα βήματα προς την κατεύθυνση της νέας ψηφιακής εποχής. Τα αμέσως επόμενα χρόνια αναμένουμε ότι θα υπάρξουν ωρίμανση, μείωση του κόστους και διεύρυνση της χρήσης των νέων αυτών ψηφιακών υπηρεσιών και ότι παράλληλα θα αναπτυχθούν και νέες καινοτομικές ψηφιακές υπηρεσίες.

Οι επιπτώσεις τους σε όλες σχεδόν τις κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες καθώς επίσης και στην καθημερινή μας ζωή θα είναι σημαντικές. Θα πρέπει συνεπώς να είμαστε όλοι έτοιμοι να αξιοποιήσουμε στον μέγιστο δυνατό βαθμό τις τεράστιες δυνατότητες και ευκαιρίες που θα δημιουργήσει η νέα ψηφιακή εποχή, αλλά και να αντιμετωπίσουμε ορθολογικά και εγκαίρως τις όποιες απειλές και προβλήματα πιθανώς προκύψουν.

Ειδικά στη χώρα μας μπορούν να προκύψουν πολύ μεγάλα οφέλη από την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών και των μεγάλων αυτών δυνατοτήτων και ευκαιριών της νέας ψηφιακής εποχής. Το μικρό μέγεθος της χώρας μας και η μεγάλη γεωγραφική απόστασή της από τα σημαντικά οικονομικά κέντρα δεν της επέτρεψαν να συμμετάσχει έντονα και δυναμικά στη Βιομηχανική Επανάσταση.

Σήμερα οι νέες τεχνολογίες και τα μοντέλα της ψηφιακής εποχής αποδυναμώνουν σημαντικά τους δύο παραπάνω ανασταλτικούς παράγοντες. Οι οικονομικές απολαβές βαθμιαία καθίστανται όλο και περισσότερο προσοδοφόρες, όπου σίγουρα δεν υστερούμε. Οι ευκαιρίες για τον ελληνικό πληθυσμό θα είναι μεγάλες και σίγουρα δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να τις χάσουμε.

## Κεφάλαιο 2

### Ψηφιοποίηση και συμπίεση σήματος

#### 2.1 Ψηφιοποίηση σήματος

Στο τέλος της δεκαετίας του 1990 η σύγκλιση των τεχνολογιών της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών, της ψηφιοποίησης του σήματος, καθώς επίσης και η ανάπτυξη των δικτύων Η/Υ σε απομακρυσμένες περιοχές, ώθησαν τις επικοινωνιακές εταιρείες να βρουν τρόπους ώστε να επιτευχθεί η μετάδοση του ψηφιακού σήματος από τα υπάρχοντα δίκτυα δεδομένων. Το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης ή αλλιώς της Αναλογικής / Ψηφιακής μετατροπής ή πιο απλά Α/Ψ είναι ένα σύνολο λέξεων που περιγράφουν το αναλογικό σήμα που παρέχει ο αισθητήρας. Η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος γίνεται σε τρία βήματα. Πρώτα, γίνεται η δειγματοληψία του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι από το άπειρο πλήθος τιμών του συνεχούς σήματος, κρατάμε μόνο ένα σύνολο διακριτών τιμών, που συνήθως διαφέρουν κατά κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα.

Οι τιμές ενός αναλογικού σήματος μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα από το πεδίο τιμών του. Αφού το πεδίο αυτό είναι γενικά συνεχές, οι τιμές αυτές είναι άπειρες. Μια λέξη μήκους  $n$  bits μπορεί να περιγράψει  $2^n$  στάθμες μέσα από το πεδίο τιμών του σήματος. Δηλαδή, δεν γίνεται να περιγραφούν όλες οι δυνατές τιμές του σήματος, αλλά μόνο κάποιο πεπερασμένο υποσύνολο αυτών. Οι τιμές που θα περιγραφούν, επιλέγονται ανάλογα με την ακρίβεια και το μήκος του διαστήματος που θέλουμε να καλύψουμε. Είναι φανερό ότι αυτές οι δύο απαιτήσεις είναι αντικρουόμενες και ότι πρέπει να γίνει απαραίτητα κάποιος συμβιβασμός. Αφού επιλεχθούν οι στάθμες, αντιστοιχίζεται σε κάθε μια από αυτές μια λέξη, γίνεται δηλαδή η κωδικοποίηση.

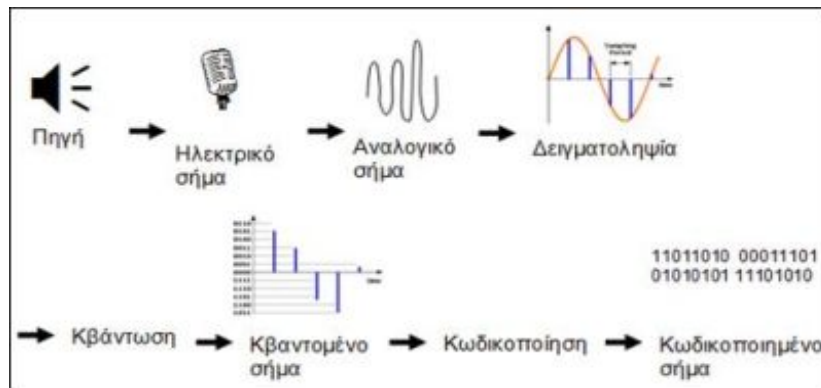
Το επόμενο βήμα είναι η κβαντοποίηση. Στην κβαντοποίηση, βρίσκουμε την πλησιέστερη στάθμη κάθε τιμής που προέκυψε από τη δειγματοληψία. Η δειγματοληψία δημιουργεί διακριτοποίηση του σήματος στο χρόνο ή στο χώρο. Οι τιμές των δειγμάτων όμως μπορούν να είναι οποιεσδήποτε. Έτσι χρειαζόμαστε την διακριτοποίηση των τιμών πλάτους, δηλαδή την προσέγγιση των πραγματικών τιμών με κάποιες προκαθορισμένες, καθώς και την διακριτοποίηση των τιμών πλάτους του σήματος<sup>[4]</sup>. Αυτό άλλωστε ονομάζεται κβαντισμός.

Η ψηφιοποίηση του σήματος έχει κάποια πλεονεκτήματα. Όπως για παράδειγμα η μικρή ευαισθησία των ψηφιακών σημάτων στο θόρυβο. Τα αναλογικά σήματα σε αντίθεση με τα ψηφιακά επηρεάζονται από κάθε θόρυβο που μεταβάλλει το πλάτος, τη συχνότητα και τη φάση τους. Σήμερα με τα ψηφιακά σήματα παρέχονται περισσότερες δυνατότητες για την επεξεργασία τους σε αντίθεση με τα αναλογικά, όπως για παράδειγμα η αποθήκευσή τους. Επιπλέον υπάρχει υψηλή ποιότητα εικόνας και ήχου. Καθώς επίσης υπάρχει η δυνατότητα λήψης πολλών καναλιών, που αυτό έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος διανομής ανά πρόγραμμα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τόσο τα προγράμματα όσο και τις υπηρεσίες που θέλει να έχει και να χρησιμοποιεί.

Όμως η ψηφιοποίηση του σήματος έχει και κάποια μειονεκτήματα, προκειμένου να μεταδοθεί το ψηφιακό σήμα στο δέκτη απαιτείται μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Το ψηφιοποιημένο οπτικό σήμα απαιτεί, χωρίς συμπίεση, ρυθμό μετάδοσης της τάξεως των 250 Mbit/s για τη συμβατική τηλεόραση, και τα 1200 Mbit/s για την τηλεόραση

υψηλής ευκρίνειας. Έτσι τα μεταδιδόμενα αναλογικά σήματα πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε ψηφιακά στον πομπό και στη συνέχεια να μετατραπούν σε αναλογικά από την πλευρά του δέκτη. Όμως με τη ψηφιακή μετάδοση δεν υπάρχει συμβατότητα με τις ήδη αναλογικές εγκαταστάσεις που είναι σε λειτουργία. Έτσι γεννιέται η ανάγκη της συμπίεσης.

Στις μέρες μας, η ύπαρξη αποτελεσματικών λόγων συμπίεσεως του ψηφιακού σήματος σε λόγους που είναι δυνατόν να ξεπεράσουν το 100:1, ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα της εικόνας, παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και οικονομικά η ψηφιακή τεχνολογία στην επεξεργασία της εικόνας. Η εισαγωγή καλύτερων αλγόριθμων συμπίεσης επιτρέπει την πιο αποτελεσματική αλλά και οικονομική χρήση του φάσματος των συχνοτήτων.



Εικόνα 7. Ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος

## 2.2 Συμπίεση σήματος

Η συμπίεση των δεδομένων ήχου και βίντεο είναι απαραίτητη. Όταν σε ένα αναλογικό σήμα γίνεται δειγματοληψία, το μέγεθος της ψηφιακής πληροφορίας που δημιουργείται είναι πολύ μεγάλο. Με τη σωστή χρήση τεχνικών συμπίεσης μειώνεται το μέγεθος των πληροφοριών, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα τη γρηγορότερη μεταφορά και κατά επέκταση μετάδοση του ψηφιοποιημένου σήματος. Η διαδικασία συμπίεσης επιτρέπει τη μείωση σε πολλαπλάσιο βαθμό της ταχύτητας δεδομένων ενός ψηφιοποιημένου σήματος και επομένως, των απαιτήσεων όσο αναφορά τον χώρο αποθήκευσης ενός αρχείου. Κατά τη συμπίεση δεν αποθηκεύεται πλέον το χρώμα και η φωτεινότητα κάθε μεμονωμένου pixel, αλλά μετασχηματίζονται ολόκληρες ομάδες pixel με ολοκληρωμένους αλγόριθμους και εφαρμόζεται μια σειρά τεχνικών με σκοπό την αφαίρεση άχρηστων και περιττών πληροφοριών.

Οι αλγόριθμοί αυτοί ονομάζονται CoDec (από το Compression, συμπίεση και DECompression, αποσυμπίεση)<sup>[18]</sup>. Μετά τη συμπίεση, το αρχείο μειωμένου μεγέθους μετατρέπεται ξανά σε σήμα από έναν αποκωδικοποιητή. Η ταχύτητα δεδομένων ενός ψηφιοποιημένου, κλασικού έγχρωμου τηλεοπτικού σήματος ανέρχεται περίπου στα 216 Mbps, ενώ το φορμάτ συμπίεσης του προτύπου MPEG-4 παρέχει υψηλή ποιότητα εικόνας σε ανάλυση DVD με ταχύτητα δεδομένων μόλις 1 Mbps.

Όμως υπάρχουν απώλειες στην ποιότητα λόγω ατελειών. Όσο μεγαλύτερη είναι η συμπίεση, τόσο πιο έντονα εμφανίζονται σφάλματα, τρεμούλιασμα της εικόνας και γραμμές, οι λεγόμενες ατέλειες. Αυτές, ωστόσο, μπορούν να διορθωθούν εν μέρει

από τους εκάστοτε αποκωδικοποιητές, οι οποίοι απαιτούνται για την αναπαραγωγή των αρχείων όταν γίνει η μετατροπή σε αρχεία βίντεο. Τα πιο γνωστά φορμάτ συμπίεσης βίντεο είναι το φορμάτ MPEG (Moving Picture Experts Group) 1/2/4. Άλλοι κωδικοποιητές είναι επίσης τα AVI, Xvid, DivX, QuickTime, Flash Video (FLV), RealVideo, καθώς και οι κωδικοποιητές βίντεο HD, ο HDV 8 Bit και ο DVCPRO 50 8 Bit.

### 2.2.1 Με απώλειες και χωρίς απώλειες

Υπάρχουν δύο τύποι τεχνικών συμπίεσης: η απωλεστική (Lossy) και η μη απωλεστική (Lossless). Με την απωλεστική συμπίεση αποβάλλεται η πληροφορία που δεν είναι απαραίτητη. Με αυτή την τεχνική επιτυγχάνουμε βαθμό συμπίεσης από 2 μέχρι 250 φορές μικρότερο του αρχικού. Αντιθέτως, με την μη απωλεστική τεχνική συμπίεσης γίνεται προσαρμογή της πληροφορίας με διάφορους αλγόριθμους. Ο βαθμός συμπίεσης σε αυτή την τεχνική είναι πολύ μικρότερος, από 2 μέχρι 5 φορές συγκριτικά με το αρχικό.

- Αλγόριθμοι συμπίεσης χωρίς απώλειες ή αντιστρεπτοί (lossless compression).

Με την χρήση αυτού του είδους αλγορίθμων η διαδικασία της συμπίεσης δεν αλλοιώνει καθόλου την πληροφορία. Δηλαδή, μετά την αποσυμπίεση, η πληροφορία επανέρχεται ακριβώς στην μορφή που είχε πριν. Συνήθως, αυτοί οι αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν περιθώρια για απώλειες. Για παράδειγμα, αν η πληροφορία που μεταφέρεται είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή, ένα και μόνο αλλοιωμένο bit μπορεί να είναι αρκετό να καταστήσει το πρόγραμμα άχρηστο.

- Αλγόριθμοι συμπίεσης με απώλειες ή μη αντιστρεπτοί (lossy compression).

Αν, για παράδειγμα, η πληροφορία περιγράφει μια φωτογραφία, είναι δυνατόν να επιτύχουμε καλύτερη συμπίεση κάνοντας μερικές υποχωρήσεις όσον αφορά την ποιότητα του συμπιεσμένου σήματος. Είναι φανερό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις το σημασιολογικό περιεχόμενο ουσιαστικά δεν μεταβάλλεται αλλά εμφανίζεται η έννοια της μείωσης της ποιότητας. Το ψηφιακό σήμα ως ακολουθία bits σαφώς και μεταβάλλεται.



Εικόνα 8. Γενικό σχήμα συμπίεστη

## 2.2.2 Τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας

Μια απλοποιημένη ταξινόμηση των τεχνικών συμπίεσης είναι η εξής: κωδικοποίηση εντροπίας (entropy encoding) και κωδικοποίηση πηγής (source encoding).

### Κωδικοποίηση εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας αναφέρεται σε τεχνικές, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους το είδος της πληροφορίας που πρόκειται να συμπιεστεί. Με άλλα λόγια, αυτές οι τεχνικές αντιμετωπίζουν την πληροφορία ως μια απλή ακολουθία bits. Για αυτό το λόγο, η κωδικοποίηση εντροπίας μπορεί να εφαρμοσθεί ανεξάρτητα από το είδος της πληροφορίας. Επιπλέον, οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας προσφέρουν κωδικοποίηση χωρίς απώλειες. Ας δούμε ένα παράδειγμα. Μπορούμε να αντικαθιστούμε κάθε ακολουθία 10 διαδοχικών μηδενικών που βρίσκουμε με ένα ειδικό χαρακτήρα ακολουθούμενο από τον αριθμό 10. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνουμε το μήκος της ακολουθίας χωρίς να κάνουμε καμία υπόθεση για την σημασία των μηδενικών, αλλά και χωρίς να αλλοιώνεται το σήμα.

Οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων ακολουθιών (Suppression of repetitive sequences)
- Στατιστική Κωδικοποίηση (Statistical encoding)

8	0	9	0	0	0	0	0	0	0	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

8	0	9	M	7	5
---	---	---	---	---	---

Διεύθυνση:	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Διεύθυνση:	.	M	8	5
------------	---	---	---	---

Σημαία M

**Εικόνα 9. Παραδείγματα περιορισμού των επαναλαμβανόμενων χαρακτήρων**

Αυτή η μέθοδος κωδικοποίησης εντροπίας είναι από τις παλαιότερες και πιο απλές που χρησιμοποιούνται. Η ιδέα είναι ότι σε μια τυχαία ακολουθία από bits είναι πιθανό να εμφανιστούν κάποια τμήματα που αποτελούνται από κάποιο επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα. Αυτά τα τμήματα μπορούν να αντικατασταθούν από έναν ειδικό χαρακτήρα, που ονομάζεται σημαία, και το πλήθος των επαναλήψεων του χαρακτήρα μετά από την σημαία. Η κωδικοποίηση αυτή έχει την παρακάτω σημασία, κάθε φορά

που συναντάται η σημαία, ο χαρακτήρας που προηγείται αυτής πρέπει να επαναληφθεί όσες φορές υποδεικνύει ο αριθμός που ακολουθεί τη σημαία.

### 2.2.3 Τεχνικές Κωδικοποίησης πηγής

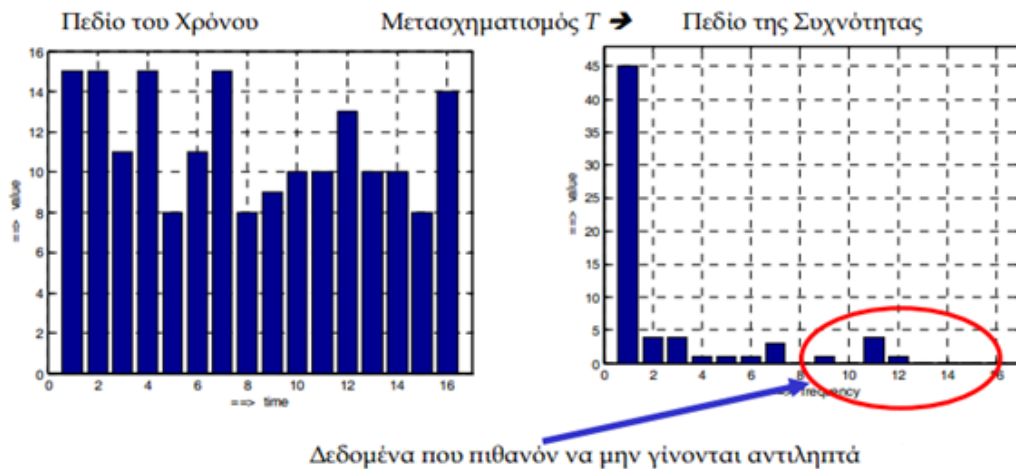
Η διαφορά αυτής της τεχνικής είναι ότι οι μετασχηματισμοί τους οποίους υφίστανται το αρχικό σήμα εξαρτώνται άμεσα από το τύπο του. Για παράδειγμα, ο λόγος χαρακτηρίζεται από συχνά διαστήματα σιωπής, που μπορούν να περιγραφούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Δηλαδή, οι μετασχηματισμοί του σήματος κάνουν χρήση των ιδιαίτερων σημασιολογικών χαρακτηριστικών που μεταφέρει το σήμα. Γενικά, αυτές οι τεχνικές μπορούν να παράγουν μεγαλύτερα ποσοστά συμπίεσης σε σχέση με την κωδικοποίηση εντροπίας. Μειονεκτούν όμως στη σταθερότητα, γιατί το ποσοστό συμπίεσης που επιτυγχάνουν διαφοροποιείται ανάλογα με το αντικείμενο που συμπιέζεται. Πάντως, η κωδικοποίηση πηγής μπορεί να λειτουργήσει και με απώλειες και χωρίς απώλειες.

Οι τεχνικές κωδικοποίησης πηγής διακρίνονται σε τρεις τύπους:

- Κωδικοποίηση μετασχηματισμού (transform encoding)
- Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση (differential or predictive encoding)
- Διανυσματική κβαντοποίηση (vector quantization)

Η βασική αρχή στη κωδικοποίηση μετασχηματισμού είναι ότι το σήμα υφίσταται ένα μαθηματικό μετασχηματισμό από το αρχικό πεδίο του χρόνου ή του χώρου σε ένα αφηρημένο πεδίο το οποίο είναι πιο κατάλληλο για συμπίεση. Αυτή η διαδικασία είναι αντιστρεπτή, δηλαδή υπάρχει ο αντίστροφος μετασχηματισμός που θα επαναφέρει το σήμα στην αρχική του μορφή.

Ένας τέτοιος μετασχηματισμός είναι ο μετασχηματισμός Fourier. Μέσω του μετασχηματισμού Fourier μια συνάρτηση του χρόνου  $f(t)$  μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια  $g(\lambda)$  στο πεδίο των συχνοτήτων. Η νέα αυτή συνάρτηση παρέχει το πλάτος  $g$  των συχνοτήτων  $\lambda$  που απαρτίζουν την αρχική συνάρτηση. Στην περίπτωση των εικόνων χρησιμοποιείται μια ειδική μορφή του μετασχηματισμού Fourier, ο διακριτός συνημιτονικός μετασχηματισμός Fourier, και το σημαντικό σημείο που εκμεταλλευόμαστε είναι το εξής, στη φασματική (στο πεδίο των συχνοτήτων) αναπαράσταση των εικόνων, οι συχνότητες περιγράφουν πόσο γρήγορα μεταβάλλονται τα χρώματα και η απόλυτη φωτεινότητα. Εκτός από τον μετασχηματισμό Fourier υπάρχουν και άλλοι, όπως οι μετασχηματισμοί των Hadamar, Haar και των Karhunen-Loeve. Ανάλογα με τις ιδιότητες του τύπου της πληροφορίας που θέλουμε να συμπίεσουμε, επιλέγουμε και τον καταλληλότερο μετασχηματισμό.



Εικόνα 10. Κωδικοποίηση Μετασχηματισμού

Αφού επιλεγεί και εκτελεστεί ο μετασχηματισμός, βρίσκουμε τους πιο σημαντικούς από τους συντελεστές και τους περιγράφουμε με μεγάλη ακρίβεια. Τους λιγότερο σημαντικούς μπορούμε να τους περιγράψουμε με μικρότερη ακρίβεια ή και να τους αγνοήσουμε τελείως. Κάνοντας κάτι τέτοιο η διαδικασία συμπίεσης έχει απώλειες. Παρ' όλα αυτά, οι μετασχηματισμοί από μόνοι τους είναι αντιστρεπτοί.

Η διαφορική κωδικοποίηση αποτελεί τη δεύτερη από τις μεθόδους κωδικοποίησης πηγής που θα περιγράψουμε. Η βασική αρχή της είναι ότι μόνο η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή ενός δείγματος και στην προβλεπόμενη τιμή του κωδικοποιείται. Αυτή η διαφορά ονομάζεται διαφορά πρόβλεψης ή παράγοντας λάθους. Από αυτήν προκύπτει και η εναλλακτική ονομασία αυτής της τεχνικής που είναι η προβλεπτική κωδικοποίηση. Η τεχνική αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των τιμών των δειγμάτων. Έτσι διακρίνουμε τρεις μορφές διαφορικής κωδικοποίησης. Την απλή διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση, την Δέλτα διαμόρφωση και την προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση. Η διαφορική κωδικοποίηση είναι κατάλληλη για σήματα, οι διαδοχικές τιμές των οποίων αναμένεται να διαφέρουν, αλλά όχι πολύ. Κατά συνέπεια, η διαφορική κωδικοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμπίεση κινούμενης εικόνας ή ήχου.

Η διανυσματική κβαντοποίηση αποτελεί την τρίτη μέθοδο και ίσως την πιο ελπιδοφόρα τεχνική κωδικοποίησης πηγής. Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας της είναι τα εξής: Τα δεδομένα χωρίζεται σε τμήματα που ονομάζονται διανύσματα. Υποθέτουμε ότι όλα τα διανύσματα έχουν το ίδιο μικρό μέγεθος και ότι αποτελούνται από  $n$  οκτάδες. Υπάρχει ένας πίνακας που περιέχει ένα σύνολο από πρότυπα διανύσματα. Αυτός ο πίνακας αποτελεί το λεξικό της μεθόδου και πρέπει να είναι διαθέσιμο τόσο κατά την συμπίεση, όσο και την αποσυμπίεση των δεδομένων. Το λεξικό μπορεί να είναι προκαθορισμένο, δηλαδή το ίδιο σε όλες τις διαδικασίες συμπίεσης. Η συμπίεση βασίζεται στην αντικατάσταση κάθε διανύσματος της αρχικής πληροφορίας με το πιο ταιριαστό από τα πρότυπα του λεξικού. Κάνοντας χρήση του λεξικού, αντί για ολόκληρα τα πρότυπα, μόνο η ετικέτα τους ή ο αύξων αριθμός τους είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί στο λεξικό.

Η δυσκολία της μεθόδου επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός λεξικού που περιέχει πρότυπα που μοιάζουν όσον το δυνατόν περισσότερο με τα εμφανιζόμενα διανύσματα. Αν κάτι τέτοιο δεν συμβεί, θα έχουμε μεγάλη παραμόρφωση των

δεδομένων. Όμως όσο ακριβής και να είναι η κωδικοποίηση θα πρέπει να αναμένουμε κάποια, έστω και μικρή, απόκλιση από τα αρχικά δεδομένα.

Να σημειωθεί ότι οι δυο παραπάνω κατηγορίες κωδικοποίησης δεν αποκλείουν η μια την άλλη. Υπάρχουν αλγόριθμοι που συνδυάζουν τεχνικές και των δυο κατηγοριών για να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα.

## 2.3 Τα MPEG πρότυπα

Τα αρχικά MPEG προέρχονται από τις λέξεις Moving Picture Experts Group. Πρόκειται για μία επιτροπή που δρα στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού τυποποίησης<sup>[19]</sup>. Ιδρύθηκε το 1988 και ο συντονιστής της επιτροπής MPEG είναι ο Leonardo Chiariglione γνωστός ως ο «πατέρας» του MPEG.

Το όνομα MPEG έχει επικρατήσει όμως να αναφέρεται και στην οικογένεια των τυποποιήσεων (standards) που δημιουργήθηκαν από την ομάδα MPEG και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση οπτικών και ηχητικών δεδομένων σε ψηφιακή συμπιεσμένη μορφή. Τα πιο γνωστά standards της οικογένειας MPEG είναι τα MPEG-1, MPEG-2 και το MPEG-4.

Κάθε ένα από αυτά στοχεύει σε εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας και εύρους ζώνης και εκτός από τεχνικές συμπίεσης κινούμενης εικόνας περιέχει και ένα κομμάτι που αναφέρεται στην συμπίεση του ήχου. Οι τεχνικές συμπίεσης ήχου δεν περιορίζονται στη φωνή αλλά είναι σχεδιασμένες γενικότερα για την μουσική.

### 2.3.1 MPEG-1

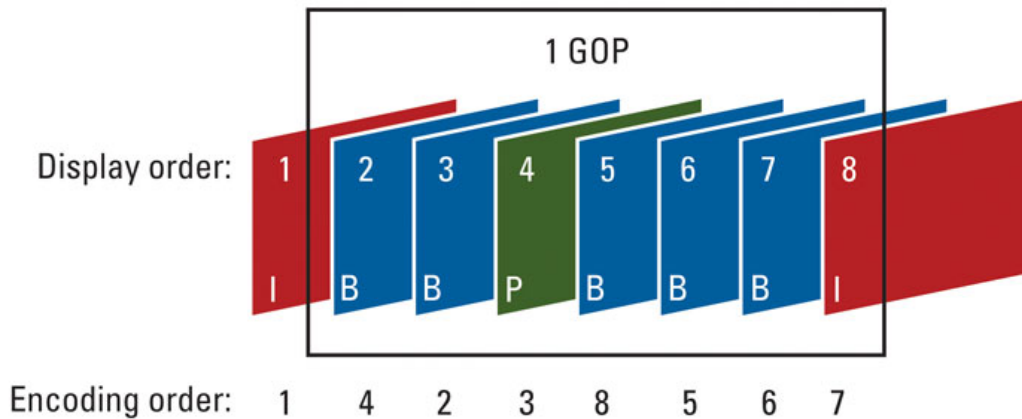
Η βασική τεχνική συμπίεσης MPEG-1 βασίζεται στη δομή των μακροτμημάτων, στην αντιστάθμιση της κίνησης και στην υποθετική αντικατάσταση των μακροτμημάτων. Στη διαδικασία αυτή η ακολουθία χωρίζεται σε ομάδες εικόνων, όπου σε κάθε εικόνα διακρίνουμε κάποια τμήματα (blocks). Μια συλλογή τμημάτων δίνει τα μακροτμήματα. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι πλαισίων.

Η ακολουθία αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη κωδικοποιημένων εικόνων, το Intra-coded (I-frames) όπου κωδικοποιούνται ως διακριτά καρέ χωρίς αναφορά σε κάποιο προηγούμενο ή επόμενο καρέ. Το Predictive-coded (P-frames) για τα καρέ αυτά εφαρμόζεται αντιστάθμιση κίνησης με αναφορά σε προηγούμενα καρέ. Ολοκληρώνοντας έχουμε το Bidirectionally-predictive-coded (B-frames) όπου για τα καρέ αυτά εφαρμόζεται αντιστάθμιση κίνησης με αναφορά σε προηγούμενα και επόμενα I- ή P-frames.

Το πρώτο καρέ της ακολουθίας κωδικοποιείται σύμφωνα με τη μέθοδο Intra. Στον κωδικοποιητή ο μετασχηματισμός DCT εφαρμόζεται σε κάθε 8x8 τμήμα φωτεινότητας και χρωματικότητας. Στη συνέχεια η έξοδος υφίσταται κβάντιση και τα βάρη που προκύπτουν μεταδίδονται στο λήπτη. Η DC συνιστώσα βάρους απεικονίζει τη μέση ένταση του τμήματος και κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας μια διαφορετική μέθοδο DC πρόβλεψης. Αντίθετα οι μη μηδενικές τιμές ανιχνεύονται με τη μέθοδο 'zig-zag' και κωδικοποιούνται σύμφωνα με μεθόδους της εντροπίας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα I-frames έχουν το χειρότερο λόγο συμπίεσης από τις τρεις μορφές, τα P-frames καταλήγουν σε ένα λογικό μέγεθος κωδικοποιημένου καρέ ενώ τα B-frames προσφέρουν το μεγαλύτερο βαθμό συμπίεσης. Οι τρεις αυτές μορφές συνδυάζονται ώστε να δώσουν μια εύκαμπτη ακολουθία που προσαρμόζεται



στις ανάγκες της εφαρμογής. Η συμπίεση που τελικά επιτυγχάνεται από το πρότυπο αυτό είναι περίπου 26:1.



Εικόνα 11. Δομή ενός GOP

Το ηχητικό κομμάτι του MPEG-1 δεν αποτελεί έναν αλγόριθμο συμπίεσης, αλλά μια οικογένεια τριών διαφορετικών τεχνικών κωδικοποίησης και συμπίεσης ήχου. Αυτές οι οικογένειες ονομάζονται MPEG-Audio Layer-1, Layer-2, Layer-3. Και οι τρεις αυτές τεχνικές στηρίζονται στην ίδια αρχή: η συμπίεση γίνεται συνδυάζοντας ένα είδος κωδικοποίησης μετασχηματισμού και sub-band διαχωρισμό. Οι διαφορές αυτών των τριών στρώματων εντοπίζονται στο τελικό στάδιο της κβαντοποίησης.

Το MPEG-1 προβλέπει δύο ηχητικά κανάλια. Αυτά μπορούν να είναι απλά (μονοφωνικά), διπλά (δύο μονοφωνικά κανάλια), απλά στερεοφωνικά (ένα κανάλι μεταφέρει το αριστερό ηχητικό σήμα και το άλλο το δεξί) ή από κοινού στερεοφωνικά (το ένα κανάλι μεταφέρει το άθροισμα και το άλλο τη διαφορά των σημάτων). Το πρότυπο χρησιμοποιεί 16bits για την κωδικοποίηση των δειγμάτων. Υπάρχουν τρία στρώματα όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Το MPEG-Audio Layer-1 το οποίο επιτρέπει την κατασκευή πολύ απλών κωδικοποιητών και αποκωδικοποιητών θυσιάζοντας βέβαια ένα μέρος της ποιότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ηχητική ποιότητα να είναι μέτρια ενώ το bandwidth που απαιτείται να είναι αυξημένο σε 192 ή 256Kbps ανά κανάλι. Έπειτα ακολουθεί το MPEG-Audio Layer-2 όπου ο αλγόριθμος αυτής της κατηγορίας έχει βελτιστοποιηθεί για ένα εύρος ζώνης 96 ή 128Kbps ανά μονοφωνικό κανάλι και η ποιότητα είναι παρόμοια με εκείνη ενός CD. Τέλος, έχουμε το MPEG-Audio Layer-3, το οποίο έχει την καλύτερη επίδοση από τα τρία στρώματα. Η ποιότητα του δεν είναι εφάμιλλη με εκείνη ενός CD, αλλά εξίσου καλή. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι ότι απαιτεί μόνο 64Kbps. Σε σύγκριση με MPEG-Audio Layer-2 στα 64Kbps λειτουργεί πολύ καλύτερα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά τα στρώματα έχουν προς τα πίσω συμβατότητα, δηλαδή μια συσκευή MPEG-Audio Layer-3 αποκωδικοποιεί και δεδομένα κωδικοποιημένα κατά MPEG-Audio Layer-1 ή 2.

### 2.3.2 MPEG-2

Το MPEG-2 έχει ως στόχο τη μετάδοση της εικόνας μέσω της ψηφιακής τηλεόρασης και του βιντεοτηλεφώνου κάνοντας χρήση οπτικών ινών, δορυφορικών καναλιών, ISDN και άλλων δικτύων. Το bandwidth που απαιτεί βρίσκεται στα 3-10 Mbps. Η βασική επέκταση που επέρχεται στο MPEG-1 είναι η εισαγωγή διακριτών surround-sound καναλιών καθώς και μερικών καναλιών χαμηλής ταχύτητας για σχολιασμό ή υποστήριξη πολλών γλωσσών. Η βασική ανάλυση της εικόνας ακολουθεί το τηλεοπτικό πρότυπο NTSC δηλαδή τα 704x480 pixels ή το PAL στα 704x576 pixels και υποστηρίζει εικόνα πλεκτής σάρωσης. Εφαρμόζεται στην καλωδιακή τηλεόραση, στη δορυφορική τηλεόραση και στην επίγεια τηλεόραση. Επίσης χρησιμοποιείται στην αποθήκευση κινηματογραφικών ταινιών στα DVD. Η δημιουργία του MPEG-3 αν και στόχευε αρχικά σε διάφορες εφαρμογές της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας, αργότερα ενσωματώθηκε στο MPEG-2.

### 2.3.3 MPEG-4

Η ανάπτυξη των πολυμέσων στο χώρο του διαδικτύου οδήγησε την ομάδα MPEG στην ανάπτυξη αυτού του προτύπου. Το MPEG-4 παρέχει μεθόδους συγχρονισμού των δεδομένων πριν τη μετάδοση για την επίτευξη του επιθυμητού QoS και επιτρέπει το διαλογικό χειρισμό της σκηνής στην κονσόλα του δέκτη. Έτσι επιτρέπει έναν συνδυασμό των διαφόρων συνιστωσών σε μια πολυμεσική εφαρμογή και υποστηρίζει την κωδικοποίηση αντικειμένων με διαβάθμιση τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Το MPEG-4 αποτελεί ένα standard αλγορίθμου συμπίεσης γραφικών και βίντεο ο οποίος είναι βασισμένος στα MPEG-1, MPEG-2 και στη τεχνολογία του QuickTime της Apple. Η πρώτη έκδοση εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 1998, ενώ η δεύτερη έκδοση σταμάτησε το Δεκέμβριο του 1999 και ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2000. Μετά από αυτές τις κύριες εκδόσεις, προστέθηκαν κι άλλα εργαλεία, δηλαδή μικρές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να θεωρηθούν σαν εκδόσεις και η εξέλιξη του προτύπου συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

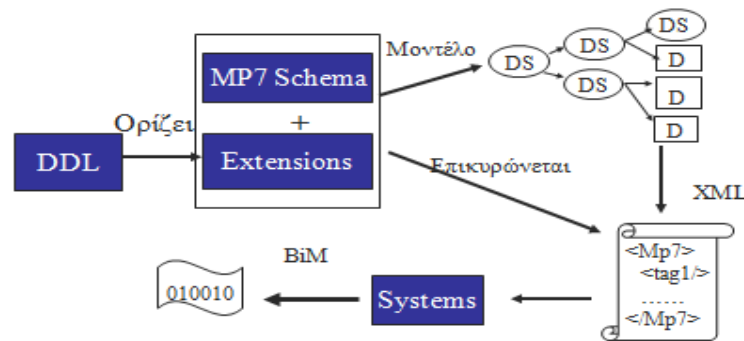
Δεν είναι τόσο σημαντική η αναγνώριση των εκδόσεων, όσο ο διαχωρισμός των προφίλ του προτύπου. Το προφίλ είναι πολύ σημαντικό γιατί η τεχνολογία προστίθεται πάντα στο MPEG-4 σε μορφή νέων προφίλ. Η δεύτερη έκδοση είναι συμβατή επέκταση της πρώτης και η τρίτη είναι συμβατή επέκταση της δεύτερης και ούτω καθεξής. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι οι εκδόσεις μεταξύ τους αλληλοσυνδέονται και δεν υπάρχει κάποια αλλαγή, παρά μόνο προστίθενται νέα προφίλ που δεν αντικαθιστούν τα ήδη υπάρχοντα.

### 2.3.4 MPEG-7

Το MPEG-7 είναι ένα standard κωδικοποίησης με αναπαράσταση περιεχομένου, για την αναζήτηση πληροφοριών σε εφαρμογές πολυμέσων. Το MPEG-7 καθορίζεται από ένα σύνολο ψηφιακών περιγραφών και σχημάτων περιγραφής, μέσω των οποίων καθίσταται εφικτή η περιγραφή του ψηφιακού περιεχομένου μη λεκτικής πληροφορίας όπως χρώμα, κίνηση κάμερας, βίντεο τρισδιάστατων μοντέλων κλπ. Για κάθε τύπο πληροφορίας υπάρχουν και οι αντίστοιχοι βασικοί περιγραφείς οι οποίοι συνδυαζόμενοι μεταξύ τους παράγουν πιο σύνθετους περιγραφείς.

Ωστόσο, σε περίπτωση που οι υπάρχον περιγραφείς και ο συνδυασμός τους (σχήματα περιγραφής) δεν ικανοποιούν τις ανάγκες χαρακτηρισμού του περιεχομένου μιας μη λεκτικής πληροφορίας υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστεί ένας νέος τύπος περιγραφής. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της γλώσσας ορισμού περιγραφής που προβλέπει το πρότυπο του MPEG-7 και συντάσσεται κατά τα πρότυπα της γλώσσας XML. Τα δεδομένα είτε είναι αποθηκευμένα μαζί με το πολυμεσικό υλικό, είτε είναι τοποθετημένα σε Βάση Δεδομένων μακριά του, χρησιμοποιώντας την γλώσσα DDL ή την BiM, που είναι μια τυποποιημένη μέθοδος για την κωδικοποίηση δεδομένων σε δυαδική μορφή βασισμένη στα πρότυπα της γλώσσας XML. Επειδή τα δεδομένα που περιέχει ένα bitstream είναι σε δυαδική μορφή, είναι απαραίτητη μια μέθοδος κωδικοποίησης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να μεταφραστεί σε μια μορφή που αναγνωρίζεται από τον άνθρωπο για την εισαγωγή δεδομένων και την ανάκτησή τους.

Οι περιγραφείς ορίζουν τη σύνταξη και τη σημασιολογία της αναπαράστασης των χαρακτηριστικών των αντικειμένων, ενώ τα περιγραφικά σχήματα προδιαγράφουν τη δομή και τη σημασιολογία των σχέσεων μεταξύ των περιγραφών. Το πρότυπο ορίζει δύο παράλληλα επίπεδα περιγραφής τα οποία είναι το συντακτικό, που περιγράφει τις ιδιότητες του περιεχομένου, όπως το χρώμα και η κίνηση των χωροχρονικών τμημάτων, και το σημασιολογικό, που περιγράφει τη σημασία του περιεχομένου σε σχέση με τα σημασιολογικά αντικείμενα και γεγονότα.



Εικόνα 12. Το πρότυπο MPEG -7

### 2.3.5 MPEG-21

Η ανάπτυξη του προτύπου MPEG-21 είναι σε εξέλιξη, σε συνέχεια του MPEG-7, στοχεύοντας στην εύκολη πρόσβαση κάποιου οπουδήποτε και αν βρίσκεται σε όσες πολυμεσικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες. Στόχος του MPEG-21 είναι και να συνδέσει το MPEG-7 με τις εξελίξεις στο πεδίο του Semantic Web, με συμβατότητα της γλώσσας XML με την RDF. Τα πρότυπα MPEG-7 και MPEG-21 είναι πρόσθετα εργαλεία, που επεκτείνουν τη λειτουργικότητα των προτύπων MPEG. Το MPEG-4 έχει άσπογη συνεργασία με τα δύο αυτά πρότυπα. Οι περιγραφές και τα μεταδιδόμενα του MPEG-7 μπορούν να μεταφερθούν με το MPEG-4 και οι προδιαγραφές του MPEG-21 γράφονται για να συμπληρώσουν την παρουσίαση του περιεχομένου του MPEG-4.

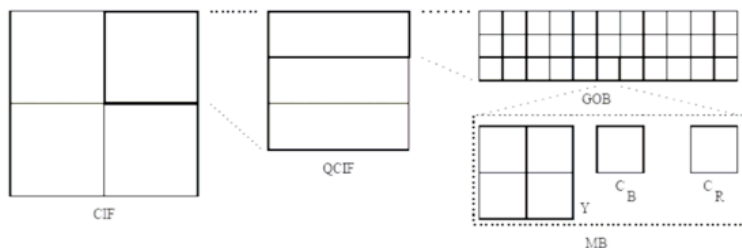
## 2.4 Το πρότυπο H.261

Το H.261 πρότυπο αναπτύχθηκε με στόχο τις εφαρμογές βιντεοδιάσκεψης και βιντεοτηλεφωνίας πάνω από δίκτυα ISDN. Το πρότυπο H.261 δεν υποστηρίζει οποιαδήποτε ανάλυση εικόνας. Οι μόνες αναλύσεις<sup>[21]</sup> που υποστηρίζονται είναι οι CIF (Common Intermediate Format) και QCIF (Quarter CIF), που αντιστοιχούν σε ανάλυση του σήματος φωτεινότητας  $352 \times 288$  και  $176 \times 144$  εικονοστοιχεία αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις τα δύο σήματα χρωμικότητας έχουν ακριβώς τη μισή οριζόντια και κάθετη ανάλυση του σήματος φωτεινότητας.

Έτσι, ένα δείγμα καθενός από τα δύο σήματα χρωμικότητας αποθηκεύεται για κάθε τέσσερα δείγματα του σήματος φωτεινότητας. Ο μέγιστος ρυθμός εικόνας που υποστηρίζεται είναι 29.97 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, ο οποίος όμως μπορεί να ελαττωθεί, αν αυτό είναι απαραίτητο, απορρίπτοντας μέχρι και τρία πλαίσια ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι κωδικοποιημένων και μεταδιδόμενων πλαισίων. Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης του προτύπου H.261 βασίζεται στην συμπίεση της εικόνας με μετασχηματισμό διακριτού συνημιτόνου (DCT). Μετασχηματισμός ανάλογος του μετασχηματισμού Fourier με τη διαφορά ότι οδηγεί σε πραγματικούς και όχι μιγαδικούς συντελεστές, καθώς και στην πρόβλεψη μεταξύ πλαισίων με αντιστάθμιση κίνησης. Τα δεδομένα κάθε εικόνας υφίστανται επεξεργασία σε μακροομάδες (macroblocks), όπου η κάθε μακροομάδα αποτελείται από τέσσερις ομάδες των  $8 \times 8$  δειγμάτων φωτεινότητας και μια ομάδα  $8 \times 8$  δειγμάτων από κάθε σήμα χρωμικότητας.

Υπάρχουν δύο τρόποι κωδικοποίησης: η ενδοκωδικοποίηση (intracoding), όπου δεν χρησιμοποιείται πρόβλεψη κίνησης, και η μεσοκωδικοποίηση (intercoding), όπου χρησιμοποιείται πρόβλεψη κίνησης. Εννοείται ότι όλες οι μακροομάδες του πρώτου πλαισίου σε μια ακολουθία εικόνων κωδικοποιημένων κατά H.261 πρέπει να είναι ενδοκωδικοποιημένες, εφόσον δεν υπάρχουν προηγούμενα πλαίσια από τα οποία γίνεται πρόβλεψη.

Ο αλγόριθμος του H.261 περιέχει ένα μηχανισμό, ο οποίος βελτιστοποιεί τη χρήση του εύρους ζώνης, κάνοντας μια ανταλλαγή μεταξύ ποιότητας εικόνας και κίνησης έτσι ώστε μια γρήγορα μεταβαλλόμενη εικόνα να έχει χαμηλότερη ποιότητα από μια σχετικά στατική εικόνα. Έτσι, το H.261 είναι μια κωδικοποίηση με σταθερό ρυθμό δεδομένων, και όχι μια κωδικοποίηση με σταθερή ποιότητα εικόνας. Ο βαθμός συμπίεσης που μπορεί να επιτευχθεί με την κωδικοποίηση H.261 είναι από 100:1 μέχρι και 2000:1. Το κυριότερο μειονέκτημα της είναι η φτωχή ποιότητα του αποκωδικοποιημένου video, ειδικά σε χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων.



Εικόνα 13. Η σύνθεση ενός H.261 CIF

## 2.5 Το πρότυπο H.263

Το πρότυπο H.263 αποτελεί την μετεξέλιξη του H.261 και σαν στόχο είχε αρχικά την μεταφορά video μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN) δηλαδή με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μικρότερων των 30Kbps. Το H.263 υποστηρίζει και άλλες αναλύσεις πέραν των CIF και QCIF. Συγκεκριμένα, υποστηρίζονται οι αναλύσεις SQCIF (Sub-QCIF), 4CIF και 16CIF που αντιστοιχούν σε  $128 \times 96$ ,  $704 \times 576$  και  $1408 \times 1152$  εικονοστοιχεία, αντίστοιχα. Η βασική φιλοσοφία του προτύπου H.263 είναι ίδια με αυτή του H.261. Υπάρχουν βέβαια ορισμένα επιπλέον στοιχεία και βελτιώσεις για την καλύτερη απόδοση, όπως η δυνατότητα χρήσης πρόβλεψης μισού εικονοστοιχείου για την αντιστάθμιση της κίνησης, η χρήση ανεξέλεγκτων διανυσμάτων κίνησης. Επίσης, η δυνατότητα χρήσης αριθμητικής κωδικοποίησης και η χρήση πλαισίων που προβλέπονται από δύο κατευθύνσεις, δηλαδή από προηγούμενα και επόμενα πλαίσια. Έχει αποδειχθεί ότι το σύστημα H.263 υπερτερεί του H.261 με έναν λόγο 2,5 προς 1. Δηλαδή για ίδια ποιότητα εικόνας, ο ρυθμός δεδομένων του H.263 είναι 2,5 φορές μικρότερος από αυτού του H.261.

## 2.6 Το πρότυπο H.264

Το πρότυπο H.264 χρησιμοποιεί για υψηλή ποιότητα streaming και video on demand. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μέσω του πρωτοκόλλου IP. Σχεδιασμένο να συμπιέζει και να αποσυμπιέζει ψηφιακό βίντεο, το H.264 χρησιμοποιείται για να μειώσει το εύρος ζώνης που απαιτείτε για τη μετάδοση και αποθήκευση βίντεο, προσφέροντας νέες δυνατότητες για μείωση του κόστους και αύξηση της αποτελεσματικότητας. Σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ανάλυση και υψηλό ρυθμό καρέ όπως στη βιομηχανία παιχνιδιών, στα αεροδρόμια και στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας, το πρότυπο H.264 κάνει τη διαφορά και προσφέρει μεγάλη εξοικονόμηση μειώνοντας το εύρος ζώνης και τις ανάγκες αποθήκευσης. Το H.264 αναμένεται να αποτελέσει το κύριο πρότυπο βίντεο τα επόμενα χρόνια καθώς το H.264 μπορεί να μειώσει το μέγεθος του εγγεγραμμένου βίντεο περισσότερο από 80% σε σύγκριση με τη μορφή JPEG κίνησης και 50% σε σύγκριση με το παραδοσιακό πρότυπο MPEG-4.

## 2.7 Το πρότυπο JPEG

Το JPEG ή JFIF είναι ένα πρότυπο απωλεστικής συμπίεσης εικόνων. Δημιουργήθηκε από την ομάδα Joint Photographic Experts Group-JPEG από την οποία πήρε και το όνομα του. Λόγω του μικρού μεγέθους αρχείου που μπορεί να προκύψει με αυτή τη μέθοδο συμπίεσης, χρησιμοποιείται κυρίως σε ιστοσελίδες και σε φωτογραφικές μηχανές. Σε υψηλές αναλύσεις μία εικόνα η οποία δεν έχει συμπεστεί μπορεί να χρησιμοποιεί ως και 100MB χώρου ενώ σε μορφή JPEG χρησιμοποιεί περίπου 3MB. Λόγω του ότι το JPEG αφορά απωλεστική συμπίεση, εμφανίζονται ατέλειες στην εικόνα. Ανάλογα με το επίπεδο συμπίεσης που θα επιλεγεί (0 έως 100) αυξάνεται ή μειώνεται η ποιότητα της εικόνας μαζί με το μέγεθος του αρχείου.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών ατέλειες στην εικόνα JPEG. Μια ατέλεια είναι ο χωρισμός της εικόνας σε τετράγωνα  $8 \times 8$  pixels. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται "macroblocking". Άλλες ατέλειες είναι η χρωματική παραμόρφωση, η παραμόρφωση

των άκρων της εικόνας και η ανομοιομορφία των χρωμάτων (τα χρώματα δεν είναι συμπαγή και αναμειγνύονται στις άκρες του αντικειμένου που απεικονίζεται).

Ωστόσο, οι απώλειες αυτές δεν είναι, τις περισσότερες φορές, ορατές, εφόσον η απεικόνιση γίνεται σε οθόνη υπολογιστή. Αρχίζουν να εμφανίζονται όταν ο λόγος συμπίεσης μεγαλώσει αρκετά, περισσότερο από 60%, και η απεικόνιση γίνεται μέσω βιντεοπροβολέα σε μεγάλων διαστάσεων οθόνη. Οι εικόνες JPEG δεν είναι κατάλληλες για χρήση σε εκτυπωτικές εργασίες σε τυπογραφείο ή μεγάλων διαστάσεων σχεδιογράφους και η χρήση τους σε αυτές τις περιπτώσεις αποφεύγεται.

Η κωδικοποίηση JPEG επιτυγχάνει χαρακτηριστικά συμπίεση από μία αρχική κλίμακα 10:1 έως μία υψηλότερη 20:1. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι όσο υψηλότερα είναι τα ποσοστά της συμπίεσης τόσο χειρότερη είναι η ποιότητα της εικόνας. Μια ποιοτική παράμετρος, η οποία διαμορφώνεται από τον χρήστη είναι συνήθως διαθέσιμη και επιτρέπει ανταλλαγές μεταξύ συμπίεσης και ποιότητας ώστε να καταφέρει ο καθένας αυτό που χρειάζεται στην εκάστοτε εφαρμογή.

## 2.8 Το πρότυπο JPEG2000

Το πρότυπο JPEG2000 αντιπροσωπεύει τις πιο σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία συμπίεσης εικόνας και είναι βελτιστοποιημένο όχι μόνο ως προς την απόδοση αλλά και ως προς τη δυνατότητα παροχής κλιμακούμενων υπηρεσιών και διαλειτουργικότητας ανάμεσα σε δικτυακά περιβάλλοντα και mobile εφαρμογές. Με την εξάπλωση του Internet και την ευρεία χρήση ψηφιακών εικόνων, το JPEG2000 μοιάζει ένα πανίσχυρο εργαλείο στα χέρια των σχεδιαστών και των χρηστών δικτυακών εφαρμογών. Το πρότυπο JPEG2000 περιλαμβάνει μια σειρά από εξελιγμένα χαρακτηριστικά που αφορούν πολλές προηγμένες αλλά και αναδυόμενες εφαρμογές, εκμεταλλευόμενο πλήρως τις νέες τεχνολογίες.

Αντιμετωπίζει με επιτυχία περιπτώσεις τις οποίες τα σημερινά πρότυπα αποτυγχάνουν να πετύχουν την μέγιστη ποιότητα ή απόδοση και παρέχει νέες δυνατότητες σε αγορές που μέχρι σήμερα δεν χρησιμοποιούσαν τεχνολογία συμπίεσης. Οι εφαρμογές και οι αγορές που εξυπηρετούνται καλύτερα από το νέο πρότυπο είναι το Internet, η έγχρωμη τηλεομοιοτυπία, οι εκτυπώσεις, οι σαρώσεις, η ψηφιακή φωτογραφία, τα κινητά, οι ιατρικές εικόνες, οι ψηφιακές βιβλιοθήκες και τα αρχεία, το ηλεκτρονικό εμπόριο κ.α.

Το πλεονέκτημα του προτύπου JPEG2000 σε σχέση με το JPEG είναι ότι το JPEG 2000 είναι σε θέση να προσφέρουν υψηλότερες αναλογίες συμπίεσης για lossy συμπίεση. Για τη συμπίεση με απώλειες, τα δεδομένα έχουν δείξει ότι το JPEG2000 μπορεί να συμπίεσει εικόνες συνήθως από 20% -200% περισσότερο από ό, τι το JPEG.



JPEG



JPEG 2000

Εικόνα 14. Η σύγκριση δύο εικόνων χρησιμοποιώντας JPEG και JPEG2000

## Κεφάλαιο 3:

### Συστήματα ψηφιακής τηλεόρασης

#### 3.1 Το σύστημα DVB

Το DVB (Digital Video Broadcasting)<sup>[16]</sup> είναι ένας οργανισμός που δημιουργήθηκε το 1993 για να δημιουργήσει και να προτείνει τυποποιημένες διαδικασίες για την ψηφιακή τηλεόραση. Είναι μια πρωτοβουλία ανοικτού μελών που κυβερνάται από ένα μνημόνιο συμφωνίας. Μέχρι το τέλος του 1990, η ψηφιακή τηλεοπτική μετάδοση στο σπίτι ήταν μια ανέφικτη και πολύ δαπανηρή εφαρμογή. Αυτό το γεγονός αλλάζει το 1991, όταν οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς και οι κατασκευαστές καταναλωτικού εξοπλισμού συζήτησαν για το πώς να σχηματίσουν μια συντονισμένη πανευρωπαϊκή πλατφόρμα για την ανάπτυξη της επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης. Στο τέλος του ίδιου έτους, οι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς και οι κατασκευαστές καταναλωτικών ηλεκτρονικών εξοπλισμών αποφάσισαν το σχηματισμό μιας ομάδας που θα επιβλέπει την ανάπτυξη της ψηφιακής τηλεόρασης στην Ευρώπη. Αυτή η ομάδα ήταν η λεγόμενη European Launching Group (ELG), η οποία συνέταξε το μνημόνιο συμφωνίας για την διατύπωση των κανόνων που θα ίσχυαν. Το μνημόνιο υπεγράφη από όλους τους συμμετέχοντες της ELG τον Σεπτέμβριο του 1993, και η ίδια η ομάδα μετονομάστηκε σε Digital Video Broadcasting Project (DVB).

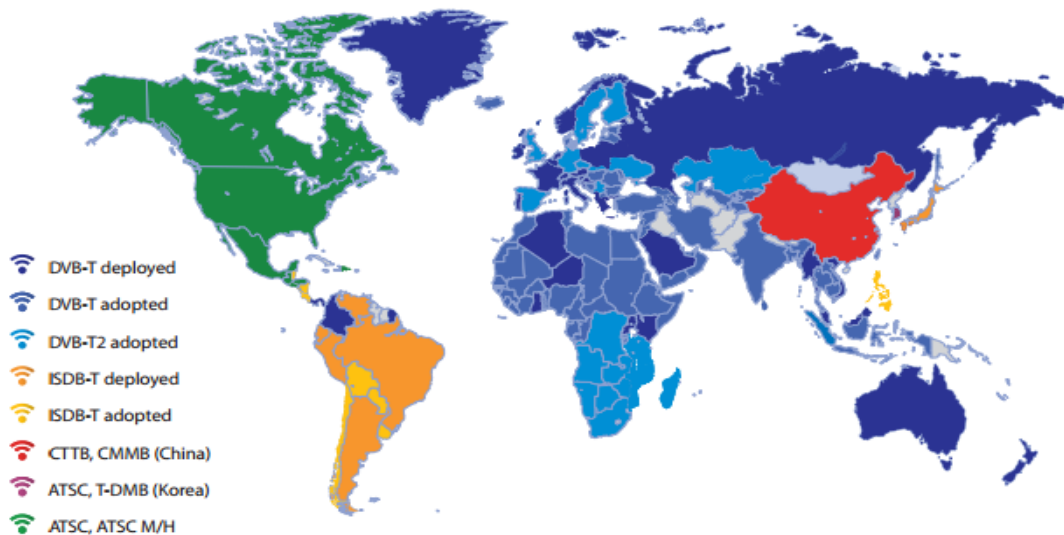
Στις μέρες μας, η ομάδα DVB αποτελείται πάνω από 270 ιδρύματα και εταιρείες σε όλο τον κόσμο. Τα προτεινόμενα πρότυπα είναι ευρέως αποδεκτά στην Ευρώπη και σχεδόν σε όλες τις ηπείρους, με εξαίρεση τις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά και την Ιαπωνία, όπου συνυπάρχουν με άλλα ιδιόκτητα συστήματα. Όλες οι διαδικασίες κωδικοποίησης του βίντεο και του ήχου γίνονται με βάση τα πρότυπα που καθορίζονται από το MPEG.

Το σύστημα DVB έχει αναπτύξει διάφορα πρότυπα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος εκπομπής. Τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα πρότυπα σήμερα είναι το σύστημα DVB-S και το σύστημα DVB-C μετάδοσης που περιλαμβάνουν ψηφιακά τηλεοπτικά σήματα μέσω δορυφόρου και καλωδίου αντίστοιχα. Η ψηφιακή τηλεοπτική μετάδοση πάνω από τα επίγεια δίκτυα διανομής προβλέπεται να χρησιμοποιεί τις UHF συχνότητες για το σύστημα DVB-T, το οποίο έχει τεθεί σε εφαρμογή στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες και όχι μόνο. Εκτός από τα πρότυπα αυτά καθορίζονται επίσης τα συστήματα διανομής ψηφιακών τηλεοπτικών σημάτων σε πολλαπλά δίκτυα, τα συστήματα SMATV (Satellite Master Antenna Television), με τα συστήματα αυτά επανεκπέμπονται τοπικά τα σήματα των συστημάτων DVB-S και DVB-C.

Το πρόγραμμα DVB περιλαμβάνει για την ψηφιακή τηλεόραση τα εξής επιμέρους συστήματα, τα οποία θα τα αναλύσουμε στην συνέχεια εκτενέστερα<sup>[17]</sup>:

- Το σύστημα DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) είναι ένα επίγειο σύστημα εκπομπής βίντεο για περιοχές συχνοτήτων UHF. Οι προδιαγραφές του συστήματος αυτού έχουν ήδη εγκριθεί. Το σύστημα λειτουργεί ήδη σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες και σε άλλα μέρη του κόσμου. Οριστικοποιήθηκε το 1997. Το εύρος ανά κανάλι είναι στα 8MHz και το εύρος δεδομένων είναι στα 38Mbps.
- Το σύστημα DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2) εφαρμόζεται για την μετάδοση επίγειων ψηφιακών σημάτων. Οριστικοποιήθηκε το 2008 και είναι η επόμενη γενιά του προτύπου DVB-T.

- Το σύστημα DVB-S (Digital Video Broadcasting – Satellite) είναι ένα σύστημα δορυφορικής εκπομπής για την περιοχή συχνοτήτων 11/12 GHz. Λειτουργεί ήδη και οι προδιαγραφές του έχουν ήδη εγκριθεί.
- Το σύστημα DVB-S2 (Digital Video Broadcasting – Satellite 2) είναι η προδιαγραφή για την έκδοση 2ης γενιάς του ψηφιακού δορυφορικού συστήματος DVB-S.
- Το σύστημα DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) είναι ένα σύστημα καλωδιακής εκπομπής εστιασμένο σε καλωδιακά κανάλια των 8 MHz αλλά το εύρος δεδομένων παραμένει στα 38Mbps. Λόγω της απαίτησης ενσύρματου δικτύου η μετάδοση ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος πραγματοποιείται μέσω του πρότυπου DVB-C. Μέχρι σήμερα είναι αδύνατη η χρήση του στην Ελλάδα, όμως το σύστημα λειτουργεί ήδη σε καλωδιακά κανάλια της Γερμανίας.
- Το σύστημα DVB-C2 (Digital Video Broadcasting – Cable 2) θεωρείται ο διάδοχος του DVB-C, θα χρησιμοποιηθεί αρχικά για την παροχή νέων καινοτόμων υπηρεσιών, όπως για video on demand (VOD) και της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV).
- Το σύστημα DVB-H (Digital Video Broadcasting – Handheld) είναι μια προσαρμογή του DVB-T προτύπου βασισμένο στις απαιτήσεις των κινητών τερματικών και τις φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν μπαταρίες. Παρά το γεγονός ότι οι προδιαγραφές του συστήματος έχουν εγκριθεί, δεν έχει επικρατήσει καθώς ανταγωνίζεται η τεχνολογία DMB.
- Το σύστημα DVB-SH ( Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds) έχει σχεδιαστεί για συχνότητες κάτω από τα 3 GHz, υποστηρίζοντας ζώνη UHF, L- band ή S-band με σκοπό την συμπλήρωση και βελτίωση του υπάρχοντος DVB-H προτύπου.



Εικόνα 15 . Η παγκόσμια κατάσταση της ψηφιακής τηλεόρασης



## 3.2 Το σύστημα DVB –T

Το πρότυπο DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) είναι το πρότυπο της Ευρωπαϊκής κοινοπραξίας DVB για τη μετάδοση του επίγειου ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος. Η πρώτη έκδοση του προτύπου δημοσιεύθηκε τον Μάρτιο του 1997 και από τότε έχει γίνει το σύστημα που εφαρμόζεται περισσότερο στον κόσμο. Εδώ και χρόνια έχει αρχίσει να λειτουργεί με επικεφαλής τις μεγάλες χώρες, όπως την Αγγλία, Γαλλία και Γερμανία, ενώ όλες οι χώρες είναι υποχρεωμένες να ακολουθήσουν αυτό το ρεύμα μέχρι το 2012. Το 2012 ήταν δηλαδή το έτος που θα έπρεπε να διακόψουν την λειτουργία τους όλοι οι αναλογικοί πομποί τηλεόρασης, ώστε να παραχωρηθούν οι συχνότητες προκειμένου να καταλειφθούν από άλλες υπηρεσίες. Κάτι τέτοιο όμως δεν έχει συμβεί ακόμη στην Ελλάδα. Μάλιστα πολλές χώρες έχουν ήδη ολοκληρώσει την μετάβασή τους από την αναλογική τηλεόραση στην επίγεια ψηφιακή, περίπου από το 2008, αφού ήδη καλύπτουν ψηφιακά ολόκληρη την επικράτεια τους. Η αντικατάσταση της κλασσικής αναλογικής τηλεόρασης από την επίγεια ψηφιακή τηλεόραση θα ολοκληρωθεί στα αμέσως επόμενα χρόνια.

Η εφαρμογή καινούργιων τεχνικών συμπύεσης των ψηφιακών σημάτων επιτρέπει την δραματική μείωση του απαιτούμενου εύρους ζώνης για την μετάδοση ενός σήματος με αποτέλεσμα περισσότερα προγράμματα να μπορούν να μεταδοθούν στο ήδη υπάρχον διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων. Έτσι θα μεταβούμε στην εποχή στην οποία θα υπάρχει μόνο η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση, και έτσι θα μπορέσει η Ευρώπη να αξιοποιήσει τις πολλές δυνατότητες που της παρέχει το πρότυπο DVB-T. Παράλληλα θα καταφέρει να μεγιστοποιήσει την αποτελεσματική χρήση όλου του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση. Θα πρέπει όμως να υπάρξει ένα σχέδιο για την εξολοκλήρου μετάβαση στην ψηφιακή τηλεόραση. Παρόλο που οι συμφωνίες που ισχύουν μέχρι σήμερα για τον σχεδιασμό της τηλεόρασης δεν επαρκούν για την εξολοκλήρου μετάβαση στην ψηφιακή εποχή.

Σήμερα, η ανάπτυξη της ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης συνεχίζεται με ταχείς ρυθμούς της τάξεως του 60% ετησίως. Οι εξελίξεις οδηγούνται κυρίως από τις αναπτυσσόμενες αγορές της δυτικής Ευρώπης, ενώ οι ανατολικές βρίσκονται στα πρώτα στάδια, έχοντας περάσει όμως από το στάδιο του σχεδιασμού στη δράση. Στις νεότερες υλοποιήσεις μάλιστα δείχνει να κερδίζει έδαφος το νεότερο MPEG-4 έναντι του MPEG-2. Τα εμπορικά μοντέλα ποικίλουν από χώρα σε χώρα με τις διάφορες εφαρμογές να ταλαντεύονται μεταξύ ελεύθερης και συνδρομητικής τηλεόρασης. Με πακέτα υπηρεσιών που μπορεί να περιλαμβάνουν HDTV και IPTV συνδυασμένα με διάφορους τρόπους.

Οι DVB-T υπηρεσίες έχουν αναπτυχθεί σε 68 χώρες και έχουν υιοθετηθεί σε πάνω από 47 χώρες. Ένας συνδυασμός από εξετάσεις και προηγμένα σχέδια ανάπτυξης φέρνει το πρότυπο DVB-T να έχει εφαρμογή σε πάνω από 120 χώρες. Σε αυτή την ευρεία ανάπτυξη οφείλεται η πώληση δεκτών DVB-T σε πάνω από 200 εκατομμύρια. Το 2006 περισσότερες από 100 χώρες στην Ευρώπη, την Αφρική και τη Μέση Ανατολή συμφώνησαν να αναπτύξουν τελικά το πρότυπο DVB-T (ή το DVB-T2). Οι υπηρεσίες εκκρεμούν στην Ταϊβάν και το Βιετνάμ, και το σύστημα έχει υιοθετηθεί στην Κολομβία, στην Μαλαισία, στην Ινδονησία και αλλού. Μετά από τον Απρίλιο του 2007 στην Νοτιοανατολική Ασία, μία περιοχή με πληθυσμό άνω των 500 εκατομμυρίων ανθρώπων, υιοθετήθηκε το πρότυπο DVB-T. Το 2010 η Νότια Αφρικανική Κοινότητα προσάρμοσε τα 14 κράτη-μέλη της στο πρότυπο DVB-T2.

Σύμφωνα με το πρότυπο DVB-T, για την εκπομπή σήματος απαιτείται πομπός συμβατός με το πρότυπο αυτό. Το πρότυπο DVB-T έχει αρκετά τεχνικά χαρακτηριστικά που το κάνουν ένα αρκετά ευέλικτο σύστημα. Οι προδιαγραφές του DVB-T είναι: η κωδικοποίηση MPEG-2 ή MPEG-4, η μετάδοση κυρίως στη ζώνη UHF, το εύρος ζώνης κυμαίνεται από 6 έως 8MHz, υπάρχουν 4 επιλογές Guard Interval, η διαμόρφωση είναι QPSK, 16QAM, 64QAM με COFDM και οι ρυθμοί μετάδοσης είναι από 4.98 έως 31.67 Mbps.

Η εκπομπή DVB-T<sup>[21]</sup> σήματος γίνεται με μία συμπιεσμένη ψηφιακή οπτικοακουστική ροή δεδομένων, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση COFDM (Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) με QPSK ή QAM. Οι μέθοδοι κωδικοποίησης πηγής είναι το MPEG-2 και πιο πρόσφατα το MPEG-4. Για το σήμα του DVB-T χρησιμοποιούνται επίσης, διάφοροι κώδικες και μέθοδοι βελτιστοποίησης, όπως ο Reed-Solomon για μπλοκ κωδικοποίηση και ο Viterbi για συνελκτική κωδικοποίηση. Αυτοί εφαρμόζονται για τη μεγαλύτερη σταθερότητα του σήματος παρέχοντας προστασία από μεμονωμένα λάθη ή σύνολο λαθών. Ο δέκτης συνδυάζοντάς τους διορθώνει ακόμη και πληθώρα λαθών που εξαρτάται από το ρυθμό του κώδικα.

Το σύστημα υπηρεσιών επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί στην περιοχή VHF και UHF συχνοτήτων, όπου υπάρχουν και άλλες παρεχόμενες υπηρεσίες από τα άλλα συστήματα PAL, SECAM και NTSC. Κατά συνέπεια, απαιτείται τέτοια σχεδίαση ώστε να υπάρχει επαρκής προστασία ενάντια σε υψηλά επίπεδα ομοδιαυλικής παρεμβολής και παρεμβολής γειτονικού διαύλου. Είναι επίσης ζητούμενο το σύστημα να είναι κατάλληλα σχεδιασμένο, ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη αποδοτικότητα του φάσματος όταν χρησιμοποιείται στις ζώνες VHF και UHF.

Για την επίλυση των πιο πάνω προβλημάτων χρησιμοποιείται η COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division). Αποτελεί ένα ψηφιακό σχήμα διαμόρφωσης πολλών φερόντων, στο οποίο το διατιθέμενο εύρος ζώνης του καναλιού διαιρείται σε έναν αριθμό από ίσου εύρους ζώνης υποκανάλια. Το εύρος ζώνης κάθε υποκαναλιού είναι επαρκώς στενό έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά της απόκρισης συχνότητας των υποκαναλιών να είναι σχεδόν ιδανικά. Για κάθε υποκανάλι χρησιμοποιείται και ένα φέρον σήμα του οποίου η συχνότητα επιλέγεται έτσι ώστε τα φέροντα σήματα να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφεται η παρεμβολή μεταξύ των υποκαναλιών και δε χρειάζονται ενδιάμεσες ζώνες διαχωρισμού ανάμεσά τους.

Αυτό κάνει πολύ πιο εύκολη τη σχεδίαση πομπού και δέκτη, ενώ δεν χρειάζεται ξεχωριστό φίλτρο για κάθε υποκανάλι. Η ορθογωνιότητα επιτρέπει επίσης, υψηλή αποδοτικότητα του φάσματος. Τέλος, για τα σήματα DVB-T κάθε υποφέρον διαμορφώνεται με QPSK ή 16-QAM ή 64-QAM, ενώ υπάρχουν δύο δυνατές καταστάσεις, μετάδοση με 2k ή 8k φέροντα. Στο πρότυπο DVB-T προβλέπεται η υποστήριξη της ιεραρχικής διαμόρφωσης. Στην περίπτωση της ιεραρχικής διαμόρφωσης, το σήμα βασικής ζώνης προϋπάρχει διαιρεμένο σε δύο ρεύματα μεταφοράς. Ένα υψηλής προτεραιότητας και ένα χαμηλής. Τα δύο σήματα διαμορφώνονται ταυτόχρονα σε ένα ιεραρχικό QAM σχήμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ένας δέκτης με κακές συνθήκες λήψης να λαμβάνει μόνο τα δεδομένα υψηλής προτεραιότητας, ενώ ένας με καλύτερες να λαμβάνει το σύνολο. Η λειτουργία ιεραρχικής διαμόρφωσης ασφαλώς παρέχει σημαντική ευελιξία στο σύστημα, ιδίως όταν συνοδευτεί από κλιμακωτή κωδικοποίηση της κινούμενης εικόνας κατά MPEG-4.

### 3.2.1 Η εξέλιξη του DVB-T σε DVB-T2

Ακόμα και αν έχουν περάσει αρκετά χρόνια από τότε που το πρότυπο DVB-T δημοσιεύτηκε (Μάρτιος 1997), αποτελεί σήμερα το πιο ευρέως διαδιδόμενο και χρησιμοποιούμενο πρότυπο στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση. Στην παρούσα φάση όμως ένα νέο πρότυπο της επίγεια ψηφιακής τηλεόρασης φαίνεται να είναι απαραίτητο για την κάλυψη των αναγκών των ραδιοτηλεοπτικών συστημάτων του 21ου αιώνα. Τα κίνητρα των ερευνητών προς την κατεύθυνση αυτή ήταν να αναπτύξουν ένα αναβαθμισμένο πρότυπο σε σχέση με το DVB-T γνωστό ως DVB-T2. Αποτελεί τον διάδοχο του προτύπου DVB-T και έτσι κληρονομεί πολλά χαρακτηριστικά του προκατόχου του προσθέτοντας πολλά επιπλέον.

Το νέο πρότυπο DVB-T2, πρέπει να αναπτυχθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι συμβατό με το προηγούμενο πρότυπο DVB-T, για την επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων υποδομών του δέκτη και τις εγκαταστάσεις του παλαιού προτύπου. Ο πρωταρχικός στόχος του συγκεκριμένου προτύπου είναι η αύξηση της παραγωγικής ικανότητας σε σύγκριση με το DVB-T, παρέχοντας κατά αυτό τον τρόπο παράλληλα υπηρεσίες σε σταθερές και φορητές συσκευές. Πέραν αυτών θα πρέπει να βελτιώσει, την απόδοση σε ενιαία δίκτυα συχνοτήτων. Ένας επιπλέον στόχος είναι να συμπεριλάβει ορισμένες τεχνικές για να μειώσει το PAPR ( Peak to Average Power Ratio), προκειμένου να μειωθεί το κόστος της μετάδοσης. Ενώ τέλος, θα πρέπει να παρέχει ευελιξία στο εύρος ζώνης και στις συχνότητες καθώς και τον μηχανισμό για την παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών.

Η κύρια εμπορική απαίτηση από το DVB-T2 είναι η παροχή τουλάχιστον 30% επιπλέον χωρητικότητας ωφέλιμου φορτίου, σε σχέση με το πρότυπο DVB-T κάτω από όμοιες συνθήκες λήψης. Η κύρια εφαρμογή του DVB-T2 θα είναι να επιτρέψει στους παρόχους να επωφεληθούν από την αυξημένη προσφερόμενη χωρητικότητα με την εκπομπή νέων επίγειων ψηφιακών ευρυεκπομπών ταυτόχρονα με τις ήδη υπάρχουσες DVB-T υπηρεσίες.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του DVB-T2 προτύπου σε σχέση με το πρότυπο DVB-T είναι η κωδικοποίηση video που αλλάζει από MPEG-2 σε MPEG-4. Το MPEG-4 αποτελεί τη νέα κωδικοποίηση video που χρησιμοποιείται για δορυφορικά HDTV κανάλια. Η κωδικοποίηση αυτή είναι περίπου δυο φορές πιο αποδοτική από ότι το MPEG-2, που χρησιμοποιείται για Standard Definition κανάλια. Επιπλέον χρησιμοποιούνται 16k και 32k φέροντα, σε αντίθεση με το πρότυπο DVB-T που χρησιμοποιούνται 2k και 8k. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των φερόντων, τόσο μεγαλύτερα θα είναι τα OFDM σύμβολα. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια την καλύτερη απόδοση του φάσματος, καθώς το διάστημα προστασίας μεταξύ των ωφέλιμων OFDM συμβόλων θα αποτελεί μικρότερο ποσοστό της συνολικής διάρκειας του συμβόλου. Επίσης, ο μεγάλος αριθμός των φερόντων βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, όταν υπάρχουν φαινόμενα ξαφνικών παρεμβολών. Στο πρότυπο DVB-T2 χρησιμοποιείται διαμόρφωση σήματος έως και 256-QAM. Αντιθέτως, στο πρότυπο DVB-T χρησιμοποιεί διαμόρφωση τύπου QPSK, 16-QAM, και 64-QAM. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σημείων αστερισμού τόσο υψηλότερος μπορεί να είναι ο ρυθμός bit. Ολοκληρώνοντας, εφαρμόζεται η τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output) η οποία αναφέρεται στη χρήση περισσότερων της μίας κεραίας στο σημείο εκπομπής και στο σημείο λήψης. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι η χωρητικότητα αυξάνεται σύμφωνα με τον ελάχιστο αριθμό κεραίων στο σημείο εκπομπής και λήψης.

### 3.3 Το σύστημα DVB –S

Το DVB-S είναι ένα πρότυπο για τη λήψη ψηφιακού σήματος τηλεόρασης μέσω δορυφόρου. Οι προδιαγραφές του συστήματος έχουν εγκριθεί από το 1994. Το ακρωνύμιο DVB-S σημαίνει Digital Video Broadcasting Satellite και από όλες τις παραλλαγές του προτύπου DVB, το DVB-S χρησιμοποιείται συχνότερα. Το DVB-S παρέχει μια ποικιλία λύσεων που είναι κατάλληλες για εύρος ζώνης αναμετάδοσης μεταξύ 26 και 72 MHz. Λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, με αυτό το πρότυπο μεταδίδονται πολλά ραδιοφωνικά προγράμματα και πρόσθετες υπηρεσίες. Μέσω των δορυφόρων Astra μεταδίδονται περισσότερα από 1.500 ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά προγράμματα, πολλά από τα οποία δεν είναι κωδικοποιημένα. Για το πρότυπο DVB-S δεν είναι απαραίτητη η χρήση πρόσθετων υποδομών όπως ισχύει για τα πρότυπα DVB-C και DVB-T. Η λήψη εκπομπών DVB-S είναι δυνατή ακόμη και σε περιοχές απομακρυσμένες από τα μεγάλα κέντρα.

Επειδή η λειτουργία του δορυφόρου χρηματοδοτείται από τους τηλεοπτικούς σταθμούς, ο χρήστης δεν επιβαρύνεται με πρόσθετα κόστη για το DVB-S, πέραν των συνδρομών σε τηλεοπτικές υπηρεσίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, βέβαια, είναι απαραίτητος ένας ψηφιακός δέκτης και ένα σύστημα λήψης που υποστηρίζει υψηλές ζώνες συχνοτήτων. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι απαιτήσεις ισχύος από το δορυφόρο έχουν μειωθεί εξαιτίας της προόδου των συστημάτων λήψης και την ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας. Λόγω της ταχείας εισαγωγής των ψηφιακών τεχνολογιών, ο αριθμός των τηλεοπτικών προγραμμάτων ανά δορυφορικό αναμεταδότη έχει πολλαπλασιαστεί με ένα παράγοντα που κυμαίνεται από 5 έως 10. Η αύξηση του αριθμού αυτού δίνει τη δυνατότητα παροχής νέων υπηρεσιών. Η ταυτόχρονη μετάδοση ενός μεγάλου αριθμού αγώνων ποδοσφαίρου, η λήψη από πολλαπλές κάμερες και η διανομή ταινιών κατόπιν ζήτησης μέσω παράλληλης μετάδοσης διάφορων αντιγράφων της ίδιας ταινίας μετατοπισμένων στο χρόνο είναι εφικτές.

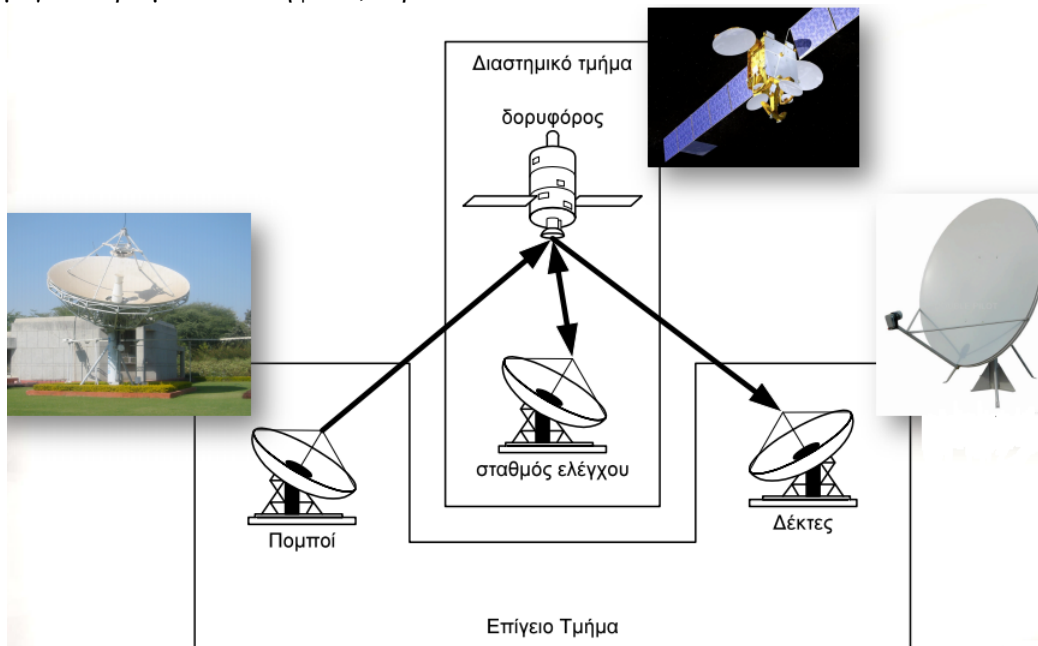
Το κύριο χαρακτηριστικό ενός συστήματος μετάδοσης DVB-S είναι η αποδοτική λειτουργία του σε δορυφορικά κανάλια που επηρεάζονται από θόρυβο, παρεμβολές, παραμορφώσεις, αλλά και έντονη απόσβεση κατά τη διάδοση, κυρίως λόγω βροχής. Το δορυφορικό κανάλι είναι κατά βάση ευρείας ζώνης και μη γραμμικό. Η μη γραμμικότητα οφείλεται στα χαρακτηριστικά πλάτους και φάσης του ενισχυτή του δορυφόρου, γεγονός που έχει αντίκτυπο στη συνολική επίδοση του συστήματος. Επιπλέον, ο ενισχυτής λειτουργεί συχνά κοντά στον κορεσμό, δηλαδή υπό χαμηλό περιθώριο ισχύος εξόδου. Σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης ισχύος του συστήματος, με τίμημα την παραμόρφωση που υφίστανται οι κυματομορφές των σημάτων αλλά και την αναγέννηση των πλευρικών λοβών του φάσματος ισχύος.

Το πρότυπο DVB-S έχει βελτιωθεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις βασικές απαιτήσεις των διάφορων υπηρεσιών. Δίνεται η δυνατότητα επιλογής της ποιότητας της εικόνας και του ήχου με ευέλικτο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του κάθε χρήστη. Η χρήση TDMA με ένα απλά διαμορφωμένο ψηφιακό φέρον, η βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης αναμετάδοσης, η ευέλικτη χρήση της χωρητικότητας μετάδοσης, η λειτουργία με μικρές κεραιές λήψης στα 60 cm, η χαμηλή EIRP από το δορυφόρο και η προσिति τιμή του ψηφιακού δέκτη είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα του.

### 3.3.1 Η εξέλιξη του DVB-S σε DVB-S2

Το DVB-S2 αποτελεί τη δεύτερη γενιά προτύπων δορυφορικής μετάδοσης στα πλαίσια του προγράμματος DVB. Αποτελεί εξέλιξη του προτύπου DVB-S της προηγούμενης ενότητας, το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα από τους περισσότερους δορυφορικούς παρόχους υπηρεσιών σε παγκόσμια κλίμακα. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες μετάδοσης το DVB-S2 επιτυγχάνει αύξηση της χωρητικότητας μετάδοσης έως και 30 % σε σχέση με το DVB-S. Η σχεδίασή του είναι τέτοια που επιτρέπει την εξυπηρέτηση πολλαπλών ευρυζωνικών δορυφορικών εφαρμογών. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι προσφέρει συμβατότητα με την προηγούμενη έκδοση του προτύπου, επιτρέποντας στις υπάρχουσες υπηρεσίες DVB-S να λειτουργούν. Το πρότυπο DVB-S2<sup>[15]</sup> έχει βασιστεί σε τρεις σημαντικές έννοιες, στην βέλτιστη απόδοση μετάδοσης, στην απόλυτη ευελιξία και στην όσο το δυνατόν μικρότερη πολυπλοκότητα στο δέκτη και στη διαμόρφωση της χρήσης κατά QPSK, 8PSK, 16APSK και 32APSK. Σε αντίθεση με το DVB-S, το πρότυπο DVB-S2 δεν περιορίζεται μόνο σε κωδικοποίηση βίντεο και ήχου MPEG-2 αλλά είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να διαχειρίζεται μια ποικιλία πρωτοκόλλων ήχου, βίντεο και δεδομένων. Το DVB-S2 προσαρμόζεται σε οποιοδήποτε τύπο ροής εισόδου δεδομένων, όπως είναι η συνεχής ροή bit, απλά ή πολλαπλά MPEG TS, IP datagrams καθώς και πακέτα ATM.

Άλλη μια σημαντική διαφορά μεταξύ των προτύπων DVB-S και DVB-S2 παρατηρείται κατά τη διαδικασία της πλαισίωσης. Στο πρότυπο DVB-S τα πακέτα έχουν σταθερό μέγεθος ίσο με 188 bytes και σε αυτό περιλαμβάνονται 1 byte για συγχρονισμό, 3 bytes επικεφαλίδας και 184 χρήσιμα bytes. Αντίθετα, στο DVB-S2 τα πλαίσια αποτελούνται από μια επικεφαλίδα των 90 συμβόλων και ένα ωφέλιμο φορτίο ίσο με 8100 bytes ή 2025 bytes. Επίσης, κατά τη διαδικασία της αποκωδικοποίησης στο δέκτη, ο αποκωδικοποιητής του DVB-S λαμβάνει αποφάσεις σε μπλοκ μόνο των 100 συμβόλων χωρίς επαναλήψεις. Στην περίπτωση όμως του DVB-S2, η απόφαση λαμβάνεται ύστερα από ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων, περίπου 50.



Εικόνα 16. Οργάνωση δορυφορικού συστήματος

### 3.4 Το σύστημα DVB –C

Το σύστημα DVB-C εκδόθηκε για την καλωδιακή εκπομπή, πρώτη φορά το Δεκέμβριο του 1994. Έχει σχεδιασθεί να τροφοδοτείται από ένα συνδυασμό σημάτων από δορυφόρους, και από τοπικά προγράμματα. Το πρότυπο έχει αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο και έχει εφαρμογή σε συστήματα από τα μεγαλύτερα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης (CATV) μέχρι και στα μικρότερα συστήματα δορυφορικής κεραίας για την τηλεόραση (SMATV).

Τα σήματα που προέρχονται από τον δορυφόρο συνήθως αποπολυπλέκονται στην κεφαλή πριν εισαχθούν στο πολυπλεγμένο καλωδιακό πρόγραμμα. Το σύστημα DVB-C ήδη λειτουργεί στα καλωδιακά δίκτυα της Γερμανίας. Βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος DVB-C είναι η ομοιότητά του με το δορυφορικό σύστημα DVB-S. Ουσιαστικά μπορούμε να πούμε ότι το λειτουργικό διάγραμμα του DVB-S ισχύει και για το DVB-C με μόνη ουσιαστική διαφορά τη διαμόρφωση του. Στην περίπτωση του καλωδιακού συστήματος είναι QAM. Το εύρος ζώνης του καναλιού μετάδοσης κυμαίνεται από 6 έως 8 MHz. Το κόστος της εφαρμογής του προτύπου είναι υψηλό και η χρήση του περιορίζεται σε αναπτυγμένα δίκτυα, όμως έχει ανοσία σε παρεμβολές και οι καθυστερήσεις είναι ελάχιστες.

#### 3.4.1 Η εξέλιξη του DVB –C σε DVB-C2

Το πρότυπο DVB-C2 αποτελεί την δεύτερη γενιά προτύπων του συστήματος DVB-C. Χρησιμοποιεί τις τελευταίες τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για να καταστεί δυνατή η αποδοτικότερη χρήση του καλωδιακού δικτύου. Μέχρι τώρα, σε πολλές περιπτώσεις, η ικανότητα μετάδοσης των δεδομένων ήταν στα όριά της. Το DVB-C2 θα χρησιμοποιηθεί αρχικά για την παροχή νέων καινοτόμων υπηρεσιών, όπως video on demand (VOD) και της τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας (HDTV). Η μετάβαση από το DVB-C στο DVB-C2 θα βοηθήσει τις επιχειρήσεις να παραμείνουν ανταγωνιστικές και να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της εκπομπής του σήματος.

Υπάρχει μια σειρά από παράγοντες που έχουν συνδυαστεί για να δημιουργηθεί ένα πρότυπο δεύτερης γενιάς καλωδιακής μετάδοσης, όπως στη περίπτωση DVB-S2 και DVB-T2 για την δορυφορική και την επίγεια μετάδοση. Οι επιχειρήσεις γίνονται πιο ανταγωνιστικές χρησιμοποιώντας την ψηφιακή τεχνολογία. Τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης πρέπει να αναμεταδίδουν τα περιεχόμενά τους συμβαδίζοντας με τις εξελίξεις της εκάστοτε εποχής. Η ανάγκη για νέα εργαλεία και εφαρμογές που απαιτούνται για την αντιμετώπιση των αναγκών των πελατών τόσο των ιδιωτών όσο και των επιχειρήσεων και η βελτίωση της απόδοσης, είναι μονό μερικές από τις απαιτήσεις που έρχεται να καλύψει αυτό το πρότυπο. Όπως συμβαίνει με όλα τα πρότυπα DVB, οι προδιαγραφές αυτές βασίζονται σε μια σειρά από εμπορικές απαιτήσεις. Οι βασικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν μια αύξηση της παραγωγικής ικανότητας τουλάχιστον κατά 30%, την υποστήριξη των διαφορετικών πρωτοκόλλων εισόδου, και την βελτιωμένη απόδοση σφαλμάτων. Το DVB-C2 επαναχρησιμοποιεί μερικά από τα δομικά στοιχεία των άλλων συστημάτων δεύτερης γενιάς μετάδοσης της οικογένειας DVB. Το νέο αυτό πρότυπο προβλέπεται να είναι συμβατό με το προκάτοχο του το DVB-C.

### 3.5 Το σύστημα DVB –H

Το DVB-H είναι το πρότυπο που αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει εκπομπή ψηφιακού βίντεο σε κινητούς δέκτες. Είναι μια προέκταση του DVB-T το οποίο παρέχει την ίδια υπηρεσία αλλά σε σταθερές και φορητές τερματικές συσκευές. Τα κινητά τερματικά απαιτούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά από το σύστημα μετάδοσης που τα εξυπηρετεί<sup>[11]</sup>. Αρχικά ως συσκευές τροφοδοτούμενες από μπαταρία απαιτούν από το σύστημα μετάδοσης να παρέχει την δυνατότητα επαναλαμβανόμενης διακοπής της τροφοδοσίας για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας της μπαταρίας. Δεύτερον αφού η υπηρεσία προορίζεται για κινητούς χρήστες πρέπει το σύστημα μετάδοσης να εξασφαλίζει ομαλή μετάβαση από κυψέλη σε κυψέλη χωρίς τη διακοπή της υπηρεσίας. Τρίτον αφού το περιβάλλον μετάδοσης αναμένεται να χαρακτηρίζεται από έντονη πολυδιαδρομική διάδοση και υψηλά επίπεδα θορύβου, πρέπει το σύστημα μετάδοσης να προσφέρει τα μέσα για τη μετρίαση της επίδρασης των φαινομένων αυτών.

Ακόμη, για λήψη σε εσωτερικό και εξωτερικό χώρο, μέσα σε κινούμενο όχημα είναι απαραίτητο το σύστημα μετάδοσης να παρέχει αρκετή ελαστικότητα και να επιδέχεται κλιμακώσεις ούτως ώστε η λήψη υπηρεσιών DVB-H να είναι δυνατή σε διάφορες ταχύτητες με παράλληλη βελτιστοποίηση κάλυψης. Παράλληλα καθώς το DVB-H προορίζεται για χρήση σε διάφορα μέρη του κόσμου το σύστημα μετάδοσης πρέπει να παρέχει ευελιξία σε ότι αφορά τις ζώνες συχνοτήτων μετάδοσης και τα εύρη ζώνης. Τέλος όλα τα παραπάνω πρέπει να επιτευχθούν με ένα σύστημα στηριγμένο στο DVB-T. Έτσι το πρότυπο αυτό είναι μία προσαρμογή του DVB-T. Είναι σε μεγάλο βαθμό συμβατό με το DVB-T αλλά λαμβάνει υπόψη τις εξειδικευμένες ιδιότητες τυπικών τερματικών, τα οποία αναμένονται να είναι μικρά, ελαφριά, φορητά και τροφοδοτούμενα από μπαταρία. Μπορεί να προσφέρει ένα κανάλι ρεύματος καθόδου με υψηλό ρυθμό δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα ή ως στοιχείο εμπλουτισμού δικτύων κινητής τηλεφωνίας, στα οποία ούτως η άλλως πολλά τυπικά τερματικά χειρός έχουν πρόσβαση. Με αυτό τον τρόπο δημιουργεί μια γέφυρα μεταξύ των κλασικών συστημάτων ευρυεκπομπών και του κόσμου των κυψελωτών δικτύων ραδιοεπικοινωνίας.

Το DVB-H διαθέτει ένα κανάλι καθόδου που έχει μεγάλο εύρος φάσματος. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές ροής ήχου και βίντεο, λήψη αρχείων και για πολλά άλλα είδη υπηρεσιών. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα εισάγει νέους τρόπους διανομής υπηρεσιών σε τερματικά χειρός, προσφέροντας ιδιαίτερα εκτεταμένες δυνατότητες για παροχές περιεχομένου και χειρισμούς του δικτύου. Οι ροές DVB-H μεταδίδονται με χρήση 4K OFDM πολύπλεξης, η οποία δεν αποτελεί μέρος του προτύπου DVB-T. Το DVB-T παρέχει τα 2K και 8K modes προκειμένου να υποστηρίξει διαφορετικές δικτυακές τοπολογίες. Το DVB-H<sup>[11]</sup> εισάγει επιπρόσθετα το 4K mode, το οποίο δημιουργείται από έναν IDFT (Inverse Discrete Fourier Transformation) μετασχηματισμό 4096 σημείων, στον OFDM διαμορφωτή. Το DVB-T δεν περιλαμβάνει το mode αυτό, άρα το 4K mode μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε DVB-H δίκτυα. Το 4K mode αποτελεί ένα συμβιβασμό ανάμεσα στα άλλα δύο modes. Επιτρέπει τον διπλασιασμό της απόστασης ανάμεσα στους μεταδότες σε σχέση με το 2K mode. Συγκρινόμενο με το 8K mode, είναι λιγότερο ευαίσθητο στο φαινόμενο Doppler. Συνεπώς το 4K mode παρέχει μεγαλύτερο βαθμό ευελιξίας στη σχεδίαση των δικτύων.

### 3.5.1 Η εξέλιξη του DVB -H σε DVB-SH

Το DVB-SH έχει σχεδιαστεί για παράδοση βίντεο, ήχου και δεδομένα στις φορητές συσκευές. Το βασικό χαρακτηριστικό του προτύπου DVB-SH είναι ότι πρόκειται για ένα υβριδικό δορυφορικό και επίγειο σύστημα που επιτρέπει τη χρήση ενός δορυφόρου για να επιτευχθεί η κάλυψη μεγάλων περιοχών ή ακόμα και μιας ολόκληρης χώρας. Σε περιοχές όπου η λήψη του δορυφορικού σήματος δεν είναι δυνατή, μια επίγεια κάλυψη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γεμίσει το κενό αυτό. Είναι σχεδιασμένο για χρήση συχνοτήτων κάτω των 3GHz, συνήθως γύρω στα 2.2GHz. Η κινητή τηλεόραση αναμένεται από πολλούς να γίνει μία από τις επόμενες μεγάλες αγορές των μέσων μαζικής ενημέρωσης. Παρατηρείται μεγάλο ενδιαφέρον όσον αναφορά την δημοσίευση του προτύπου DVB-H τον Νοέμβριο του 2004 το οποίο έγινε η βάση ενός αυξανόμενου αριθμού υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης σε όλο τον κόσμο. Το DVB-H απευθύνεται κυρίως για εφαρμογή στις ζώνες συχνοτήτων UHF, οι οποίες ήδη υπάρχουν στις περισσότερες χώρες για αναλογική και ψηφιακή μετάδοση.

Το DVB-SH δημιουργήθηκε ώστε να αξιοποιήσει τις δυνατότητες των υψηλότερων συχνοτήτων όπως στην S band όπου υπάρχει λιγότερη συμφόρηση σε σχέση με την UHF. Το DVB-H έρχεται να αντικατασταθεί από το πρότυπο DVB-SH το 2006. Το DVB-SH χρησιμοποιεί OFDM διαμόρφωση που χρησιμοποιούν τόσο το DVB-H όσο και το DVB-T συστήματα. Το DVB-SH δεν καθορίζεται από πρωτόκολλα μεταφοράς, υπηρεσιών ηλεκτρονικού οδηγού κτλ. Επίσης όπως και στις υπόλοιπες μεταδόσεις DVB έτσι και στα συστήματα υψηλών συχνοτήτων τα θέματα που προκύπτουν καθορίζονται από την DVB Project. Ο συνδυασμός δορυφορικού και επίγειου σήματος προσφέρει εθνική κάλυψη σε τερματικούς σταθμούς που εφαρμόζουν τεχνικές TDM και διαμόρφωση OFDM στο πρότυπο DVB-SH. Το κλειδί για την ανάπτυξη του DVB-SH interface θα είναι το ήδη υπάρχον DVB-IPDC σύστημα και οι υπηρεσίες που βασίζονται σε αυτό. Τον Απρίλιο του 2008 παρουσιάστηκε στην Αμερική ένας δορυφόρος γεωστατικής τροχιάς για την ανάπτυξη ενός εθνικού DVB-SH συστήματος που παρέχει υπηρεσίες video, πληροφορίες πλοήγησης και αποστολή μηνυμάτων έκτακτης ανάγκης.

Στην Ευρώπη το πρώτο σύστημα DVB-SH ολοκληρώθηκε με επιτυχία και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιβεβαίωσε τον Δεκέμβριο του 2006 ότι ένα μέρος των συχνοτήτων της S band μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δορυφορικές υπηρεσίες μέσω κινητού. Επίσης ένας δορυφόρος με στόχο έξι μεγάλες ευρωπαϊκές αγορές παρουσιάστηκε τον Απρίλη του 2009 στα πλαίσια συνένωσης δύο μεγάλων κατασκευαστικών εταιριών δορυφόρων. Γάλλοι ερευνητές εξετάζουν την παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεόρασης χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό του DVB-H και του DVB-SH με την χρήση του DVB-SH σε συχνότητες UHF να είναι ένα από τα πιο πιθανά αποτελέσματα. Οι προδιαγραφές του συστήματος DVB-SH και οι κατευθυντήριες γραμμές υλοποίησης του έχουν ήδη δημοσιευτεί ως επίσημα πρότυπα από το ETSI. Τελειώνοντας συνεχίζονται οι εργασίες για τον εγχειρίδιο του προτύπου DVB όσο αναφορά θέματα απόδοσης μέσω εργαστηριακών δοκιμών για την επικύρωση των διεπαφών μέσω των DVB-IPDC προτύπων.



## Κεφάλαιο 4:

### Διαμόρφωση ψηφιακών συστημάτων

#### 4.1 Διαμόρφωση φάσης-πλάτους

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι αναγκαίο να καταναμηθεί στους διάφορους χρήστες καθώς η ζήτηση των υπηρεσιών επικοινωνίας συνεχώς αυξάνεται. Γι' αυτό το λόγο έγινε μια στροφή προς τις ψηφιακές επικοινωνίες, οι οποίες έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και μπορούν να μεταφέρουν περισσότερη πληροφορία στο ίδιο εύρος ζώνης από τις αναλογικές. Η στροφή προς τις ψηφιακές διαμορφώσεις εξασφάλισε μεγαλύτερο όγκο διακινούμενης πληροφορίας, συμβατότητα με τις ψηφιακές υπηρεσίες δεδομένων, μεγαλύτερη ασφάλεια δεδομένων, καλύτερη ποιότητα στις επικοινωνίες καθώς και μικρότερο χρόνο διάθεσης συστημάτων. Όσοι ασχολούνται με την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων έχουν να αντιμετωπίσουν τους παρακάτω περιορισμούς:

- διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth)
- επιτρεπόμενη ισχύς μετάδοσης
- επίπεδο θορύβου του συστήματος

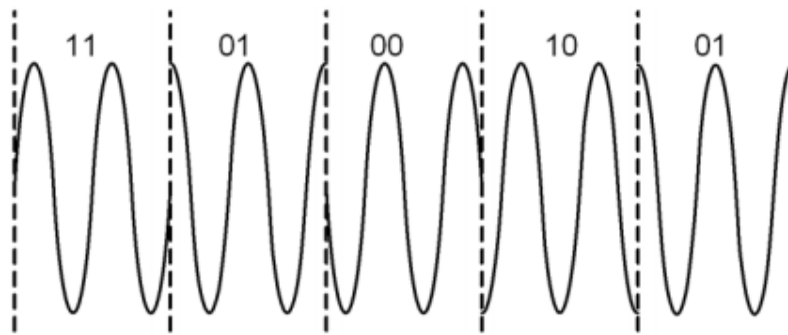
Υπάρχει όμως ένας θεμελιώδης συμβιβασμός όσον αφορά τα συστήματα επικοινωνίας. Συστήματα απλά στην κατασκευή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση και λήψη πληροφορίας. Ωστόσο τέτοια συστήματα έχουν μεγάλο φάσμα εκπομπής κάτι το οποίο περιορίζει τον αριθμό των χρηστών. Από την άλλη, πιο πολύπλοκες κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταδώσουν τον ίδιο όγκο πληροφορίας σπαταλώντας πολύ μικρότερο εύρος ζώνης. Το πέρασμα σε όλο και πιο αποτελεσματικές τεχνικές μετάδοσης σε σχέση με το εύρος ζώνης απαιτεί όλο και πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Τα πολύπλοκα συστήματα παρόλα αυτά είναι δύσκολο να σχεδιαστούν, να ελεγχθούν και να κατασκευαστούν. Αυτός ο συμβιβασμός υπάρχει ακόμη και αν η επικοινωνία γίνεται μέσω αέρα ή καλωδίων, χρησιμοποιώντας αναλογικές ή ψηφιακές τεχνικές.

Τα διαγράμματα αστερισμού είναι εξαιρετικά χρήσιμα στις ψηφιακές διαμορφώσεις. Μας δίνουν μια ευρεία εικόνα της φάσης και του σχετικού πλάτους του σήματος, των διαφόρων συμβόλων. Επίσης, μας βοηθούν να διαπιστώσουμε τις επιπτώσεις του θορύβου και των σφαλμάτων συχνότητας και φάσης λόγω του τοπικού ταλαντωτή του δέκτη στην αποκωδικοποίηση των συμβόλων μιας ψηφιακής διαμόρφωσης. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε διαμορφώσεις όπου το μέγεθος που μεταβάλλεται είναι η φάση ή και το πλάτος (BPSK, QPSK, QAM). Τα διαγράμματα αυτά μπορούν να δημιουργηθούν από τα αποδιαμορφωμένα δεδομένα, με τη βοήθεια ψηφιακού παλμογράφου. Τα διαγράμματα αστερισμού ουσιαστικά είναι πολικά διαγράμματα<sup>[22]</sup>. Αναπαρίστανται σε ένα ορθογώνιο σύστημα αξόνων, όπου ο οριζόντιος άξονας ονομάζεται I-άξονας (In-phase) και ο κατακόρυφος Q-άξονας (Quadrature). Για το λόγο αυτό πολλές φορές ονομάζονται και IQ διαγράμματα.

### 4.1.1 Διαμόρφωση QPSK

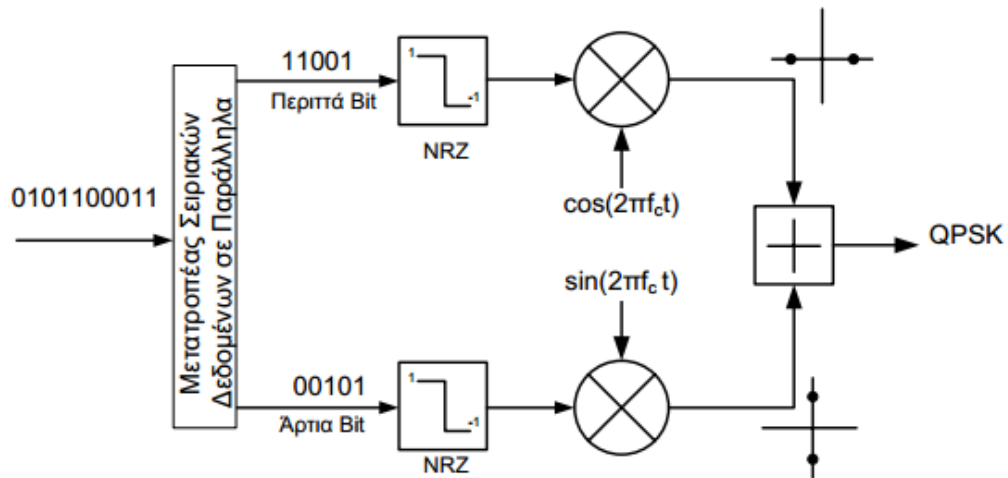
Στις μέρες μας, η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση αναπτύσσεται με μία διαφορετική διαμόρφωση σε σχέση με αυτή που γνωρίζαμε ως τώρα, στην δορυφορική QPSK. Η διαμόρφωση αυτή δεν είναι καινούργια ανακάλυψη για την μεταφορά τηλεοπτικών προγραμμάτων αλλά ήδη χρησιμοποιείται από τα περισσότερα data modems χαμηλής και υψηλής ταχύτητας (όπως τα σημερινά DSL modems). Στην τηλεόραση έχει εφαρμοστεί ως μέσο μεταφοράς πολλαπλών προγραμμάτων σε ένα τηλεοπτικό κανάλι των 7 ή 8 MHz με την χρήση ειδικών μονάδων μετάλλαξης. Η μετάλλαξη επιτυγχάνεται μεταξύ της QPSK διαμόρφωσης της δορυφορικής τηλεόρασης, και της QAM στην επίγεια.

Η QPSK είναι η διαμόρφωση κλειδώματος μεταλλαγής φάσης με ορθογωνισμό. Ακόμη είναι γνωστή και σαν 4-αδική PSK. Στη διαμόρφωση αυτή έχουμε κάθε φορά μετάδοση συμβόλων, τα οποία αποτελούνται από δύο bit. Τα τέσσερα αυτά σύμβολα είναι τα ζεύγη 11, 01, 10, 00. Ανάλογα με το προς μετάδοση σύμβολο η φάση του σήματος παίρνει συγκεκριμένες τιμές ως προς το αρχικό μη διαμορφωμένο φέρον. Παρακάτω μπορούμε να δούμε τις διάφορες φάσεις ενός σήματος με διαμόρφωση QPSK.



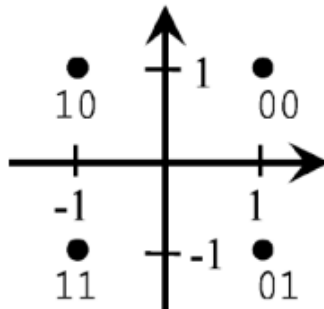
Εικόνα 17. Διαμόρφωση QPSK

Η διαμόρφωση QPSK γίνεται με τη χρήση διανυσματικού διαμορφωτή. Όπως παρατηρούμε αρχικά η δυαδική ακολουθία προς μετάδοση χωρίζεται σε δύο επιμέρους ακολουθίες που αποτελούνται η μία από τα περιττά bit της αρχικής ακολουθίας (δηλαδή το 1<sup>ο</sup>, το 3<sup>ο</sup> κτλ.) και η άλλη από τα ζυγά. Στη φάση αυτή έχουμε μετατροπή των μονοπολικών δεδομένων σε διπολικά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται μη επιστροφή στο μηδέν, NRZ (non-return zero). Η κάθε ακολουθία έχει το μισό ρυθμό bit από αυτόν του αρχικού. Στη συνέχεια κάθε ακολουθία διαμορφώνει ένα φέρον με διαμόρφωση BPSK. Τα φέροντα που χρησιμοποιούνται σε κάθε ακολουθία είναι ορθογωνικά, που σημαίνει ότι έχουν διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους. Τέλος, τα δύο αυτά σήματα BPSK αθροίζονται παράλληλα, ώστε να προκύψει το σήμα QPSK.



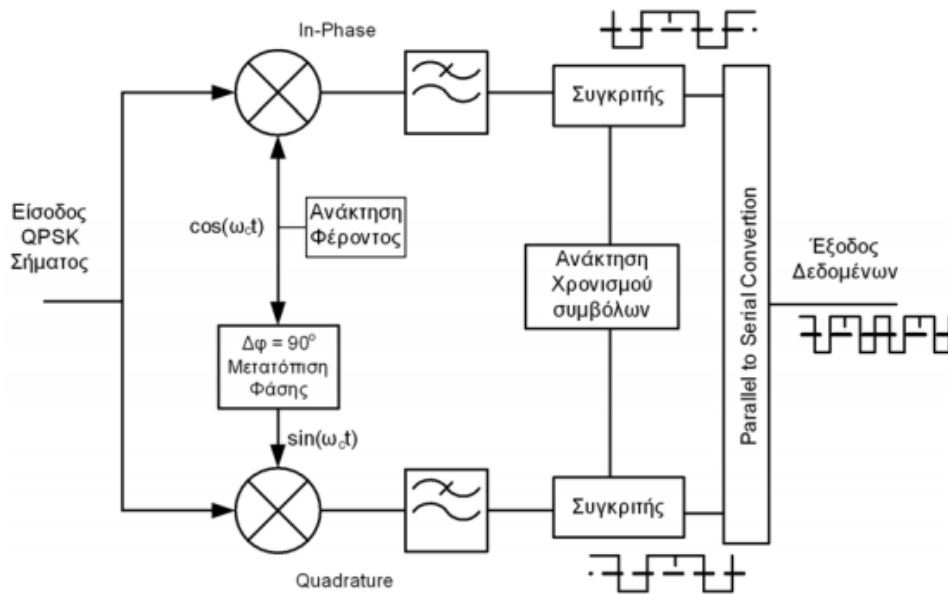
Εικόνα 18. Ο μηχανισμός παραγωγής της QPSK

Από τη μελέτη του μηχανισμού παραγωγής της QPSK μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέγιστη φασματική απόδοση της QPSK είναι 2bit/sec/Hz. Το διάγραμμα αστερισμού της διαμόρφωσης QPSK φαίνεται στην εικόνα 19. Όπως βλέπουμε, εφόσον πρόκειται για 4-αδική διαμόρφωση θα έχουμε 4 σημεία. Ακόμη οι καταστάσεις φάσεως σχηματίζουν γωνία  $45^\circ$  με τις καταστάσεις των δύο πηγών BPSK.



Εικόνα 19. Διάγραμμα αστερισμού για την QPSK

Η αποδιαμόρφωση της QPSK στηρίζεται στο ότι δύο σήματα τα οποία έχουν ορθογωνικά φέροντα μπορούν να ανιχνευθούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η αποδιαμόρφωση είναι δυνατή με τη χρήση ενός IQ αποδιαμορφωτή. Στο δέκτη γίνεται παραγωγή ενός σύμφωνου φέροντος αναφοράς. Αυτό μπορεί να γίνει είτε στέλνοντας ένα σήμα αναφοράς φάσης φέροντος είτε με πιο πολύπλοκες μεθόδους με τις οποίες γίνεται ανάκτηση του φέροντος στο δέκτη από το ίδιο το διαμορφωμένο σήμα RF. Η ανάκτηση του χρονισμού των συμβόλων είναι απαραίτητη εξαιτίας του φιλτραρίσματος που έχουν υποστεί τα προς μετάδοση δεδομένα στον πομπό.

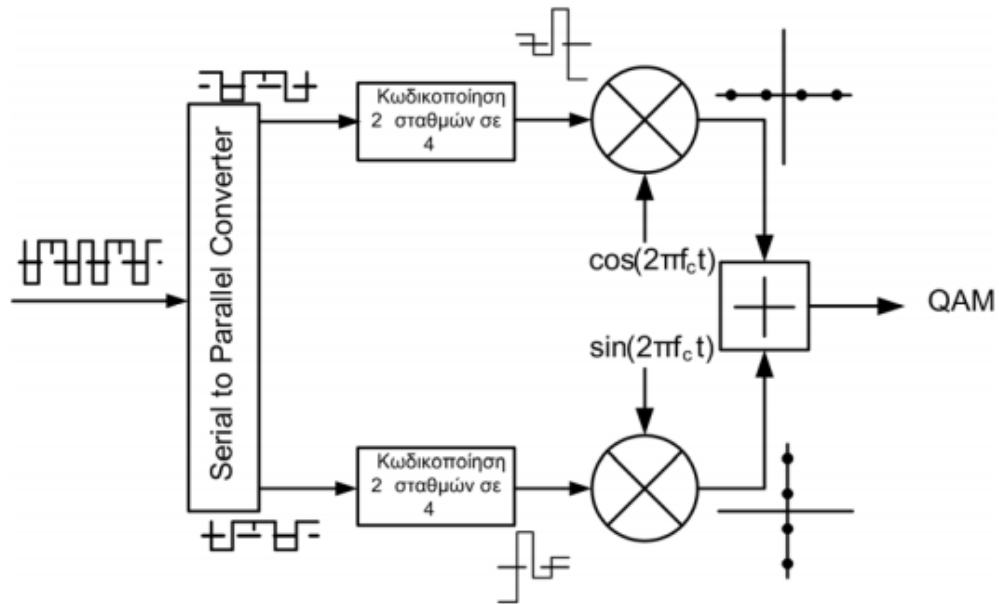


Εικόνα 20. Αποδιαμόρφωση σήματος QPSK

#### 4.1.2 Διαμόρφωση 16-QAM

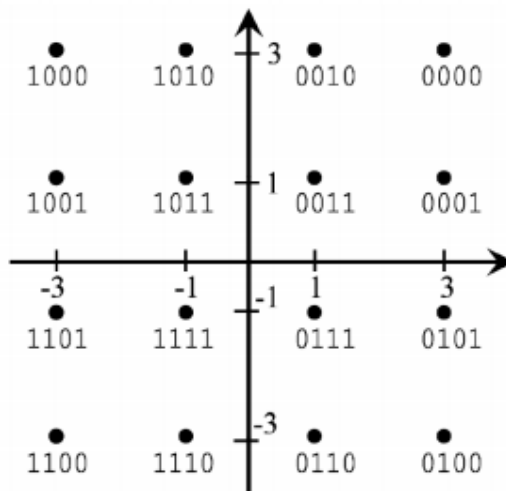
Η ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους είναι ένας συνδυασμός διαμόρφωσης πλάτους και φάσης ταυτόχρονα. Η απλούστερη μορφή της QAM μπορεί να θεωρηθεί η QPSK, η οποία είναι ο συνδυασμός δύο ορθογώνιων μεταξύ τους φορέων ( $\Delta\phi=90^\circ$ ), διαμορφωμένοι ο καθένας με πλάτη  $+A$  και  $-A$  (ουσιαστικά το αντίθετο πρόσημο δηλώνει αλλαγή φάσης του σήματος κατά  $180^\circ$ ). Αν αυξήσουμε τον αριθμό των διακριτών σταθμών πλάτους που μπορεί να πάρει ο κάθε φορέας σε τέσσερις, δηλαδή  $+A$ ,  $-A$ ,  $+3A$  και  $-3A$ , τότε μπορούν να προκύψουν 16 συμβολικές καταστάσεις στην έξοδο του πομπού.

Όπως βλέπουμε είναι παρόμοιος με αυτόν της QPSK, με τη μόνη διαφορά ότι γίνεται πρώτα κωδικοποίηση των δυαδικών δεδομένων ανά δύο, ώστε να προκύψουν 4 στάθμες σε κάθε κλάδο του IQ διαμορφωτή. Ακόμη μπορεί να γίνει επιπλέον μορφοποίηση των παλμών, πριν την μίξη με τα δύο ορθογωνικά φέροντα, ώστε να μειωθεί το απαιτούμενο εύρος ζώνης.



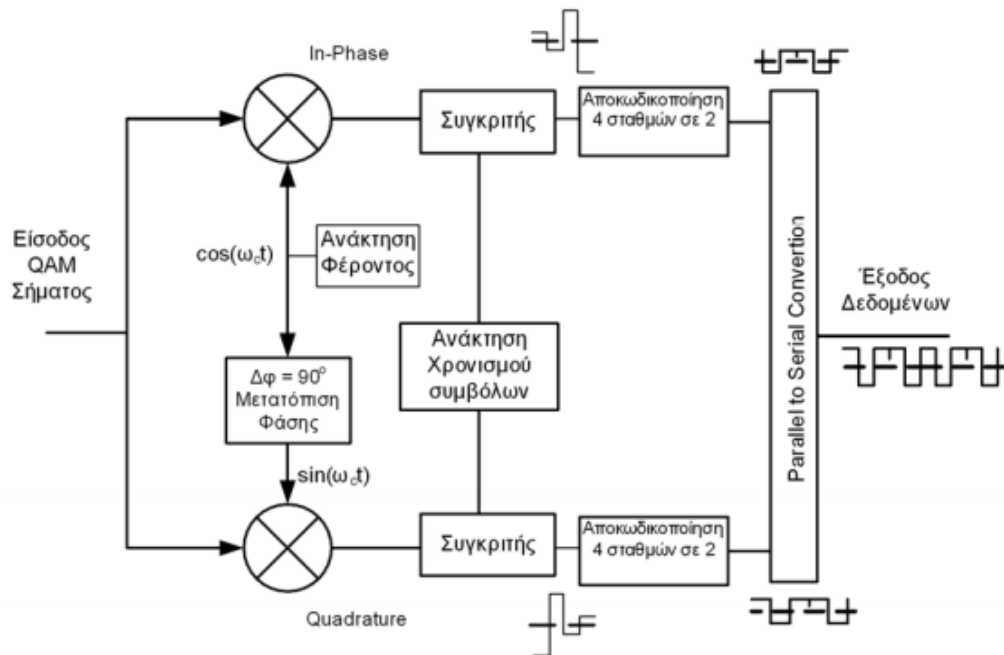
Εικόνα 21. Διαμορφωτής 16-QAM

Η μέγιστη φασματική απόδοση της 16-QAM είναι 4bit/sec/Hz. Το διάγραμμα αστερισμού της 16-QAM φαίνεται στην Εικόνα 22. Υπάρχουν και περισσότερα πολύπλοκα σχήματα βασισμένα στην QAM, όπως είναι για παράδειγμα η 256-QAM, η οποία αποτελείται από 256 συμβολικές καταστάσεις.



Εικόνα 22. Διάγραμμα αστερισμού 16-QAM

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ενός αποδιαμορφωτή 16-QAM. Η λειτουργία του στηρίζεται, όπως και στην περίπτωση της QPSK, στη δυνατότητα ανεξάρτητης ανίχνευσης των δύο ορθογωνικών φερόντων.

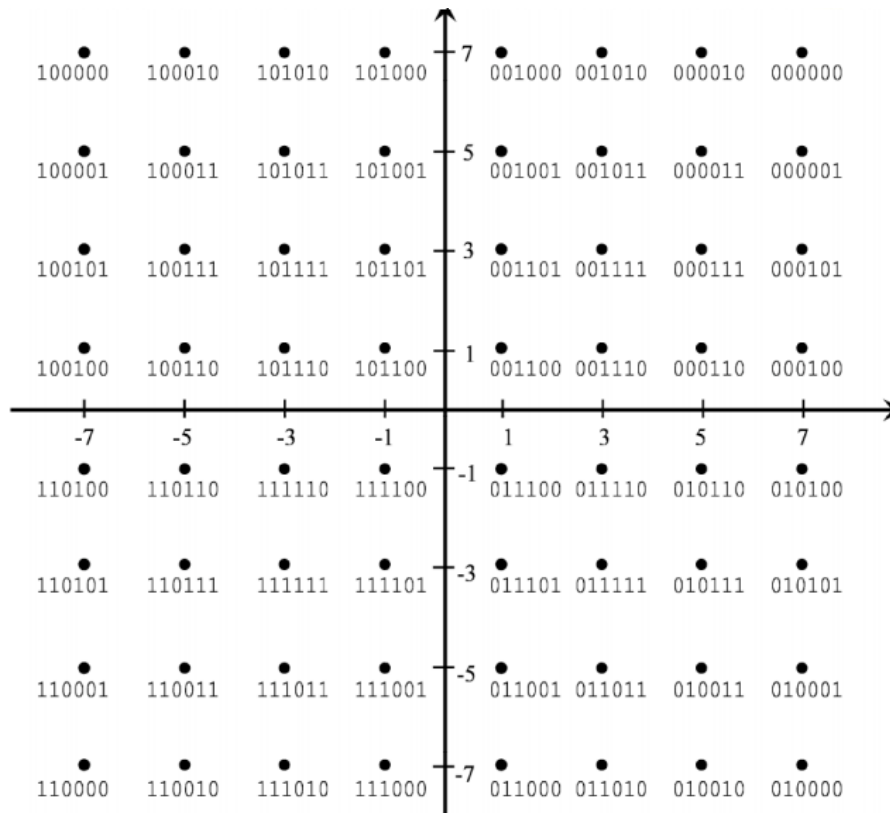


Εικόνα 23. Αποδιαμορφωτή 16-QAM

### 4.1.3 Διαμόρφωση 64-QAM

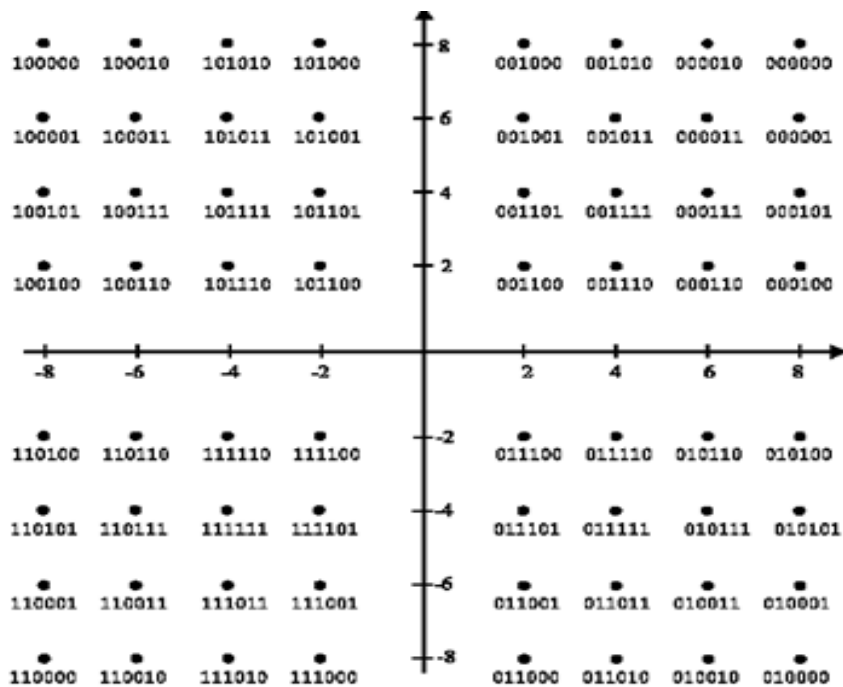
Οι ακριβείς διαστάσεις των αστερισμών εξαρτώνται από την παράμετρο  $a$ , που μπορεί να πάρει τις τρεις τιμές 1, 2 ή 4, αυξάνοντας τα μεγέθη των διαγραμμάτων. Η απόσταση  $a$  είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο σημείων του αστερισμού που μεταφέρουν διαφορετικές τιμές των υψηλής σημασίας bit διαιρεμένη με την ελάχιστη απόσταση δύο οποιωνδήποτε σημείων του αστερισμού. Σκοπός του είναι η αντιστοίχιση μιας ακολουθίας bit (2, 4 ή 8) ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση QPSK, 16-QAM ή 64-QAM αντίστοιχα σε έναν μιγαδικό αριθμό έτοιμο προς μετάδοση. Λόγω των διαφορετικών τιμών που μπορούν να πάρουν τα bit σε μια ακολουθία τα σημεία ενός αστερισμού είναι  $2^2=4$ ,  $2^4=16$  ή  $2^8=64$  για QPSK, 16-QAM και 64-QAM αντίστοιχα. Κάθε μη ιεραρχική μετάδοση χρησιμοποιεί τον ίδιο ομοιόμορφο αστερισμό όπως στην περίπτωση του  $a=1$ .

Όσο μεγαλύτερη είναι η τάξη της διαμόρφωσης τόσο αυξάνεται ο αριθμός των bits που αντιπροσωπεύει κάθε σύμβολο. Επειδή ο αριθμός των συμβόλων που εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο είναι σταθερός, αυξάνεται ο ρυθμός δεδομένων που μπορεί να σταλεί. Όμως όσο μεγαλύτερη είναι η τάξη της διαμόρφωσης, τόσο πιο κοντά μεταξύ τους θα βρίσκονται τα σημεία του αστερισμού. Έτσι υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος σε περίπτωση χαμηλού SNR ένα σύμβολο να ληφθεί λανθασμένα ως κάποιο γειτονικό του. Έτσι, δημιουργούνται λάθη τα οποία καλείται να διορθώσει η κωδικοποίηση καναλιού.



Εικόνα 24. Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM μη ιεραρχική ή ιεραρχική με  $\alpha=1$

Για 64-QAM και  $\alpha=2$  έχουμε την ακόλουθη μη ομοιόμορφη constellation 64 σημείων:

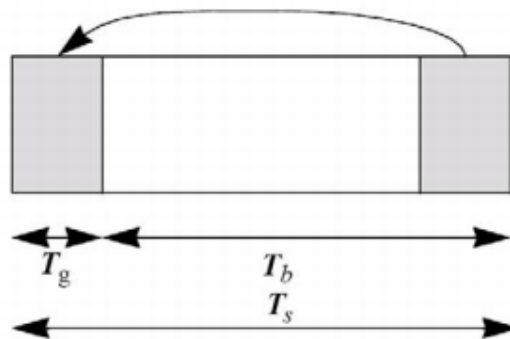


Εικόνα 25. Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM ιεραρχική με  $\alpha=2$

## 4.2 Η τεχνική OFDM

Η πολυπλεξία ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) είναι μία μέθοδος μετάδοσης όπου χρησιμοποιούνται πολλά φέροντα για τη μετάδοση πληροφορίας. Η βασική αρχή του OFDM είναι να διαιρεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε χαμηλότερους ρυθμούς που μεταδίδονται ταυτόχρονα πέρα από ένα υποφέρον (subcarrier). Επειδή η διάρκεια συμβόλων αυξάνεται, για τους χαμηλότερους ρυθμούς παράλληλων υποφερόντων (subcarriers), το σύνολο των διασκορπισμένων συμβόλων στο χρόνο είναι μειωμένο. Η ενδοσυμβολική παρεμβολή (Intersymbol interference- ISI) αποβάλλεται σχεδόν πλήρως με την εισαγωγή ενός χρόνου φρουράς σε κάθε σύμβολο OFDM. Στο διάστημα φρουράς, το σύμβολο OFDM πρόκειται κυκλικά να αποφύγει την παρεμβολή (intercarrier interference ICI).

Για τη σχεδίαση OFDM συστημάτων, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράμετροι, όπως ο αριθμός υποφερόντων, ο χρόνος φρουράς, η διάρκεια συμβόλου, το διάστημα υποφερόντων, ο τύπος διαμόρφωσης ανά υποφέρον, και ο τύπος κωδικοποίησης διορθώσεων λάθους. Η επιλογή των παραμέτρων επηρεάζεται από τις απαιτήσεις συστημάτων, όπως το διαθέσιμο εύρος ζώνης, τον απαραίτητο ρυθμό δυαδικών ψηφίων, την καθυστέρηση διάδοσης (delay spread) όπως και η εξάπλωση Doppler.



Εικόνα 26. Σύμβολο OFDM στο πεδίο του χρόνου

Ένας ραδιοδιάυλος χαρακτηρίζεται από περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα που φθάνει στο δέκτη χαρακτηρίζεται τόσο από το απευθείας ραδιοκύμα όσο και από έναν μεγάλο αριθμό ανακλώμενων ραδιοκυμάτων που φθάνουν στο δέκτη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα καθυστερημένα σήματα είναι αποτέλεσμα ανακλάσεων λόγω της φύσης του εδάφους όπως δένδρα, λόφοι, βουνά, οχήματα ή κτήρια. Τα καθυστερημένα δείγματα του σήματος αλληλεπιδρούν με το απευθείας κύμα και προκαλούν διασυμβολική (intersymbol) παρεμβολή, κάτι το οποίο με τη σειρά του προκαλεί σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης του δικτύου.

Το περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης χαρακτηρίζεται από απόκριση καναλιού, που περιλαμβάνει την πληροφορία του σχετικού χρόνου άφιξης των καθυστερημένων σημάτων στο δέκτη, την ισχύ του σήματος και τη φάση του σε σχέση με την ισχύ και τη φάση του απ' ευθείας σήματος. Στο πεδίο του χρόνου ένας μεγάλος αριθμός σημάτων με διαφορετικούς χρόνους άφιξης, ισχύεις και φάσεις λαμβάνεται από το δέκτη. Στο πεδίο της συχνότητας από την άλλη αυτό παριστάνεται με ενίσχυση κάποιων συχνοτήτων και εξασθένιση άλλων. Σε λήψη από κινητό δέκτη οι σχετικές ισχύεις και εξασθενίσεις θα μεταβάλλονται με το χρόνο. Ένα σήμα στενής ζώνης θα



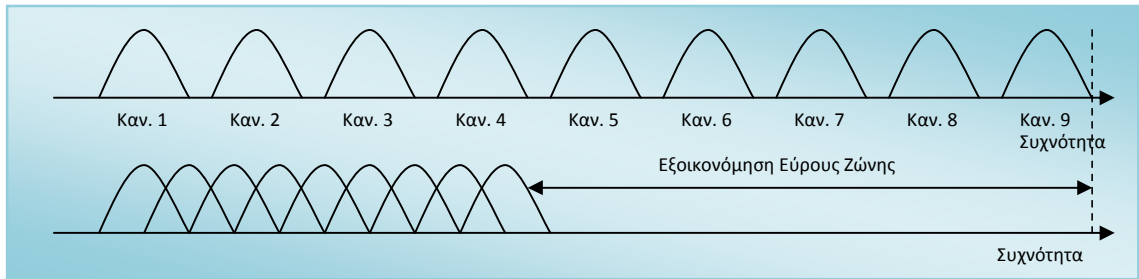
μεταβάλλεται σε ποιότητα καθώς οι κορυφές και η απόκριση συχνότητας μετακινούνται στο πεδίο του χρόνου. Ακόμη θα υπάρχει μια σημαντική μεταβολή στην απόκριση φάσης, αλλά αυτό επηρεάζει μόνο συστήματα που χρησιμοποιούν τη φάση ως μέσο σηματοδότησης.

Σε όλες τις σύγχρονες εφαρμογές με σημαντικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, όπως είναι η ψηφιακή τηλεόραση, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μετάδοση υψηλού ρυθμού bit της τάξεως πολλών Mb/s. Παρ' όλα αυτά, ένας τέτοιος ρυθμός μετάδοσης προκαλεί καθυστέρηση των ανακλώμενων κυμάτων που ξεπερνά το χρόνο ενός συμβόλου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντική παρεμβολή των καθυστερημένων κυμάτων στο ωφέλιμο σήμα και πρέπει να καταπολεμηθεί. Ένας πολύ αποδοτικός τρόπος για να γίνει αυτό είναι η χρήση του σχήματος κωδικοποίησης OFDM. Το OFDM είναι βασισμένο σε παράλληλη μετάδοση δεδομένων που αφ' ενός μειώνει τα αποτελέσματα της πολυδιαδρομικής διάδοσης και αφ' ετέρου αποφεύγει την χρήση πολυξοδών equalizer που σε άλλη περίπτωση θα ήταν η μοναδική λύση. Η χρήση των equalizer είναι ουσιαστικά μια ανέφικτη λύση που απαιτεί συσκευή υψηλού κόστους, μεγάλου μεγέθους και με μεγάλο αποθηκευτικό χώρο προκειμένου διαδοχικά σύμβολα να αποθηκευτούν για να εξαχθούν συνολικά συμπεράσματα πάνω σε αυτά.

Ένα άλλο πρόβλημα που ανακύπτει, από την άποψη του πεδίου της συχνότητας αυτή τη φορά, είναι η διαφορετική επίδραση του καναλιού πάνω σε διαφορετικές συχνότητες του σήματος. Το σήμα που υπόκειται σε πολυδιαδρομική διάδοση υφίσταται εξασθένιση κάποιων συχνοτήτων και ενίσχυση κάποιων άλλων. Γενικά, όταν οι ζώνες συχνοτήτων είναι κοντινές υπόκεινται στην ίδια μεταβολή της ισχύος του σήματος παρουσιάζοντας μεγάλη αυτοσυσχέτιση. Το εύρος ζώνης στο οποίο παρουσιάζεται μεγάλη αυτοσυσχέτιση, ανάλογα με το όριο που έχει τεθεί, ονομάζεται εύρος ζώνης συνοχής. Σε σήματα στενής ζώνης, η παραμόρφωση είναι ελαττωμένη αν το εύρος ζώνης του σήματος είναι μικρότερο από το εύρος ζώνης συνοχής. Από την άλλη υπάρχει πιθανότητα σημαντικής απόσβεσης του σήματος σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω μεγάλης αυτοσυσχέτισης. Αντίθετα ένα σήμα ευρείας ζώνης, όπως το τηλεοπτικό, υφίσταται περισσότερη παραμόρφωση αλλά η συνολική ενέργειά του, λόγω χαμηλότερης αυτοσυσχέτισης, μεταβάλλεται λιγότερο. Λύση στο πρόβλημα της παραμόρφωσης αλλά και των παρεμβολών έρχεται να δώσει η παράλληλη μετάδοση.

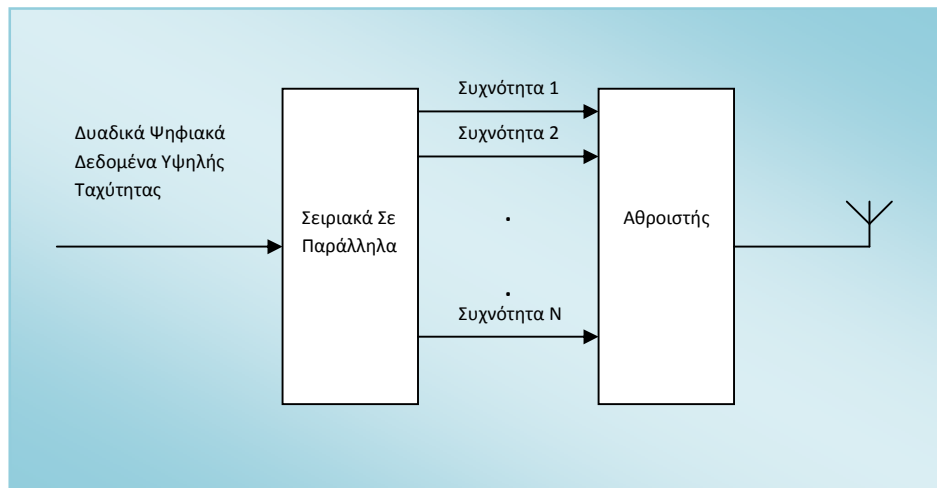
Κατά την παράλληλη μετάδοση, το μεταδιδόμενο σήμα υψηλής ταχύτητας μετατρέπεται σε χαμηλής ταχύτητας παράλληλων δεδομένων σε διαφορετικά κανάλια. Τα δεδομένα αυτά πολυπλέκονται με τη χρήση διάφορων τεχνικών πολυπλεξίας για το διαχωρισμό ανάμεσα στα υποκανάλια. Με τον παραπάνω τρόπο, η προκαλούμενη μείωση του ρυθμού bit ανά κανάλι μεγαλώνει τη διάρκεια του συμβόλου έτσι ώστε η μέγιστη καθυστέρηση λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης να είναι τελικά μικρότερη της διάρκειας συμβόλου, μειώνοντας με τη σειρά της, τις παρεμβολές λόγω καθυστερημένων εκδοχών του σήματος. Η διάκριση μεταξύ των υποκαναλιών γίνεται στην περίπτωση της OFDM με χρήση πολύπλεξης συχνότητας, δηλαδή μια τεχνική πολλαπλών φερόντων. Αυτό που κάνει την OFDM να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα σχήματα πολύπλεξης συχνότητας είναι ότι τα κανάλια είναι μαθηματικά ορθογώνια μεταξύ τους στο πεδίο της συχνότητας, με κατάλληλη επιλογή της διαφοράς συχνότητας μεταξύ τους, γεγονός που τους επιτρέπει να αλληλεπικαλύπτονται με τα γειτονικά τους. Λόγω της ορθογωνιότητας αυτής ο δέκτης μπορεί να κρατήσει το ένα από τα δύο πολυπλεγμένα σήματα και να απορρίψει το άλλο. Ως εκ τούτου, με αυτή την τεχνική μπορεί να εξοικονομηθεί

περισσότερο από το 50% του απαιτούμενου εύρους ζώνης όπως υποδεικνύεται και με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος:



**Εικόνα 27. Εξοικονόμηση εύρους ζώνης κατά 50%**

Παρακάτω παρατίθεται ένα μπλοκ διάγραμμα στο οποίο παριστάνεται η δομή ενός εκπομπού OFDM:



**Εικόνα 28. Μπλοκ Διάγραμμα Δομής εκπομπού OFDM**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα σειριακά δεδομένα μετατρέπονται σε παράλληλα  $N$  υποκανάλια. Μετά, τα μεταδιδόμενα δεδομένα κάθε παράλληλου υποκαναλιού διαμορφώνονται κατά PSK. Αν θεωρήσουμε το προκύπτον διάνυσμα  $(d_0, d_1, d_2, \dots, d_{N-1})$ , όπου  $d_i = d_{iI} + j d_{iQ}$  είναι η αντίστοιχη έξοδος του κάθε καναλιού με τη μορφή ενός μιγαδικού συμβόλου ανάλογο με το χρησιμοποιούμενο σχήμα ( $d_{iI}, d_{iQ} = [1, -1]$  για QPSK,  $[\pm 1, \pm 3]$  για 16-QAM,  $[\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7]$  για 64-QAM). Για τη δημιουργία του τελικού σήματος θα πρέπει να ανατεθούν οι παραπάνω συντελεστές ο καθένας σε ξεχωριστή συχνότητα προκειμένου να μεταδοθούν. Ένας εύκολα υλοποιήσιμος τρόπος για να γίνει αυτό είναι ο αντίστροφος διακριτός Fourier  $N$  σημείων. Το παραπάνω συνιστά ένα ακόμη συγκριτικό πλεονέκτημα της OFDM που καταργεί γεννήτριες ημιτονοειδών και την ανάγκη σύγχρονης αποδιαμόρφωσης και καθιστά τη λύση οικονομικά προσιτή. Σύμφωνα με τα παραπάνω το προς μετάδοση OFDM σήμα θα είναι:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} d_i(k) \exp(j2\pi f_i(t - kT_s)) f(t - kT_s) \quad \text{Εξίσωση 1.1}$$

όπου  $T_s$  είναι η διάρκεια συμβόλου για το σήμα OFDM και  $f_i$  ( $i=0,1,2,\dots$ ) είναι η συχνότητα του  $i$ -οστού υποφέροντος που δίδεται από τη σχέση:

$$f_i = f_0 + \frac{i}{T_s} \quad \text{Εξίσωση 1.2}$$

παρατηρούμε ότι οι συχνότητες απέχουν μεταξύ τους ακέραιο πολλαπλάσιο του  $T_s^{-1}$  επίσης, εδώ το  $f(t)$  είναι η παλμική κυματομορφή για κάθε ένα από τα σύμβολα και ορίζεται από τη σχέση:

$$f(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t \leq T_s) \\ 0 & (\text{αλλώς}) \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 1.3}$$

Αν η ορθογωνιότητα μπορούσε να διατηρηθεί, τα υποκανάλια θα μπορούσαν να απομονωθούν πλήρως με τη χρήση ενός κυκλώματος ορθού Fourier στον δέκτη. Όμως στην πράξη λόγω διασυμβολικής και διακαναλικής παρεμβολής το παραπάνω δεν είναι πάντα εφικτό, διότι το σήμα OFDM δεν είναι αυστηρά ζωνοπεριορισμένο. Η παραμόρφωση, λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης, προκαλεί σε κάθε κανάλι εξάπλωση της ισχύος και στο γειτονικό κανάλι. Επιπλέον ένα καθυστερημένο σήμα με χρόνο καθυστέρησης μεγαλύτερο του χρόνου ενός συμβόλου επηρεάζει το επόμενο σύμβολο. Για την μείωση της παραμόρφωσης, μία απλή λύση θα ήταν η αύξηση της διάρκειας συμβόλου ή του αριθμού των φερόντων. Αυτό όμως είναι δύσκολο να υλοποιηθεί λόγω αστάθειας από το μέγεθος Fourier ή λόγω φαινομένου Doppler.

Ένας τρόπος για την καταπολέμηση της διασυμβολικής παρεμβολής είναι η δημιουργία ενός διαστήματος φρουρού με κυκλική προέκταση του συμβόλου. Αυτό σημαίνει ότι κάθε σύμβολο OFDM προηγείται από μια περιοδική προέκταση του ίδιου του σήματος. Η συνολική διάρκεια του συμβόλου θα είναι  $T_{total} = T_g + T_s$ , όπου  $T_g$  είναι το διάστημα «φρουρός». Κάθε σύμβολο αποτελείται από δύο μέρη. Το ενεργό σύμβολο και ένα τελευταίο τμήμα αυτού που επαναλαμβάνεται στην αρχή του συμβόλου και αποτελεί το διάστημα «φρουρό». Όταν το διάστημα «φρουρός» είναι μεγαλύτερο σε διάρκεια από την απόκριση του καναλιού ή την καθυστέρηση πολυδιαδρομικής διάδοσης, η επίδραση της διασυμβολικής παρεμβολής μπορεί να εξαλειφθεί. Από την άλλη η διακαναλική παρεμβολή ακόμη υπάρχει. Ο λόγος του διαστήματος φρουρού ως προς τη χρήσιμη διάρκεια συμβόλου εξαρτάται από την κάθε εφαρμογή. Επειδή η προσθήκη διαστήματος φρουρού μειώνει την ρυθμιαπόδοση το  $T_g$  είναι μικρότερο του  $T_s/4$ . Στο DVB γίνεται επιλογή φρουρού μεταξύ  $T_s/4$ ,  $T_s/8$ ,  $T_s/16$ ,  $T_s/32$ . Μετά την εισαγωγή του διαστήματος φρουρού, το σήμα OFDM δίδεται από:

$$s(t) = \sum_{k'=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} d_i(k') \exp(j2\pi f_i(t - k'T_{total})) f'(t - k'T_{total}) \quad \text{Εξίσωση 1.4}$$

όπου,  $f'(t)$  είναι η τροποποιημένη κυματομορφή παλμού που ορίζεται ως:

$$f'(t) = \begin{cases} 1 & (-T_g \leq t \leq T_s) \\ 0 & (\text{αλλιώς}) \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 1.5}$$

Υπολογισμός SNR σε συστήματα μετάδοσης OFDM

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σύγκριση μεταξύ συστημάτων μονής φέρουσας και συστημάτων πολλαπλών φερουσών βασισμένη στο SNR. Όπως γνωρίζουμε, το SNR σε σύστημα μονής φέρουσας δίνεται από τη σχέση:

$$\text{SNR}_{SC} = P_s / P_n \quad \text{Εξίσωση 1.6}$$

όπου  $P_s$  και  $P_n$  η ισχύς του σήματος και του θορύβου αντίστοιχα, ενώ ο ρυθμός λάθους ανά σύμβολο δίνεται από τη σχέση:

$$\text{SER}_{SC} = (1/T) P_e / (1/T) = P_e \quad \text{Εξίσωση 1.7}$$

όπου  $T$  είναι η περίοδος του συμβόλου, και  $P_e$  είναι η πιθανότητα λάθους.

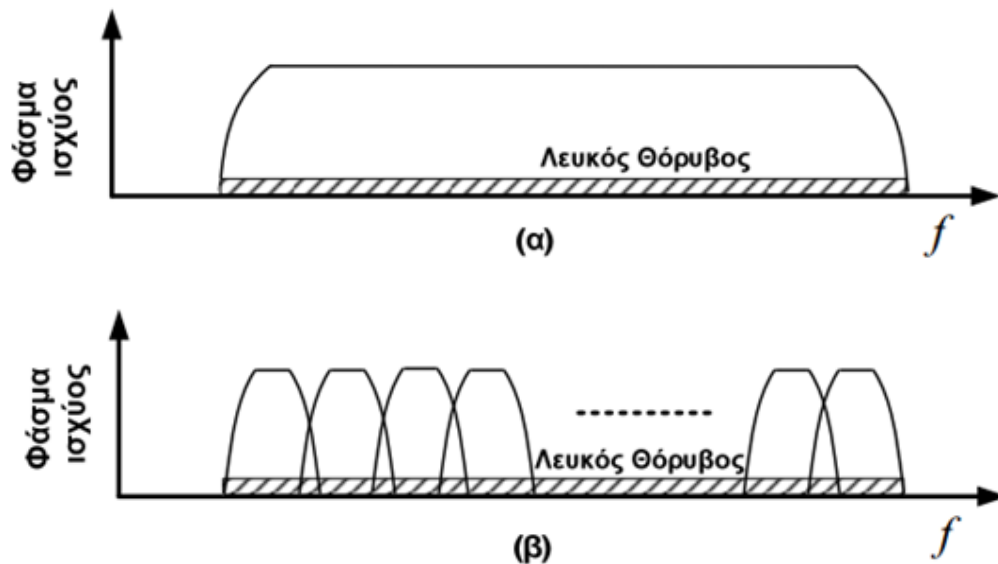
Για σύστημα πολλαπλών (έστω  $K$ ) φερουσών έχουμε αντίστοιχα:

$$\text{SNR}_{MC} = (P_s / K) / (P_n / K) = P_s / P_n = \text{SNR}_{SC} \quad \text{Εξίσωση 1.8}$$

Και

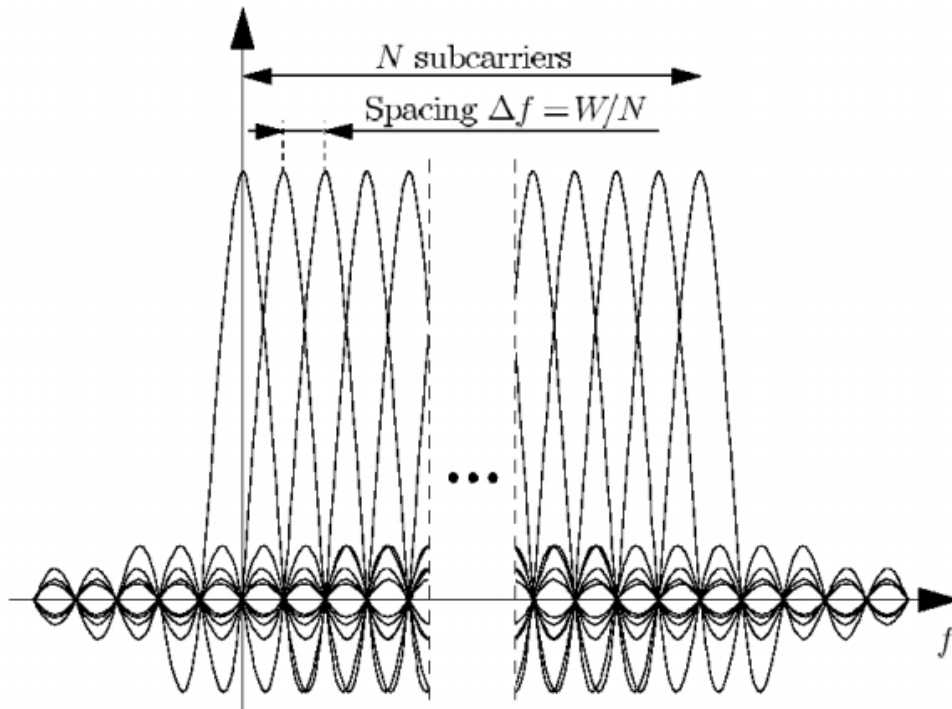
$$\text{SER}_{MC} = (1/KT) * K * P_e / (1/KT) * K = P_e = \text{SER}_{SC} \quad \text{Εξίσωση 1.9}$$

Παρατηρούμε ότι τόσο το SNR όσο και το SER (δεδομένου λευκού θορύβου) είναι το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το φάσμα του παρατηρούμενου θορύβου.



Εικόνα 29. Φάσμα λευκού θορύβου σε συστήματα α) μονής και β) πολλαπλών Φερουσών.

Το OFDM χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στην πράξη στο DVB-T και σήμερα χρησιμοποιείται σε όλα τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα ( π.χ. WiMAX, κινητά 4<sup>ης</sup> γενιάς κτλ) αλλά και ενσύρματα συστήματα (π.χ. στο DSL). Στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση το συνολικό εύρος του σήματος  $W=8\text{MHz}$  διαιρείται συνήθως σε  $N=6817$  υπό-φέροντα, τα οποία απέχουν μεταξύ τους  $\Delta f=1.1\text{ KHz}$ . Κάθε υποφέρον μεταφέρει το  $1/6817$ των συνολικών bits που μεταδίδονται.



Εικόνα 30. Η OFDM τεχνική<sup>[6]</sup>

Οι συχνοεπιλεκτικές διαλείψεις που συμβαίνουν στην πολυδιαδρομικές διαλείψεις στην πολυδιαδρομική διάδοση δεν επηρεάζουν όλο το σήμα, αλλά μόνο κάποια υπό-φέροντα. Έτσι, χάνονται μόνο τα bits που μεταφέρονται από αυτά τα υπό-φέροντα. Τα bits αυτά ανακτώνται από τον αποκωδικοποιητή καναλιού. Η χρήση της OFDM επιτρέπει ακόμη την χρήση μονοκαναλικών δικτύων (Single Frequency Networks – SFNs) δηλαδή την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής από πολλές διεσπαρμένες κεραιές εκπομπής που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και εκπέμπουν το ίδιο ακριβώς ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα. Αυτό δεν ήταν δυνατόν στην αναλογική τηλεόραση, όπου κεραιές γειτονικών περιοχών έπρεπε να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες για την αποφυγή παρεμβολών, ακόμη και αν εξέπεμπαν το ίδιο σήμα. <sup>[4], [5], [6], [16]</sup>

### 4.3 Η διαμόρφωση COFDM

Το ψηφιακό σήμα διαθέτει πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά συγκριτικά με το αναλογικό. Βασικότερο είναι το σύστημα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στις ψηφιακές εκπομπές. Η λειτουργία της ψηφιακής επίγειας τηλεόρασης στηρίζεται στην COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex)<sup>[3]</sup> διαμόρφωση, βασικό πλεονέκτημα της οποίας είναι η υψηλή προστασία του σήματος από τις απώλειες της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Με άλλα λόγια, μέχρι κάποιο σημείο, το σήμα δεν επηρεάζεται από τις συχνότητες “φαντάσματα”, έτσι το ψηφιακό σήμα μένει σχεδόν ανεπηρέαστο κάτω από συνθήκες στις οποίες το αναλογικό σήμα θα εξασθενούσε σημαντικά λόγω παρεμβολής.

Επιπλέον, το ψηφιακό σήμα παρουσιάζει μεγάλη ανοχή στην διακαναλική παρεμβολή προερχόμενη τόσο από άλλα ψηφιακά όσο και από αναλογικά σήματα. Αυτό το σπουδαίο πλεονέκτημα του ψηφιακού σήματος καθιστά δυνατή την εισαγωγή ψηφιακών υπηρεσιών σε μια ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται κατά κόρον από αναλογικά κανάλια. Σε αντίθεση με το αναλογικό σήμα το οποίο εξασθενεί ομαλά, το ψηφιακό σήμα χάνει την ισχύ του απότομα με αποτέλεσμα ένα ψηφιακό σύστημα να δίνει άριστη εικόνα σε ένα επίπεδο σήματος  $X$  dB και σχεδόν καθόλου σήμα σε ένα επίπεδο  $X-1$  ή  $X-2$  dB. Το βασικό αυτό χαρακτηριστικό του ψηφιακού σήματος χρήζει ιδιαίτερης προσοχής από τον σχεδιαστή του συστήματος, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές πολυεπίπεδων συστημάτων ώστε το μεγαλύτερο ποσοστό των χρηστών να λαμβάνει τουλάχιστον το ελάχιστο αποδεκτό σήμα. Με τον όρο πολυεπίπεδο σύστημα εννοείται, για παράδειγμα, ένα σύστημα που αποτελείται από δυο μέρη: το πρώτο θα είναι λιγότερο ευαίσθητο και θα μεταφέρει το σήμα βασικής ποιότητας, ενώ το δεύτερο θα εξασθενεί πιο απότομα αλλά θα μεταφέρει εικόνα υψηλότερης ποιότητας.

Το κύριο πλεονέκτημα της COFDM είναι ότι αντιμετωπίζει δύσκολες συνθήκες καναλιού, όπως η πολυδιάδρομη διάδοση και η στενή ζώνη παρεμβολής, χωρίς πολύπλοκα φίλτρα. Ο χαμηλός ρυθμός συμβόλων βοηθά στη διαχείριση της διασποράς του σήματος στο πεδίο του χρόνου, όπως η πολυδιάδρομη διάδοση, επιτρέποντας τη χρήση ενός διαστήματος φύλαξης (guard interval) μεταξύ των συμβόλων. Το διάστημα φύλαξης δεν καθίστα απαραίτητη την ανάγκη για ένα φίλτρο διαμόρφωσης παλμού. Το σήμα που εκπέμπεται είναι οργανωμένο σε πλαίσια. Κάθε πλαίσιο έχει διάρκεια  $T_F$  και αποτελείται από 68 σύμβολα OFDM. Τέσσερα πλαίσια απαρτίζουν ένα υπερπλαίσιο<sup>[13]</sup>. Κάθε σύμβολο συνίσταται από ένα σετ των  $K = 6817$  φερόντων στη μέθοδο των 8K και από  $K = 1705$  φέροντα στη μέθοδο των 2K και μεταδίδεται με διάρκεια  $T_S$ . Αποτελείται από δύο μέρη: ένα χρήσιμο μέρος με διάρκεια  $T_U$  και ένα διάστημα φύλαξης με διάρκεια  $T_G$ . Το διάστημα φύλαξης προηγείται και οι τέσσερις τιμές που μπορεί να πάρει φαίνονται στον Πίνακα 1. Όλα τα σύμβολα περιέχουν δεδομένα και πληροφορίες αναφοράς. Εφόσον το σήμα COFDM αποτελείται από πολλά ξεχωριστά διαμορφωμένα φέροντα, κάθε σύμβολο μπορεί με τη σειρά να θεωρηθεί ότι διαιρείται σε κελιά, με το καθένα να αντιστοιχεί στη διαμόρφωση που διαθέτει ένα φέρον κατά τη διάρκεια ενός συμβόλου. Επιπλέον, το πλαίσιο COFDM περιέχει διασκορπισμένα κελιά πιλότους, συνεχή φέροντα πιλότους και φέροντα TPS. Οι πιλότοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον συγχρονισμό πλαισίων, συχνοτήτων, χρόνου, εκτίμηση καναλιού, αναγνώριση μεθόδου μετάδοσης.

<b>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ</b>	<b>2K mode</b>	<b>8k mode</b>
Πλήθος υπο-καναλιών (N)	1705	6817
Διάρκεια OFDM συμβόλου (TU)	224	896
Εύρος υπο-καναλιού	1116	4464
Εύρος ζώνης σήματος	7.61MHz	

Πίνακας 1 . Αριθμητικές τιμές για τις παραμέτρους COFDM για τις μεθόδους στα 8 MHz

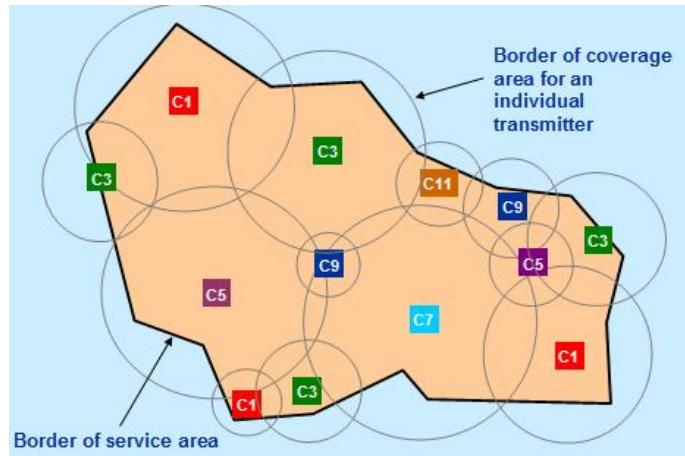
<b>Mode</b>	<b>8k</b>				<b>2k</b>			
TG/ TU	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
TU(μsec)	896				224			
TG(μsec)	224	112	56	28	56	28	14	7
TS =TU +TG (μsec)	1120	1008	952	924	280	252	238	231

Πίνακας 2 . Διάρκεια του μέρους του συμβόλου για τα επιτρεπόμενα διαστήματα φύλαξης σε κανάλια 8 MHz

Οι δύο μέθοδοι λειτουργίας, 2k και 8k, που ορίζονται για τις DVB-T και DVB-H μεταδόσεις, χρησιμοποιούνται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας και τον τρόπο λήψης. Η μέθοδος 2k είναι κατάλληλη για λειτουργία απλού εκπομπού και για μικρά SFN δίκτυα με περιορισμένες αποστάσεις μετάδοσης. Η μέθοδος 8k μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για λειτουργία απλού εκπομπού για μικρά και μεγάλα SFN δίκτυα. Η 8k δίνει και το μεγαλύτερο μέγεθος SFN κυψέλης.

#### 4.4 MFNs και SFNs

Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό των δικτύων DVB-T διαδραματίζει η έννοια των Single Frequency Networks (SFNs, Δίκτυα Μονής Συχνότητας), σε αντίθεση με τα Multi Frequency Networks (MFN, Δίκτυα Πολλαπλών Συχνοτήτων), που χρησιμοποιούνται συνήθως στην ανάπτυξη των αναλογικών συστημάτων τηλεόρασης. Ενδεικτικά, η Εικόνα 31 παρουσιάζει την οργάνωση των πομπών και των συχνοτήτων ενός συμβατικού αναλογικού δικτύου τηλεόρασης για την εκπομπή ενός τηλεοπτικού προγράμματος. Το έντονο φαινόμενο της ομοδιαυλικής παρεμβολής (co-channel interference) που εμφανίζεται στα συστήματα εκπομπής αναλογικής τηλεόρασης καθιστά απαγορευτική την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων (Frequency re-use) στα όρια μιας περιοχής. Επακόλουθο αυτού του φαινομένου είναι η μη αποτελεσματική αξιοποίηση του φάσματος και η κατασπατάληση των διαθέσιμων συχνοτήτων, γεγονός που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 31. Παράδειγμα MFN

### MFN (MULTI FREQUENCY NETWORKS)

Τα MFN αποτελούνται από πομπούς με ανεξάρτητα προγράμματα που λειτουργούν σε ανεξάρτητες συχνότητες. Προσφέρουν τη δυνατότητα μεγάλης περιοχής κάλυψης όπου οι εκπομπές μεταδίδουν διαφορετικά προγράμματα, επιτρέποντας έτσι τοπική διαφοροποίηση ως προς αυτά. Με τη χρήση τους προσεγγίζεται η κάλυψη των υπάρχοντων αναλογικών δικτύων. Απαιτείται όμως η χρησιμοποίηση διαφόρων καναλιών συχνοτήτων που ενδεχομένως να μην είναι διαθέσιμα. Ο ακριβής αριθμός εξαρτάται από την απαιτούμενη ποιότητα της μετάδοσης, την μέθοδο διαμόρφωσης και τον ρυθμό κωδικοποίησης. Ο στόχος του δικτύου, εξαρτάται από το αν έχει σχεδιαστεί να καλύψει μια μεγάλη περιοχή ή μία μικρή αλλά πυκνοκατοικημένη περιοχή.

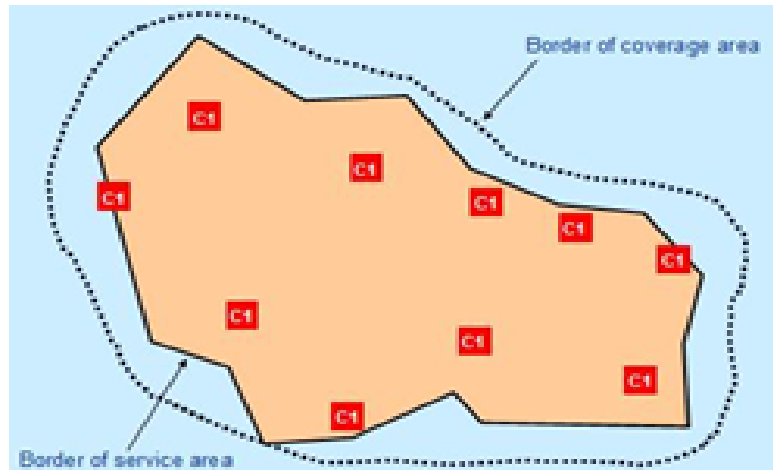
Το γεγονός ότι δεν μειώνεται σταδιακά η ποιότητα της λήψης με την μείωση της ισχύος του ληφθέντος σήματος αλλά ξαφνικά χάνεται εντελώς, δημιουργεί την ανάγκη να επιτρέπεται μία διακύμανση της τάξης των 10 με 20 dB για την ισχύ του σήματος. Συνεπώς ο αριθμός των καναλιών που απαιτούνται είναι κοντά σε αυτόν της αναλογικής τηλεόρασης. Επιπλέον, οι πομποί σε ένα τέτοιο δίκτυο δεν χρειάζεται να υπακούν σε κανόνες σύγχρονης μετάδοσης. Έτσι δεν απαιτείται κανένα είδος συγχρονισμού ανάμεσα στους πομπούς. Για τον λόγο αυτό είναι εύκολη η εγκατάσταση τοπικών υπηρεσιών σε αυτού του είδους δίκτυα.

### SFN (SINGLE FREQUENCY NETWORKS)

Σε ένα SFN όλοι οι πομποί διαμορφώνουν συγχρόνως το ίδιο σήμα και εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Λόγω του φαινομένου της πολυδιαδρομικής διάδοσης, σήματα διαφορετικών πομπών με διαμόρφωση COFDM που φτάνουν σε μία κεραία λήψης μπορούν να συνεισφέρουν θετικά στο συνολικό σήμα. Το πρόβλημα στα SFN είναι η ομοδιαλυτική παρεμβολή. Σήματα καθυστερημένα περισσότερο από όσο επιτρέπει το διάστημα διαφύλαξης (guard interval) συμπεριφέρονται περισσότερο σαν θόρυβος



και παρεμβολή παρά σαν επιθυμητά. Το διάστημα διαφύλαξης λοιπόν παίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία ενός SFN.



Εικόνα 32. Παράδειγμα SFN

Η δομή αυτή προσφέρει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή σήματος στην περιοχή κάλυψης. Συγκριτικά με τα MFN, χρειάζεται λιγότερη ισχύς για την κάλυψη της ίδιας περιοχής. Αυτό συμβαίνει διότι η ληφθείσα ισχύς δεν μεταβάλλεται πολύ, λόγω της εκμετάλλευσης της πολυδιαδρομικής διάδοσης που αναφέρθηκε παραπάνω. Οποιαδήποτε πτώση στην ληφθείσα ισχύ από έναν πομπό καλύπτεται από κάποιον άλλο. Έτσι στα SFN μπορούν να χρησιμοποιηθούν πομποί μικρότερης ισχύος. Αυτό το κέρδος σε ισχύ των SFNs συχνά λέγεται και κέρδος δικτύου. Συμβαίνει όμως με την προϋπόθεση ύπαρξης ομοιοκατευθυντικής κεραίας, χαμηλού κέρδους που σχετίζεται συνήθως με την κινητή λήψη. Γενικά όμως, η κάλυψη μίας ολόκληρης χώρας με ένα SFN είναι δύσκολη. Συνήθως χρησιμοποιούνται SFNs για την κάλυψη περιοχών με διάμετρο το πολύ 200 χιλιόμετρα.

Το μειονέκτημα των SFNs είναι η απαιτούμενη σύγχρονη λειτουργία όλων των πομπών σε ένα δεδομένο δίκτυο. Ενδεχόμενος μη συγχρονισμός ενός πομπού καθιστά το εκπεμπόμενο σήμα από αυτόν παρεμβολή. Για παράδειγμα σε ένα δίκτυο που λειτουργεί με 8K τρόπο μετάδοσης και guard interval 1/4 (224  $\mu$ s) επιτρέπεται διαφορά 5  $\mu$ s για να μην παρουσιαστεί υποβάθμιση της ποιότητας λειτουργίας.

### Συνδυασμός MFN-SFN

Αυτά τα δύο είδη δομής δικτύου μπορούν να συνδυαστούν. Μία ολόκληρη χώρα μπορεί να καλυφθεί με ένα MFN. Γύρω από κάθε πομπό όμως μπορούν να τοποθετηθούν πομποί μικρότερης ισχύος, δίνοντας έτσι τοπικό χαρακτήρα στο δίκτυο της περιοχής και δημιουργώντας εκεί ένα πυκνό SFN.

Επιπλέον, αν σε μία περιοχή κάλυψης εμφανίζονται κενά, όπως σε βαθιές κοιλάδες, υπόγειες περιοχές ή τούνελ, το σύστημα DVB-T επιτρέπει την ικανοποιητική κάλυψη τέτοιων κενών. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί αν έξω από την εν λόγω περιοχή, το σήμα λαμβάνεται από μία κατευθυντική κεραία. Αφού φιλτράρεται και ενισχύεται, το σήμα αναμεταδίδεται στην ίδια συχνότητα στην περιοχή.

## Κεφάλαιο 5 :

### Στοιχεία απόδοσης για την ψηφιακή τηλεόραση

#### 5.1 Γενικές επιπλοκές συστήματος

Η ποιότητα των σημάτων είναι ένας τομέας στον οποίο διαφέρουν τα ψηφιακά συστήματα από τα αντίστοιχά τους αναλογικά. Με τα αναλογικά τηλεοπτικά σήματα, οι μηχανικοί μπορούν εύκολα να μετρήσουν τη μεταδιδόμενη ή λαμβανόμενη ενέργεια στην αιχμή του παλμού συγχρονισμού. Η μέση ενέργεια ποικίλλει ανάλογα με το περιεχόμενο της εικόνας. Υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι για τη ξεχωριστή μέτρηση των επιπέδων ενέργειας των ακουστικών και χρωματικών φερόντων.

Για τα ψηφιακά τηλεοπτικά συστήματα, μερικές από τις πιο γνωστές μετρήσεις απόδοσης είναι αρκετά ακαθόριστες. Ένας παλμός συγχρονισμού που επαναλαμβάνεται κανονικά δεν είναι διαθέσιμος για το σκοπό της μέτρησης της αιχμής της περιβάλλουσας ενέργειας. Στα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν εικόνα, χρώμα και ήχο γίνεται πολύπλεξη σε ένα ψηφιακό συρμό, έτσι δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ τους. Εξαιτίας της τυχαίας φύσης του σήματος της βασικής ζώνης, η μέση ενέργεια μέσα στο εύρος ζώνης είναι σταθερή. Τα μέτρα ποιότητας που μας ενδιαφέρουν είναι η μέση ισχύς, η αναλογία μεγίστης ενέργειας προς την μέση, η αναλογία φέροντος προς τον θόρυβο (C/N), η αναλογία της μέσης ενέργειας ανά ψηφίο προς την πυκνότητα θορύβου ( $E_b/N_0$ ), τους ρυθμούς συμβόλων και τμηματικών σφαλμάτων (SER), τον ρυθμό σφαλμάτων σε ψηφία (BER), το άνοιγμα οφθαλμικού σχεδιαγράμματος, την ενδοσυμβολική παρεμβολή (ISI) και τη φασματική επαναληπτική αύξηση. Ο χαρακτηρισμός της γραμμικής παραμόρφωσης μέσω της απόκρισης συχνότητας και της καθυστέρησης ομάδας είναι κοινή και για τα αναλογικά και για τα ψηφιακά συστήματα.

Η ικανότητα του καναλιού είναι μια λειτουργία αναλογίας φέροντος προς θόρυβο και εύρους ζώνης καναλιού. Επομένως, οι παράγοντες που επηρεάζουν τον θόρυβο του συστήματος και τα σφάλματα μετάδοσης στον δέκτη συζητούνται παρακάτω.

##### 5.1.1 Ο θόρυβος του συστήματος

Υπό ιδανικές συνθήκες, ένα σύστημα μετάδοσης ψηφιακής τηλεόρασης θα έπρεπε να παρέχει ένα σήμα χωρίς προβλήματα σε όλες τις περιοχές λήψης μέσα στην περιοχή εξυπηρέτησης. Δεν υπάρχουν όμως ιδανικές τοποθεσίες για την επίτευξη αυτού του στόχου. Σε ένα πρακτικό σύστημα, οι γραμμικές παραμορφώσεις, οι μη γραμμικές παραμορφώσεις, και οι διάφορες πηγές θορύβων και παρεμβολής θα προκαλέσουν βλάβη στο σήμα. Το γενικό αποτέλεσμα αυτών των βλαβών είναι να υποβιβάσουν την αναλογία φέροντος προς θόρυβο συν την αναλογία παρεμβολής ( $C/(N+I)$ ). Στην απουσία παρεμβολής, αυτός ο όρος μειώνεται στον πιο γνωστό C/N.

Σκεφτόμαστε πρώτα την περίπτωση για την οποία δεν υπάρχει παρεμβολή από άλλα ψηφιακά ή αναλογικά σήματα. Γνωρίζοντας την ισχύ του ληφθέντος σήματος και την ισχύ του θορύβου στην τοποθεσία λήψης έχουμε τον καθορισμό της αναλογίας C/N. Καθώς επίσης και την περιοχή κάλυψης περιορισμένη από θόρυβο, στην απουσία απωλειών λόγω πολλαπλής διαδρομής και παρεμβολής.

Στη συζήτηση που ακολουθεί, η μέση ενέργεια φέροντος,  $C$ , θεωρείται πως είναι ίση με την  $P_r$  (ισχύς λήψης), μετά την προσαρμογή από την απολαβή κεραίας λήψης και την εξασθένηση υπερφόρτωσης.

Σε μακρινές τοποθεσίες λήψης, ο θερμικός θόρυβος θα έπρεπε να είναι η κυρίαρχη πηγή θορύβου, λόγω της απουσίας θορύβου από την πολλαπλή διαδρομή ή την παρεμβολή. Ο θερμικός θόρυβος συχνά θεωρείται πως είναι ο προσθετικός λευκός γκαουσιανός θόρυβος (AWGN). Το φάσμα ενέργειας θορύβου του AWGN είναι επίπεδο σε ένα άπειρο εύρος, με μια πυκνότητα φασματικής ενέργειας  $N_0/2$  Watt /hertz. Η ολική ενέργεια θορύβου,  $N$ , σε ένα κανάλι εύρους ζώνης,  $B$ , είναι το γινόμενο του  $N_0$  και  $B$ ,

$$N = N_0 * B \quad \text{Εξίσωση 5.1}$$

Η περισσότερη από την ενέργεια θερμικού θορύβου οφείλεται στον θόρυβο που παράγεται στα στάδια εισόδου του δέκτη. Η ολική ενέργεια θορύβου στην είσοδο του δέκτη μπορεί να εκφραστεί ως :

$$N = k * T_s * B \text{ watts} \quad \text{Εξίσωση 5.2}$$

όπου  $k$  είναι η σταθερά του Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23}$  Joules /Kelvin) και  $T_s$  είναι η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος λήψης σε Kelvin. Αυτή η φόρμουλα μπορεί να γραφτεί σε dBm :

$$N(\text{dBm}) = -198.6 + 10 \log B + 10 \log T_s \quad \text{Εξίσωση 5.3}$$

Για τη μετάδοση DVB-T, το εύρος ζώνης του καναλιού είναι 8 MHz, έτσι ώστε το όριο θερμικού θορύβου για ένα τέλειο δέκτη σε θερμοκρασία δωματίου,  $N$  να είναι ίσο με -105,7 dBm. Για να υπολογιστεί η οριακή λαμβανόμενη ενέργεια στο δέκτη  $P_r$ , το κατώφλι του λόγου φέροντος προς θόρυβο και ο δείκτης θορύβου δέκτη (Noise Figure- NF) πρέπει να προστεθούν στο όριο του θερμικού θορύβου, δηλαδή:

$$P_r = N + C/N + NF \quad \text{Εξίσωση 5.4}$$

Για σκοπούς σχεδιασμού, το σύστημα DVB-T έχει προτείνει σταθερές τιμές για τον αριθμό θορύβου λήψης, για την απώλεια της γραμμής μετάδοσης της κεραίας λήψης, και της απολαβής της κεραίας στη γεωμετρική μέση συχνότητα καθεμιάς από τις ζώνες RF. Αυτοί οι παράγοντες σχεδιασμού φαίνονται στον πίνακα 3. Για αυτό το σύστημα, το θεωρητικό κατώφλι  $C/N$  για μη ιεραρχική μετάδοση σε ένα κανάλι με AWGN ποικίλλει από 3.1 ως 29.6 dB.

DVB-T ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΛΗΨΘΕΝΣΙΑ ΙΣΧΥΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΓΙΑ 8MHz ΚΑΝΑΛΙΑ				
ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΖΩΝΗ			
	I	III	IV	V
ΚΕΡΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΛΗΨΕΩΣ $G_r$ (dB)	3.00	7.00	10.00	12.00
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΓΡΑΜΜΗΣ $L$ (dB)	1.00	2.00	3.00	5.00
ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΘΟΡΥΒΟΥ NF(dB)	5.00	5.00	5.00	5.00
ΚΑΤΩΦΛΙ $C/N$ (dB)	13.90	13.90	13.90	13.90
ΚΑΤΩΦΛΙ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΗΝ ΚΕΡΑΙΑ $P_{ma}$ (dBm)	-88.30	-91.30	-93.30	-93.30
ΚΑΤΩΦΛΙ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ ΔΕΚΤΗ $P_{mr}$ (dBm)	-86.30	-86.30	-86.30	-86.30

Πίνακας 3. Παράγοντες σχεδιασμού

Για τον Πίνακα 3, θεωρούνται ως δεδομένα ένας ρυθμός εσωτερικού κώδικα 7/8,  $\Delta/T_u$  το 1/8 και 16 QAM, δίνοντας ένα κατώφλι  $C/N$  των 13.9 dB που απαιτούνται για να επιτευχθεί ένα BER (Bit Error Rate) της τάξης του  $2 * 10^{-4}$  πριν

την αποκωδικοποίηση. Ο αντίστοιχος ρυθμός δεδομένων ωφέλιμου φορτίου είναι 19.35 Mbps. Εφόσον αυτό είναι μόνο ένα από τα πολλά πιθανά σενάρια, οι καταχωρήσεις σε αυτόν τον πίνακα δε θα έπρεπε να θεωρηθούν ως παράγοντες σχεδιασμού. Επιπλέον, οι διαφορετικές τιμές της απολαβής της κεραίας και της απώλειας γραμμής θεωρούνται ως δεδομένες για τα υψηλότερα και χαμηλότερα τμήματα της ζώνης UHF.

Στον ιεραρχικό τρόπο, το σύστημα DVB-T απαιτεί υψηλότερο κατώφλι C/N και επιτυγχάνει χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Για αυτή τη στιγμή έχει μετρηθεί απώλεια υλοποίησης για το DVB-T περίπου 2.7 dB. Καθώς οι ανακαλύψεις στο λογισμικό και το υλικό αυξάνονται, περιμένουμε καλύτερα αποτελέσματα στην απόδοση της εφαρμογής του DVB-T.

### 5.1.2 Εξωτερικές πηγές θορύβων

Τα παραπάνω αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν την ελάχιστη ισχύ που απαιτείται σε ένα περιβάλλον που περιορίζεται από τον τυχαίο θόρυβο, εξαιτίας του δέκτη. Για να βρούμε τον συνολικό θόρυβο του συστήματος, πρέπει να συμπεριληφθεί το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας θορύβου κεραίας,  $T_a$ , και η συνεισφορά του θορύβου της γραμμής μετάδοσης της κεραίας προς δέκτη. Το αποτέλεσμα είναι μια εικονική θερμοκρασία που εξηγεί τον ολικό θόρυβο στην είσοδο του δέκτη. Όταν οι επιδράσεις της κεραίας και της γραμμής στο σύνολο περιλαμβάνονται, η ολική διαθέσιμη ισχύς θορύβου στον δέκτη είναι:

$$N = (k \cdot T_a \cdot B / a_r) + (a_r - 1) \cdot k \cdot T_0 \cdot B + k \cdot T_r \cdot B \quad \text{Εξίσωση 5.5}$$

όπου  $a_r$  είναι ο παράγοντας εξασθένησης της γραμμής,  $T_0$  είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, και  $T_r$  είναι η θερμοκρασία θορύβου δέκτη. Η ισχύς του θορύβου της κεραίας εξασθενεί από τη γραμμή μετάδοσης. Και η συνεισφορά του θορύβου της γραμμής προστίθεται κατευθείαν στον θόρυβο του δέκτη. Η θερμοκρασία θορύβου του δέκτη σχετίζεται με τον παράγοντα θορύβου,  $F$ , με βάση τον τύπο :

$$F = 1 + (T_r/T_0) \quad \text{Εξίσωση 5.6}$$

Ο δείκτης θορύβου του δέκτη σχετίζεται με τον δείκτη θορύβου με τον τύπο:

$$NF = 10 \log ( F ) \quad \text{Εξίσωση 5.7}$$

Με τον συνυπολογισμό αυτών των παραγόντων, η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος, που αναφέρεται στην είσοδο του δέκτη, δίνεται από τη σχέση:

$$T_r = N/kB \quad \text{Εξίσωση 5.8}$$

Η επίδραση του ανθρώπινου θορύβου στη VHF αναγνωρίζεται στις οδηγίες εφαρμογής για DVB-T. Η ισχύς του θορύβου υποτίθεται πως αυξάνεται κατά 6 dB στη ζώνη I και 1 dB στη ζώνη III. Δε λαμβάνονται υπόψη οι ανθρώπινοι θόρυβοι στις ζώνες IV και V.

### 5.2 Σφάλματα μετάδοσης

Τουλάχιστον τρεις διαφορετικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρηθούν τα σφάλματα μετάδοσης: ο ρυθμός σφαλμάτων των τμημάτων, ο ρυθμός σφαλμάτων των ψηφίων, και ο ρυθμός των συμβολικών σφαλμάτων. Ο ρυθμός συμβολικών σφαλμάτων ορίζεται ως η πιθανότητα ενός συμβολικού

σφάλματος πριν την κωδικοποίηση της διόρθωσης σφαλμάτων με πρόβλεψη (FEC). Αυτή είναι γνωστή ως  $E_b/N_0$ . Η σχέση μεταξύ του  $C/N$  και του  $E_b/N_0$  μπορεί να προέλθει από τα παρακάτω. Η μέση ενέργεια φέροντος μπορεί να γραφτεί ως:

$$C = E_s / T \quad \text{Εξίσωση 5.8}$$

όπου  $E_s$  ορίζεται ως η ενέργεια ανά σύμβολο και  $T$  είναι ο συμβολικός χρόνος. Η μέση ενέργεια ανά ψηφίο είναι επομένως :

$$E_b = C/R_b = E_s / (T \cdot R_b) = E_s / \log_2 M \quad \text{Εξίσωση 5.9}$$

όπου  $R_b$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης σε ψηφία ανά δευτερόλεπτο και  $M$  είναι ο αριθμός των επιπέδων. Για παράδειγμα, για τη 8 PSK,  $M = 8$ , έτσι ώστε  $E_b = E_s/3$ . Διαιρώντας και τις δυο πλευρές με  $N_0$ , βλέπουμε πως το  $E_b/N_0$  σχετίζεται με το  $C/N$  με :

$$E_b/N_0 = C / (R \cdot N_0) = (C/N) \cdot (R_b/BW) \quad \text{Εξίσωση 5.10}$$

Και οι δυο ποσότητες εκφράζονται συνήθως σε ντεσιμπέλ, ώστε η δεύτερη έκφραση γράφεται συχνά ως :

$$E_b/N_0(\text{dB}) = C/N(\text{dB}) - 10 \log(R_b/BW) \quad \text{Εξίσωση 5.11}$$

Το εύρος ζώνης του θορύβου στο δέκτη υποτίθεται πως είναι ίσο με το εύρος ζώνης του καναλιού. Αυτή η έκφραση επιτρέπει μια σωστή σύγκριση της σχετικής απόδοσης διαφορετικών συστημάτων με διαφορετικά όρια κατωφλίου  $C/N$  και ρυθμούς δεδομένων στη βάση του  $E_b/N_0$ , με την προϋπόθεση πως οι ρυθμοί σφαλμάτων είναι ισοδύναμοι. Εάν οι ρυθμοί λαθών δεν είναι ισοδύναμοι χρειάζονται περαιτέρω ρυθμίσεις. Για παράδειγμα ένα 6 MHz σύστημα με  $R=2/3$  κωδικοποίηση και  $1/32$  διάστημα φύλαξης μας δίνει ρυθμούς δεδομένων  $R=17.9$  Mbit/s. Ο ρυθμός σφαλμάτων των τμημάτων αναφέρεται στην πιθανότητα ενός σφάλματος σε ένα τμήμα δεδομένων, μετά από διόρθωση σφαλμάτων με πρόβλεψη.

### 5.3 Παρεμβολή

Αν και το κατώτατο όριο θορύβου είναι μια χρήσιμη έννοια για την εκτίμηση της μέγιστης έκτασης κάλυψης, στον πραγματικό κόσμο η παρεμβολή είναι συχνά παρούσα, τείνοντας να θέσει περισσότερους περιορισμούς στην κάλυψη. Τα σήματα παρεμβολής μπορούν να προέρχονται από ομοιοκαναλικούς και γειτονικούς σταθμούς καναλιών. Τα περισσότερα απομακρυσμένα σήματα σε συχνότητα μπορεί είτε να είναι αρμονικά είτε προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Σε κάθε περίπτωση, το επίπεδο αυτών των σημάτων και η πηγή τους βρίσκεται συνήθως εκτός ελέγχου των σταθμών τους οποίους παρενοχλούν. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μετάβασης, η παρεμβολή μπορεί να προέρχεται και από αναλογικά και από ψηφιακά τηλεοπτικά σήματα. Οι γεωγραφικές τοποθεσίες, τα κανάλια, και η εκπεμπόμενη ισχύ (Effective Radiated Power-ERP) των υπαρχόντων αναλογικών σταθμών είναι επί του παρόντος σταθερές. Οι ψηφιακοί σταθμοί θα βρίσκονται γενικά κοντά ή μέσα σε αναλογικούς χώρους με επαρκή ισχύ για να αντικαθιστούν την αναλογική υπηρεσία. Αυτοί οι παράγοντες και οι προσδιορισμοί καναλιών των ψηφιακών υπηρεσιών είναι το σημείο εκκίνησης για την ανάλυση των παρενοχλήσεων. Η διάδοση των σημάτων παρεμβολής εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες που επηρεάζουν το επιθυμητό σήμα. Με δεδομένο το ERP, η τοποθέτηση των πύργων, και η λειτουργία των καναλιών, σε μια συγκεκριμένη

τοποθεσία εξαρτάται από την απόσταση, τους τοπογραφικούς παράγοντες, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τις πηγές πολλαπλής διαδρομής.

## 5.4 Ομοιοκαναλική παρεμβολή

Ο δέκτης ψηφιακής τηλεόρασης ανιχνεύει ένα ομοιοκαναλικό ψηφιακό σήμα ως απλά μια άλλη πηγή θορύβου. Όταν η τιμή  $C/N_0$  είναι μικρότερη από το όριο λόγω του συνδυασμού θερμικών πηγών και παρεμβολής, η λήψη θα αποτύχει. Ο θερμικός θόρυβος και η ισχύς σημάτων παρεμβολής είναι πρόσθετες, έτσι ώστε το κατώφλι  $C/(N_0 + I)$  αυξάνεται σε αντίστροφη αναλογία προς την ομοιοκαναλική παρενόχληση. Όταν η τιμή  $C/I$  είναι υψηλή, ας πούμε μεγαλύτερη από 35 dB, το όριο  $C/N_0$  πλησιάζει τα 15.2 dB, την τιμή που είναι χωρίς παρεμβολές. Καθώς η παρεμβολή αυξάνεται, το όριο  $C/N_0$  αυξάνεται αντίστοιχα. Είναι προφανές πως κοντά στην περιοχή κάλυψης που είναι περιορισμένη από θόρυβο, το ελάχιστο  $C/I$  είναι πολύ υψηλότερο από ότι σε περιοχές όπου το  $C/N_0$  είναι υψηλό. Στην περιοχή κάλυψης που είναι περιορισμένη από θόρυβο, δεν μπορεί να γίνει ανεκτή καμία παρεμβολή.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου μετάβασης, οι ομοιοκαναλικοί αναλογικοί σταθμοί μπορούν επίσης να επηρεάσουν την εκπομπή σήματος στην ψηφιακή τηλεόραση. Τα δεδομένα δοκιμών ήταν η βάση της κατανομής καναλιών στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου χρησιμοποιείται μια αναλογία αναλογικής προς ψηφιακής ομοιοκαναλικής προστασίας των 1.8 dB. Για το DVB-T, η αντίστοιχη αναλογία προστασίας είναι 4 dB. Γενικά, δε θα έπρεπε να αναμένεται βελτίωση από τη χρήση ακριβές αντισταθμιστή φέροντος από αναλογικούς πομπούς εφόσον τα σήματα παρεμβολής μπορούν να προέρχονται από οποιονδήποτε από τους πολλούς σταθμούς. Μερικοί αναλογικοί σταθμοί μπορούν να προκαλέσουν αντιστάθμιση στο φέρον της εικόνας κατά 10 kHz, με μια απόκλιση μέχρι και 1 kHz.

## 5.5 Παρεμβολή διπλανού καναλιού

Ένα σήμα διπλανού καναλιού μπορεί να είναι το επιθυμητό σήμα για ένα άλλο σταθμό ή το αποτέλεσμα προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης τρίτης ή υψηλότερης στάθμης που παράγονται στον ενισχυτή ισχύος ή σε άλλους πομπούς. Οποιαδήποτε και να είναι η πηγή, αυτά τα σήματα εμφανίζονται ως βλαβερές για το σήμα πλευρό-ζώνες στο διπλανό κανάλι. Όταν παράγονται από ψηφιακούς τηλεοπτικούς πομπούς, αυτά τα συστατικά εμφανίζονται ως θόρυβοι. Οι προδιαγραφές για το σύστημα DVB-T ορίζουν αυστηρά όρια παρενόχλησης στην έξοδο του συστήματος του πομπού. Στον θόρυβο που παραμένει μετά την εφαρμογή προστίθενται θόρυβοι και από άλλες πηγές. Υπάρχει πολύ μικρή διαφορά μεταξύ της επίδρασης της παρεμβολής από υψηλότερες ψηφιακές τηλεοπτικές πλευρό-ζώνες και της επίδρασης από χαμηλότερες. Η διαφορά αυτή παρουσιάζει απόκλιση περίπου κατά 45 dB. Αυτό ισοδυναμεί με την ολική ισχύ θορύβου.

## 5.6 Διαλείψεις

Στην περίπτωση που το αμφίδρομο δίκτυο ψηφιακής τηλεόρασης απευθύνεται σε κινητούς χρήστες, μόνο και μόνο λόγω της μετακίνησης των χρηστών δημιουργούνται νέες παράμετροι και παράγοντες που επιβαρύνουν την απόδοση του

δικτύου, τους οποίους θα πρέπει να είναι και σε θέση να αντιμετωπίσει. Οι κυριότεροι από αυτούς τους παράγοντες είναι οι διαλείψεις και τα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης. Οι διαλείψεις είναι γνωστές ως το επίπεδο ισχύος του λαμβανόμενου πεδίου που μπορεί να ποικίλει έντονα λόγω των ατμοσφαιρικών διαταραχών. Στην αναλογική τηλεόραση, βέβαια ο όρος «διάλειψη» είναι ουσιαστικά άγνωστος, περισσότερο γίνεται λόγος για «σκιές κεραιών» ή «εικόνες ειδώλων».

Οι διαλείψεις είναι δευτερεύουσας σημασίας δεδομένου ότι μπορούν να αντιμετωπιστούν σχεδόν εξολοκλήρου μέσω της κατευθυντικότητας και του ακριβούς προσανατολισμού της κεραίας Yagi για τη σταθερή λήψη τηλεοπτικού σήματος στο σπίτι. Παρόλα αυτά, τα διάφορα φαινόμενα διαλείψεων μπορούν να παρατηρηθούν στην αναλογική καλωδιακή τηλεόραση, παραδείγματος χάριν σε μια ομάδα διαμερισμάτων που συνδέεται με το καλωδιακό δίκτυο με μια ή περισσότερες υποδοχές κεραιών σε κάθε διαμέρισμα. Εάν οι υποδοχές δεν τερματιστούν ανάλογα, προκύπτουν ανακλάσεις με σταθερό επίπεδο ισχύος και φάση που μπορεί να προκαλέσουν εξασθένηση αρκετών dB σε ακριβώς υπολογίσιμα σημεία στο καλώδιο. Εκτός από την αναλογική τηλεόραση και η λήψη δορυφορικού τηλεοπτικού σήματος μπορεί να εξασθενήσει από διαλείψεις. Γνωστά φαινόμενα είναι το τρεμόπαιγμα (flickering) της λαμβανόμενης εικόνας που προκαλείται από τα αεροπλάνα ή μια πτώση στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος που προκαλείται από μία επερχόμενη καταιγίδα.

Όλες οι παραπάνω καταστάσεις λήψης έχουν το εξής κοινό, ο δέκτης είναι σταθερός και υπάρχει πάντα άμεση γραμμική οπτικής επαφής με τον πομπό του τηλεοπτικού σήματος (line of sight – LOS). Εξετάζοντας τις διαλείψεις από τη μεριά του DVB, οι επιρροές στην καλωδιακή (DVB-C) και τη δορυφορική (DVB-S) λήψη είναι παρόμοιες με αυτές στην αναλογική λήψη μιας και η μετάδοση χαρακτηρίζεται από σταθερό δέκτη. Το DVB-T όμως, καλύπτει τη μετάδοση τόσο για σταθερό όσο και για κινητό δέκτη, πράγμα που οξύνει την επιρροή των διαλείψεων.

### 5.6.1 Διαλείψεις μεγάλης και μικρής κλίμακας

Σε ένα σύστημα ασύρματων επικοινωνιών, τα σήματα μπορεί να ταξιδεύουν μέσω πολλαπλών διαδρομών μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτό το φαινόμενο που καλείται πολυδιαδρομική διάδοση, έχει ως αποτέλεσμα ο δέκτης του σήματος να παρατηρεί αλλαγές στο πλάτος, τη φάση και τη γωνία άφιξης του εκπεμπόμενου σήματος. Αυτές οι αλλαγές που συνιστούν το φαινόμενο γνωστό ως πολυδιαδρομικές διαλείψεις, χαρακτηρίζονται από δύο κύριες μορφές: μεγάλης κλίμακας και μικρής κλίμακας διαλείψεις. Επιπλέον αυτές οι μορφές προκαλούν συγκεκριμένους τύπους εξασθένησης του σήματος.

Η πρώτη μορφή διαλείψεων, οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας, αναφέρεται στην απώλεια διαδρομής που προκαλείται όταν το σήμα ταξιδεύει πάνω από μεγάλες περιοχές. Οι διαλείψεις μεγάλης κλίμακας χαρακτηρίζουν τις απώλειες λόγω των αρκετά μεγάλων φυσικών αντικειμένων στην πορεία του σήματος όπως είναι οι λόφοι ή τα δάση. Η απώλεια διαδρομής χαρακτηρίζεται από μια μέση απώλεια λόγω της απόστασης μεταξύ του πομπού και του δέκτη και των χαρακτηριστικών περιβάλλοντος διάδοσης και μια διακύμανση γύρω από τη μέση απώλεια.

Από την άλλη, οι διαλείψεις μικρής κλίμακας, χαρακτηρίζουν τα αποτελέσματα των μικρών αλλαγών στο διάστημα μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκληθούν από την κινητικότητα του πομπού, του δέκτη ή των ενδιάμεσων αντικειμένων στην πορεία του σήματος. Οι μικρής κλίμακας

αλλαγές οδηγούν σε ιδιαίτερες διακυμάνσεις του πλάτους και της φάσης των σημάτων. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας είναι επίσης γνωστές ως διαλείψεις Rayleigh, δεδομένου ότι η διακύμανση της περιβάλλουσας του σήματος είναι κατανομημένη κατά Rayleigh όταν δεν υπάρχει κύρια διαδρομή μεταξύ του πομπού και του δέκτη (δεν υπάρχει οπτικής επαφής, non line of sight – NLOS). Όταν υπάρχει κύρια διαδρομή μεταξύ πομπού και δέκτη, δηλαδή γραμμή οπτικής επαφής ή ισχυρή συνιστώσα κατοπτρικής ανάκλασης από συγκεκριμένη γωνία, οι διακυμάνσεις περιγράφονται στατιστικά από την κατανομή Rice, οπότε και το φαινόμενο αναφέρεται ως διαλείψεις Rice.

### 5.6.2 Διαλείψεις Rice

Μπορούμε να φανταστούμε ότι, στο ασύρματο περιβάλλον των επικοινωνιών, το κινητό τερματικό λαμβάνει πολλά ανακλώμενα κύματα και ένα άμεσο. Τα ανακλώμενα κύματα που λαμβάνονται από το τερματικό καταφθάνουν από διαφορετικές γωνίες. Συνήθως το άμεσο κύμα παρουσιάζεται σχετικά πιο ισχυρό, σε σύγκριση με τα ανακλώμενα. Το μοντέλο που περιγράφει αυτή την κατάσταση λέγεται στατιστικό μοντέλο Rice.<sup>[9]</sup> Η συνάρτηση κατανομής Rice περιγράφεται από την πιο κάτω εξίσωση.<sup>[12]</sup>

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) \quad \text{Εξίσωση 5.12}$$

όπου  $r$ : η απόσταση  
 $\sigma$ : η τυπική απόκλιση  
 $I_0(\cdot)$ : η συνάρτηση Bessel μηδενικού βαθμού  
 Και

$$A = \sqrt{2 \cdot \sigma^2 \cdot 10^{\frac{K}{10}}} \quad \text{Εξίσωση 5.13}$$

Όπου,  $K = \frac{\text{ισχύς του άμεσου κύματος}}{\text{ισχύς των ανακλώμενων κυμάτων}}$

$2\sigma^2$ : δηλώνει τη μέση ισχύ της διαδρομής λήψης, που είναι το άθροισμα όλων των ανακλώμενων διαδρομών που φτάνουν με την ίδια καθυστέρηση

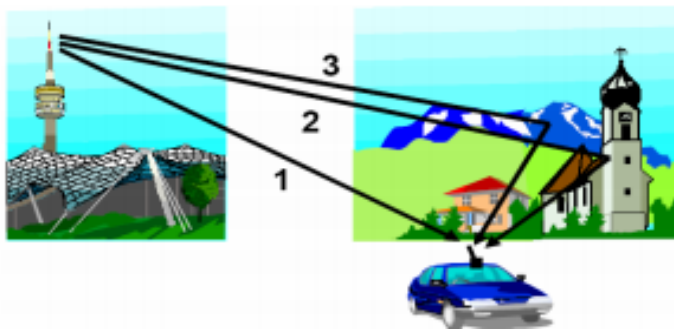
Οι διαλείψεις Rice προκαλούνται από αντηχήσεις ολισθημένες κατά Doppler που ακολουθούν κατανομή Gauss, αλλά επιπλέον υπάρχει πάντα μια άμεση διαδρομή του σήματος από τον πομπό στο δέκτη. Η άμεση διαδρομή 1 μεταξύ πομπού-δέκτη ωθεί σημαντικά το επίπεδο ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Αυτή η διαδρομή μπορεί στην περίπτωση κινητού δέκτη να επηρεαστεί μόνο από το φαινόμενο Doppler. Εκτός από την άμεση διαδρομή, λαμβάνονται και πολλές αντηχήσεις. Εφόσον οι αντηχήσεις φθάνουν από διαφορετικές κατευθύνσεις, η γωνία  $\varphi$  για τον υπολογισμό της ολίσθησης Doppler δεν είναι σταθερή για κινητό δέκτη. Επομένως, το φάσμα των διαλείψεων Rice λαμβάνεται ως εξής:



Η γωνία με τη χαμηλότερη πιθανότητα είναι  $\varphi = 90^\circ$ , για το λόγο ότι ο δέκτης πολύ σπάνια εκτελεί κυκλική κίνηση γύρω από τον πομπό. Συνεπώς, το χαμηλότερο επίπεδο βρίσκεται στη συχνότητα  $f$ . Ανάλογα με την κατεύθυνση του κινούμενου δέκτη σε σχέση με τον πομπό, η αιχμή του επιπέδου ισχύος ολισθαίνει προς τις υψηλότερες ή χαμηλότερες συχνότητες ως αποτέλεσμα του φαινομένου Doppler.

Οι σχετικές για τις διαλείψεις Rice παράμετροι είναι:

- Οι παράμετροι του φαινομένου Doppler
- Οι παράμετροι των αντηχήσεων, απώλεια διαδρομής και καθυστέρηση
- Πρόσθετες παράμετροι για την κύρια συνιστώσα:
  - Ο λόγος ισχύος (dB), που καθορίζει το ύψος της αιχμής ισχύος
  - Ο λόγος συχνότητας, που καθορίζει τη σχετική ως προς τη  $\Delta f_D$  ολίσθηση



Εικόνα 33. Κατανομή Rice

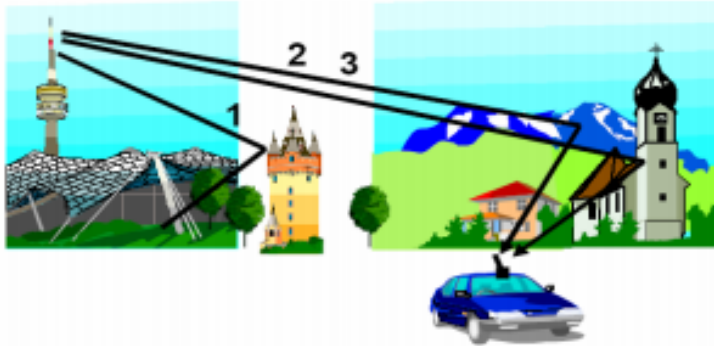
### 5.6.3 Διαλείψεις Rayleigh

Οι διαλείψεις Rayleigh, όπως και οι διαλείψεις Rice, προκαλούνται από αντηχήσεις ολισθημένες κατά Doppler με μια γκαουσιανή κατανομή, μόνο που σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή πομπού και δέκτη (non line of sight – NLOS). Εκτός του απλού προσθετικού θορύβου σε περιπτώσεις κινητών εφαρμογών σε αστικές περιοχές ή σε εσωτερικά περιβάλλοντα συναντάμε επίσης φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης. Εμπόδια όπως μηχανήματα και έπιπλα εσωτερικά ή κτίρια και δένδρα εξωτερικά επιδρούν στο λαμβανόμενο σήμα κατά τη διάδοσή του από το πομπό στον δέκτη. Κατά την πορεία του αυτή το σήμα ανακλάται ή σκεδάζεται στα παραπάνω εμπόδια με αποτέλεσμα στον πομπό να φθάνουν πολλές εκδοχές του σήματος που μπορούν να περιλαμβάνουν το απ' ευθείας σήμα, τα ανακλώμενα και τα σκεδαζόμενα σήματα. Καθώς κάθε εκδοχή του σήματος ακολουθεί ξεχωριστή διαδρομή, ο χρόνος που θέλει κάθε κύμα να φθάσει στο δέκτη είναι διαφορετικός. Επιπρόσθετα και η φάση του κύματος κυμαίνεται λόγω των ανακλάσεων. Το αποτέλεσμα είναι ότι στο δέκτη φθάνει μια υπέρθεση σημάτων με διαφορετικό χρόνο άφιξης και φάση δηλαδή μια υπέρθεση καθυστερημένων σημάτων σε σχέση με το απ' ευθείας σήμα.<sup>[7]</sup>

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι προφανές ότι ανάλογα με τα καθυστερημένα σήματα που καταφθάνουν στο δέκτη, το λαμβανόμενο σήμα μπορεί να ενισχύεται ή να εξασθενεί και αυτές οι αλλαγές να αλλάζουν από στιγμή σε στιγμή. Ένα τέτοιο περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερα BER ενώ είναι απαραίτητος κάποιος

μηχανισμός πρόβλεψης εξασθένισης για την επίτευξη μετάδοσης υψηλής επίδοσης. Το μοντέλο που περιγράψαμε προηγουμένως, δεν μπορεί να είναι και τόσο αξιόπιστο σε περιβάλλον όπου το σήμα που λαμβάνει τελικά ο δέκτης αποτελείται από ασθενή ή έμμεσα κύματα που υπάρχουν συνήθως στον περίγυρό του. Όλα τα ανακλώμενα κύματα που λαμβάνονται από το κινητό τερματικό συνδυάζονται ώστε να παρέχουν ένα σήμα πολλαπλών διαδρομών με διαλείψεις. Έχει αποδειχθεί θεωρητικά ότι, όταν ο αριθμός των προσπιπτόντων επίπεδων κυμάτων που καταφθάνουν από διάφορες κατευθύνσεις στο δέκτη είναι αρκούντως μεγάλος και δεν υπάρχει ισχυρή συνιστώσα προερχόμενη από διάδοση οπτικής επαφής, τότε η περιβάλλουσα του λαμβανόμενου σήματος έχει κατανομή Rayleigh.<sup>[9]</sup> Η συνάρτηση κατανομής Rayleigh περιγράφεται από την πιο κάτω εξίσωση:<sup>[12]</sup>

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Εξίσωση 5.14}$$



Εικόνα 34. Κατανομή Rayleigh

Οι σχετικές παράμετροι για τις διαλείψεις Rayleigh είναι:

- Παράμετροι του φαινομένου Doppler δηλαδή:
  - ✓  $v$  = η ταχύτητα του κινητού
  - ✓  $f$  = η συχνότητα φέροντος του πομπού
  - ✓  $\varphi$  = η γωνία μεταξύ της δευτερεύουσας διαδρομής του σήματος και της κύριας,  $0 < \varphi < \pi$ .
- Παράμετροι αντηχήσεων:
  - ✓ απώλειες διαδρομής
  - ✓ καθυστέρηση

Η λαμβανόμενη ισχύς σε συνάρτηση με το χρόνο παρουσιάζει βυθίσματα που προκαλούνται σε αυτήν την περίπτωση μόνο από την υπέρθεση όλων των αντηχήσεων με διαφορετικά πλάτη και φάσεις στην κεραία λήψης.

## Κεφάλαιο 6 :

### Οι μελλοντικές εξελίξεις της ψηφιακής τηλεόρασης

Η Επίγεια Ψηφιακή Τηλεόραση αποτελεί τη νέα τεχνολογία μετάδοσης σήματος, η οποία σταδιακά αντικαθιστά την παραδοσιακή αναλογική που γνωρίζαμε μέχρι σήμερα. Αποτελεί μια απόφαση της Παγκόσμιας Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) και ισχύει για όλες τις χώρες παγκοσμίως, με καταληκτική χρονιά το 2015. Το μεσοδιάστημα της αλλαγής από το αναλογικό στο ψηφιακό σήμα ονομάζεται ψηφιακή μετάβαση. Σε κάθε ψηφιακή μετάβαση απελευθερώνεται φάσμα συχνοτήτων. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπομπή σήματος υψηλής ευκρίνειας (HD), από τη στιγμή που η πολιτεία προβεί στις κατάλληλες ρυθμίσεις. Πρόκειται για το λεγόμενο ψηφιακό μέρισμα.

Στην Ελλάδα η μετάβαση αυτή έχει ξεκινήσει από το 2009 και περισσότερο από το 60% του ελληνικού πληθυσμού παρακολουθεί ήδη ψηφιακά. Μέχρι τις 5 Ιουλίου 2012 είχαν καλυφθεί ήδη μεγάλες γεωγραφικές περιοχές όπως η Δυτική Ελλάδα, η Ρόδος, η Θράκη, η Θεσσαλία, και μεγάλες πόλεις όπως η Πάτρα και η Θεσσαλονίκη. Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση είναι το παρόν και το μέλλον της τηλεόρασης. Οι άμεσες δυνατότητες είναι το εξαιρετικά ποιοτικό σήμα, η άριστη ποιότητα εικόνας και ήχου χωρίς διακοπές, χιόνια και είδωλα και διαδραστικές υπηρεσίες όπως ο ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος.

Πιο συγκεκριμένα,

- Το Κέντρο Εκπομπής «Ξυλόκαστρο» καλύπτει τον Κορινθιακό Κόλπο
- Τα Κέντρα Εκπομπής «Χορτιάτης» και «Φιλίππειο» στη Θεσσαλονίκη, καλύπτουν περιοχές της Θεσσαλονίκης και την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας
- Τα Κέντρα Εκπομπής «Υμηττός» και «Αίγινα» καλύπτουν το λεκανοπέδιο της Αττικής, τα Μεσόγεια, τις Δυτικές Ακτές των Κυκλάδων και τις Νότιες Ακτές της Ευβοίας
- Το Κέντρο Εκπομπής «Πλάκα» στην Αλεξανδρούπολη, καλύπτει περιοχές της νοτιοδυτικής Θράκης (νότιο τμήμα του Ν. Έβρου, νότιο τμήμα του Ν. Ροδόπης, νοτιοανατολικό τμήμα της Ξάνθης αλλά και βόρειο τμήμα της Σαμοθράκης, και πόλεις όπως την Αλεξανδρούπολη, την Κομοτηνή, την Ξάνθη κ.α.)
- Το Κέντρο Εκπομπής «MonteSmith» στη Ρόδο, καλύπτει περιοχές της βορειοδυτικής πλευράς του Ρόδου και ανατολικά της πόλης
- Το Κέντρο Εκπομπής «Δοβρούτσι» καλύπτει περιοχές των νομών Λαρίσης, Τρικάλων και Καρδίτσας
- Το Κέντρο Εκπομπής «Ακαρνανικά» καλύπτει τις πόλεις του Αγρινίου, της Πρέβεζας, της Λευκάδας, τμημάτων των πόλεων Ζακύνθου, της Άρτας, και της Πάργας, τμημάτων των Ιονίων νήσων, καθώς και περιοχές των νομών Αιτωλοακαρνανίας, Άρτας, Πρέβεζας και Αχαΐας
- Το Κέντρο Εκπομπής «Αρόη» καλύπτει τις πόλεις της Πάτρας, του Μεσολογγίου και της Ναυπάκτου, καθώς και των παράλιων του νότιου τμήματος του νομού Αιτωλοακαρνανίας, μεγάλου τμήματος του νομού Αχαΐας και των βορειοδυτικών παράλιων του νομού Ηλείας.

## 6.1 Η HDTV είναι το μέλλον της τηλεόρασης

Καθώς η τεχνολογία προχωρά με γρήγορους ρυθμούς, το αποτέλεσμά της είναι να βλέπουμε στην οθόνη μας όλο και περισσότερα κανάλια υψηλής ευκρίνειας. Θα μπορούσαμε να πούμε πως μετά την μετάβαση από την ασπρόμαυρη στην έγχρωμη τηλεόραση, η μετάβαση στην τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας είναι από τα πιο σημαντικά βήματα στην ιστορία της τηλεόρασης.

Η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική εξέλιξη. Δεν βελτίωσε απλώς την εικόνα στον τηλεοπτικό μας δέκτη. Αυτό που έκανε ήταν ότι δημιούργησε νέα διάθεση για να δει κανείς τηλεόραση. Τα ζωντανά χρώματα, η ευκρίνεια της λεπτομέρειας, σε συνάρτηση με τον κρυστάλλινο ήχο, έκαναν απολαυστική την θέαση τηλεοπτικών προγραμμάτων. Μέχρι πρότινος μόνο με την χρήση ανάλογης πηγής βίντεο απολαμβάναμε τις δυνατότητες αυτές.

Ιδιαίτερα για τους φίλους των αθλητικών μεταδόσεων, το αποτέλεσμα στην οθόνη είναι εντυπωσιακό. Τον τελευταίο καιρό τα κανάλια στην δορυφορική τηλεόραση που μεταδίδουν το πρόγραμμα τους σε υψηλή ευκρίνεια αυξάνονται και είναι απολύτως βέβαιο πως θα κυριαρχήσουν τα επόμενα χρόνια όταν η συμβατική τηλεόραση θα εκλείψει με την μορφή που υπάρχει σήμερα.

Όλο και περισσότερα κανάλια υψηλής ευκρίνειας εμφανίζονται σχεδόν καθημερινά στο δορυφορικό τόξο, άλλα εντελώς καινούργια και άλλα σε έκδοση υψηλής ευκρίνειας υφιστάμενων καναλιών. Βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις για να μπορεί ο τηλεθεατής να παρακολουθήσει αυτά τα προγράμματα θα έπρεπε να πληρώνει κάποια συνδρομή. Ο βασικός όρος της δορυφορικής τηλεόρασης που λέει πως το καλό πληρώνεται ισχύει και σε αυτή την περίπτωση. Ωστόσο τον τελευταίο καιρό κάνουν την εμφάνιση τους στο δορυφορικό τόξο και κάποια κανάλια υψηλής ευκρίνειας που μεταδίδουν το σήμα τους ελεύθερα, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται να πληρώσει κανείς συνδρομή για να τα παρακολουθήσει. Αυτή η τάση θα συνεχιστεί ακάθεκτη, καθώς όλο και πιο πολλά ελεύθερα κανάλια θα περάσουν και αυτά στην εποχή της υψηλής ευκρίνειας. Ωστόσο πέρα από το τι μας επιφυλάσσει το μέλλον, προς το παρόν η συντριπτική πλειοψηφία των καναλιών υψηλής ευκρίνειας είναι συνδρομητική και ένα μικρό μέρος ελεύθερο, ικανό ωστόσο να μας προσφέρει ένα ικανοποιητικό ζάπινγκ. Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι για να δούμε στην τηλεόραση μας ελεύθερα δορυφορικά κανάλια υψηλής ευκρίνειας, θα πρέπει να έχουμε και έναν αντίστοιχο δέκτη.

Θέτοντάς το σε απλή πρακτική βάση, η έννοια του High Definition δεν είναι τίποτε άλλο από μία σειρά υψηλών αναλύσεων. Θεωρώντας την ανάλυση του DVD (720x480 και 720x576) ως σήμα Standard Definition (SD), η έννοια του HD προσθέτει δύο σημαντικές υψηλότερες αναλύσεις, μία στα 1280x720 pixels και την ακόμη υψηλότερη των 1920x1080 pixels<sup>[26]</sup>. Ένα σήμα video μπορεί να μεταδίδεται είτε με προοδευτική σάρωση (progressive) για μέγιστη ποιότητα, είτε με πεπλεγμένη (interlaced) για εξοικονόμηση αποθηκευτικού χώρου και κυρίως bandwidth (ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων). Έτσι, οι δύο αναλύσεις του HD μπορούν να είναι τύπου "p" (progressive) ή "i" (interlaced), εξού και όροι όπως 720p, 1080i, 1080p

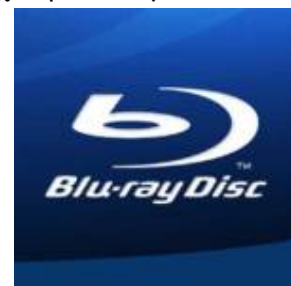


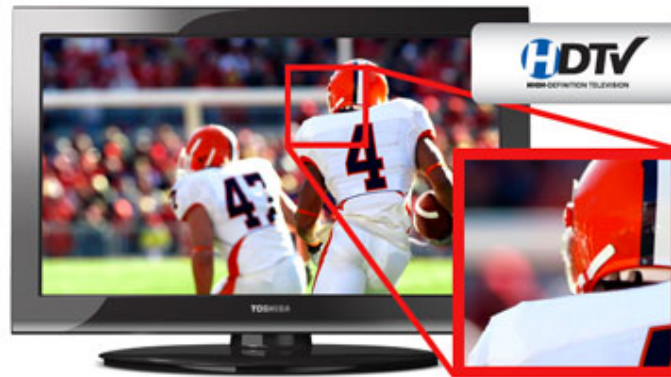
κ.λπ. Το σήμα "p" διαθέτει το διπλάσιο αριθμό καρέ ανά δευτερόλεπτο σε σχέση με το "i", και επομένως χαρακτηρίζεται από πιο ομαλή κίνηση αλλά και αυξημένες απαιτήσεις σε bandwidth, αποθηκευτικό χώρο, επεξεργαστική ισχύ κ.α.

Το πιο συνηθισμένο λάθος που γίνεται σε σχέση με την ψηφιακή τηλεόραση, είναι το ότι οι περισσότεροι τη θεωρούν ισοδύναμη με το HD. Έχουμε ψηφιακή τηλεόραση, απλά και μόνον όταν ένα κανάλι εκπέμπει ψηφιακό και όχι αναλογικό σήμα. Έτσι το ψηφιακό σήμα είναι αναγνωρίσιμο από επίγειους ψηφιακούς δέκτες. Το ότι το σήμα είναι ψηφιακό, δεν σημαίνει ότι είναι και υψηλής ανάλυσης.

Οι τηλεοπτικοί σταθμοί στη Ελλάδα εκπέμπουν ψηφιακά εκπέμπουν κυρίως σε ανάλυση SD. Ακόμη και αν έχουμε μία τηλεόραση LCD για παράδειγμα, θα πρέπει να προμηθευτούμε εξτρά έναν αυτόνομο δέκτη. Στην πράξη, οι περισσότεροι τηλεοπτικοί σταθμοί στον κόσμο, από αυτούς που έχουν ήδη μεταβεί σε ψηφιακή εκπομπή, λειτουργούν είτε με σήμα 720p, είτε με σήμα 1080i<sup>[26]</sup>. Στα 720p λειτουργούν κατά βάση οι σταθμοί που εστιάζουν σε αθλητικές μεταδόσεις. Ουσιαστικά, κάθε δέκτης θα μπορεί να λαμβάνει όλους τους σταθμούς και εν συνεχεία να μετατρέπει το σήμα στην ανάλυση που είναι κατάλληλη για την τηλεόρασή μας. Αυτό άλλωστε συμβαίνει και σήμερα, όταν συνδέουμε το DVD μας ή απλά παρακολουθούμε ένα κανάλι στην νέα μας Full HD TV. Ούτε το DVD, ούτε οποιοδήποτε ελληνικό κανάλι εκπέμπει σε τέτοια ανάλυση. Είτε το DVD player, είτε η ίδια μας η τηλεόραση, πραγματοποιούν το επονομαζόμενο upscaling αλλάζοντας την ανάλυση της εικόνας ώστε να ταιριάζει με αυτήν της συσκευής μας.

Όλο αυτό το υλικό υψηλής ευκρίνειας, θα πρέπει φυσικά να αποθηκευτεί σε κάποιο μέσο, και αυτό το μέσο είναι το Blu-Ray. Πρόκειται για έναν δίσκο οπτικής τεχνολογίας με μέγεθος σαν αυτό του DVD (διάμετρος 12 εκατοστά), ο οποίος είναι αφενός πολύ πιο πυκνογραμμένος από ένα DVD, αφετέρου χρησιμοποιείται μπλε-μωβ ακτίνα για να διαβάσουν τα δισκάκια, και όχι κόκκινη όπως τα DVD players. Τα δισκάκια Blu-ray έχουν δεκαπλάσια χωρητικότητα από τα DVD, με αποτέλεσμα να χωρούν σχεδόν 9 ώρες βίντεο υψηλής ανάλυσης, ή αλλιώς 45 ώρες βίντεο στην ανάλυση που έχουμε συνηθίσει από τα DVD. Το περιεχόμενο μπορεί να κωδικοποιηθεί με διάφορους τρόπους (ο codecs H.264 είναι ο πιο συνηθισμένος), ενώ ο μέγιστος αποθηκευτικός χώρος εκτινάσσεται στα 50GB. Μερικές από τις ενδιαφέρουσες αλλαγές που έχουν υλοποιηθεί στο Blu-Ray, σε σχέση πάντα με το DVD, είναι οι εξής: Ο πρώτος λόγος είναι καθαρά πρακτικός, είναι η τεχνολογία που προορίζεται για την αντικατάσταση των DVD. Οι εταιρίες υποστηρίζουν την τεχνολογία έτσι, όλο και περισσότερες ταινίες κυκλοφορούν σε Blu-ray και σε λίγα χρόνια το DVD θα είναι δυσεύρετο, όπως η βιντεοκασέτα σήμερα. Εκτός αυτού, τα Blu-ray players είναι συμβατά και με DVD, δηλαδή θα παίζουν και της παλιές μας ταινίες. Ο δεύτερος λόγος έχει να κάνει με την ποιότητα της εικόνας. Η εικόνα ενός Blu-ray σε τηλεόραση υψηλής ανάλυσης είναι εκπληκτικά καθαρή και τα χρώματα ολοζώντανα. Έτσι, η εμπειρία του να παρακολουθεί κανείς μια ταινία δεν διαφέρει καθόλου από αυτό που βλέπει στον κινηματογράφο. Επίσης, η μεγάλη χωρητικότητα των δίσκων σημαίνει πως υπάρχει χώρος και για άφθονα extras στο δισκάκι μιας ταινίας όπως ο σχολιασμός της ταινίας, ντοκιμαντέρ από τα γυρίσματα, συνεντεύξεις, trailers, ακόμα και interactive δραστηριότητες, χωρίς αυτό να αφαιρεί καθόλου από την ποιότητα εικόνας και ήχου της ταινίας. Οι τιμές των τηλεοράσεων υψηλής ευκρίνειας και των Blu-ray players μειώνονται με σταθερό ρυθμό. Το Blu-ray έχει έρθει για να καθιερωθεί.





Εικόνα 35. 40 inch picture quality with high definition 1080p

## 6.2 Ultra HDTV το επόμενο βήμα στην τηλεόραση

Η ανάλυση 4K ή αλλιώς με την επίσημη ονομασία της Ultra HD, αποτελεί το επόμενο βήμα στον τομέα της τηλεόρασης και το 2012 σηματοδοτείται ως η χρονιά που τέθηκε ο θεμέλιος λίθος για την νέα επανάσταση στον τομέα της εικόνας. Το 4K είναι το νέο standard ανάλυσης στα 3840 x 2160 pixels ή 4096 x 2160 pixels, που παρέχει τέσσερις φορές μεγαλύτερη ανάλυση από το παρόν FullHD (1920x1080 pixels). Το 4K χρειάζεται τόσο, όσο και το HD (1080p) όταν μεσουρανούσε το SD, με τα 576p. Βέβαια όσο εξελίσσεται η τεχνολογία, θα καταρρίπτεται το ένα ρεκόρ μετά το άλλο. Το σίγουρο επίσης είναι, πως μετά τα 4K θα έρθουν τα 8K, τα 12 ή 16K κ.ά. Η τεχνολογία δεν έχει όρια. Όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις μας τόσο αυξάνονται και τα απόλυτα νούμερα. Σε κάθε νέα τάξη πραγμάτων, θα αναφερόμαστε σε μία μικρή νέα επανάσταση. Θα προσαρμοζόμαστε σε αυτήν έως ότου εμφανιστεί η επόμενη. Σήμερα, η αγορά μίας 46άρας τηλεόρασης ή ακόμα και μία 55άρας δεν αποτελεί ουτοπία. Όμως, σε απόλυτα πλαίσια όσο μεγαλώνει η διαγώνιος, τόσο πιο φτωχή φαίνεται η ανάλυση στα 1080p. Ενώ στις 40 ίντσες τα 1080p φαίνονται αρκετά, στις 55 plus είναι φτωχά. Μαθαίνουμε διαρκώς να βλέπουμε με ολοένα μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια.

Σε αυτό συμβάλλει και η ραγδαία ανάπτυξη των smartphones & tablets τα οποία συναρτήσει των διαγωνίων, παρέχουν πολύ υψηλές αναλύσεις και πυκνότητα pixel ανά ίντσα (ppi). Δείτε λόγω χάρη το νέο iPad, ανάλυση 2048x1536 pixels από μία οθόνη μόλις 9.7 ιντσών και πυκνότητα 264ppi. Ήδη βιώνουμε ακόμα καλύτερες επιδόσεις. Πολύ μικρά displays με πυκνότητα που ξεπερνά τα 400ppi. Σίγουρα η ποιοτικότερη εικόνα, είναι θεμιτή. Όμως δρα και σαν δέλεαρ η αγορά της τηλεόρασης, αφού έκανε τον κύκλο της με την μετάβαση από τις CRT στις επίπεδες ψηφιακές τηλεοράσεις (LCD & Plasma) την προηγούμενη δεκαετία.

## 6.3 Η Διαδικτυακή τηλεόραση (IPTV)

Ένα σημαντικό ζήτημα που αντιμετωπίζεται στις επιχειρήσεις σήμερα είναι πώς να μεταφερθούν οι πληροφορίες στους υπαλλήλους με τρόπο ουσιαστικό και εξυπηρετικό. Ένας αποτελεσματικός τρόπος είναι να διανεμηθεί το πολυμεσικό υλικό μέσω ενός δικτύου Ethernet. Ένα δίκτυο επιτρέπει την

παράδοση ζωντανού ή καταγεγραμμένου βίντεο και ήχου, συνδιάσκεψης, από απόσταση εκμάθησης, και παρουσιάσεων ζωντανής κίνησης σε οποιοδήποτε υπολογιστή που συνδέεται με το δίκτυο. Η ιδέα εξετάζοταν, αλλά η τεχνολογία προσφάτως ωρίμασε ώστε να την κάνει πραγματικότητα και να την υλοποιήσει στις εφαρμογές. Η IP-TV είναι μια πρόσφατη σύλληψη, η οποία προωθεί μεθόδους κατανεμημένου βίντεο και ήχου. Καθώς και άλλων πολυμεσικών υλικών μέσω ενός δικτύου το οποίο αναπτύσσεται όπως η τηλεόραση. Στο πρότυπο της IP-TV, πολλαπλά κανάλια διαφορετικού περιεχομένου θα είναι διαθέσιμα και εύκολα προς χρήση από έναν πελάτη που εργάζεται σε έναν υπολογιστή γραφείου ή κάποια εξειδικευμένη συσκευή. Για την επέκταση της IP-TV, διάφορες τεχνολογίες εμπλέκονται, όπως η ποιότητα υπηρεσιών (QoS), πρωτόκολλα πολλαπλής διανομής, εξειδικευμένες μορφές κωδικοποίησης βίντεο και ειδικευμένοι κεντρικοί υπολογιστές καθώς και πελάτες.

### 6.3.1 Το δίκτυο της IP-TV

Η IP-TV χρησιμοποιεί ένα μοντέλο server-client, προστατεύοντας το σχεδιασμό της απέναντι στην προσέγγιση τύπου ένας-προς-πολλούς (one-to-many). Οι κεντρικοί υπολογιστές (servers) που χρησιμοποιούνται για την IP-TV έχουν δύο σημαντικές δομές<sup>[25]</sup>. Σε κάθε μία περίπτωση, οι κεντρικοί υπολογιστές (servers) είναι μεγάλης χωρητικότητας μηχανήματα, τα οποία έχουν πολύ γρήγορες συνδέσεις στο δίκτυο. Εντούτοις, ο ένας τύπος κεντρικού υπολογιστή σχεδιάζεται για την καταγραφή ζωντανών δεδομένων βίντεο και ήχου, ώστε να κωδικοποιηθούν αποτελεσματικά και να μεταδοθούν μέσω του δικτύου. Ο άλλος είναι ένας κεντρικός υπολογιστής, ο οποίος αποθηκεύει δεδομένα στη μνήμη cache για γρήγορη προσπέλαση και κρατά το ηχογραφημένο εκ των προτέρων περιεχόμενο ώστε να το παραδίδει κατ' απαίτηση (on demand). Οι πελάτες της IP-TV μπορούν να είναι βασισμένοι είτε στο υλικό είτε στο λογισμικό. Οι περισσότεροι από αυτούς υποστηρίζουν συγκεκριμένα φορμάτ υψηλής απόδοσης κωδικοποίησης βίντεο όπως το MPEG-4, αλλά υπάρχουν και μερικοί που δουλεύουν βάσει της μονοπωλιακής κωδικοποίησης βίντεο με το φορμάτ Microsoft Windows Media Player 9. Ο κεντρικός υπολογιστής και οι πελάτες διαμορφώνονται έτσι ώστε να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον, γεγονός το οποίο μειώνει τις γενικότερες δαπάνες για την ενσωμάτωση μηχανισμών ανακαλύψεων και συγχρονισμού. Επομένως επιτρέπεται γρηγορότερη και αποδοτικότερη επικοινωνία. Μεταξύ του πελάτη και του κεντρικού υπολογιστή το δίκτυο πρέπει να έχει ενεργοποιημένη την ποιότητα υπηρεσιών τόσο για τις ροές βίντεο όσο και για τις ροές ήχου ώστε να διατηρήσει την ακεραιότητά τους και να μην τις αλλοιώνει από άλλους τύπους 'κίνησης'.

Όπως με οποιοδήποτε δίκτυο που παραδίδει πολυμεσικό υλικό, η υποδομή πρέπει να υποστηρίζει τα πρωτόκολλα πολλαπλής διανομής. Οι IP-TV εφαρμογές χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα πολλαπλής διανομής αραιού - τρόπον για να παραδώσουν το υλικό. Άλλωστε έχουν σχεδιαστεί με σκοπό τη διανομή από μια πηγή προς πολλούς συνδρομητές και αποδίδουν καλύτερα σε δίκτυα όπου το εύρος ζώνης έχει μεγάλη αξία. Αυτήν την περίοδο,<sup>[25]</sup> η κύρια τάση στη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών είναι να παρασχεθούν οι υπηρεσίες της IP-TV στο μέσο καταναλωτή. Εντούτοις, ο μέσος καταναλωτής δεν έχει πάντα μια αρκετά γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο για να εκμεταλλευθεί πλήρως τις υπηρεσίες αυτές. Τελικά, καθώς το Gigabit Ethernet (GigE) και το

10GigE γίνονται κομμάτι της καθημερινότητας και η πρόσβαση μεγάλων ταχυτήτων στο διαδίκτυο είναι ευρέως διαθέσιμες, η IP-TV θα είναι μια πραγματικότητα.

Εντούτοις, μέχρι τότε, οι παροχείς υπηρεσιών IP-TV θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν τις τρέχουσες μεθόδους όπως η πρόσβαση στο δίκτυο μέσω του τηλεοπτικού καλωδίου, της τηλεφωνικής γραμμής ή της ασύρματης πρόσβασης. Ευτυχώς, το δίκτυο μιας επιχείρησης έχει αρκετό εύρος ζώνης και είναι προσπελάσιμο από όλους τους υπαλλήλους, γεγονός το οποίο ανοίγει έναν ολόκληρο νέο κόσμο δυνατοτήτων για τις εφαρμογές IP-TV.

### 6.3.2 Εφαρμογές της IP-TV

Οι επιχειρήσεις τείνουν να αποκτήσουν πολλά διασκορπισμένα γραφεία σε ολόκληρη τη χώρα τους ή ακόμα και τον κόσμο, όμως η επικοινωνία τους περιορίζεται στο επίπεδο του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και της τηλεφωνίας. Ενώ αυτές οι μέθοδοι είναι επαρκείς για πολλούς σκοπούς, υπάρχουν φορές κατά τις οποίες δε μπορούν να μεταφέρουν αρκετή πληροφορία ώστε να είναι αποτελεσματικές. Για παράδειγμα, εάν προσπαθούσαμε να εκπαιδύσουμε μια ομάδα υπαλλήλων στο πώς να χειρίζεται ένα πρόγραμμα λογισμικού χρησιμοποιώντας ένα ενδιάμεσο γραφικό, θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να ολοκληρώσουμε το έργο αυτό μέσω τηλεφώνου. Ένα οπτικό μέσο μεταβιβάζει περισσότερες πληροφορίες και αυξάνει το ενδιαφέρον του ακροατηρίου ενώ επιτρέπει θέματα, που είναι πιο περίπλοκα να καλυφθούν ευκολότερα. Η IP-TV εξυπηρετεί πολύ καλά τέτοιες περιπτώσεις και μπορεί να εφαρμοστεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Από απόσταση εκπαίδευση
- Επιχειρησιακά σεμινάρια
- Τηλεοπτική διάσκεψη
- Τηλεοπτική και ακουστική αρχειοθέτηση
- Τηλεόραση εσωτερικού κλειστού κυκλώματος

### 6.3.3 Τα πλεονεκτήματα της IP-TV

Αυτό που είναι μοναδικό στην IP-TV είναι ότι έχει πολλαπλά κανάλια υψηλής ποιότητας περιεχομένου, αλλά οι τεχνικές συμπίεσης που χρησιμοποιούνται είναι αποδοτικότερες και απαιτούν λιγότερο εύρος ζώνης από άλλες συγκρίσιμες τεχνολογίες. Στο παρελθόν, για την πλήρη εκμετάλλευση διαφορετικών ροών πολυμεσικού περιεχομένου θα χρειαζόσαστε πολλαπλούς κεντρικούς υπολογιστές (servers). Σαν χρήστης, που θέλει να βρει αυτές τις ροές πολλαπλής διανομής έπρεπε να λειτουργήσει 'αναζητώντας', εάν ήξερε πού να κοιτάξει στο δίκτυο. Η IP-TV<sup>[25]</sup> λύνει τα προβλήματα με την ανάπτυξη κεντρικών υπολογιστών, που μπορούν να χειριστούν τις πολλαπλές αυτές ροές αμέσως και να τις παρέχουν στους πελάτες -χρήστες για να τις περιεργαστούν μέσω των διαθέσιμων ροών IP-TV.

Ένας πελάτης IP-TV ή ένας θεατής βασισμένος σε ένα πρόγραμμα λογισμικού ή μιας συσκευής IP-TV δίνει στο χρήστη έναν τρόπο να 'κινηθεί' μέσα στο διαθέσιμο περιεχόμενο για να βρει τι θέλει. Θα ήταν δυνατό να



αναπτυχθούν πολλαπλοί τύποι κατάρτισης οι οποίοι θα ήταν προσιτοί από σχεδόν οπουδήποτε μέσα στο εταιρικό δίκτυο. Οι υπάλληλοι μπορούν πλέον να συνεργαστούν μέσω της τηλεοπτικής διάσκεψης και να εκμεταλλευτούν τα νέα και άλλους τύπους πληροφοριών. Αεροπορικές εταιρίες χρησιμοποιούν την IP-TV για να παρέχει διαφορετικά κανάλια ψυχαγωγίας στους επιβάτες της μέσω ενός ασύρματου δικτύου. Οποιοσδήποτε επιβάτης με ένα laptop, έναν ασύρματο μετασχηματιστή και έναν viewer (Windows Media Player) έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τα διαφορετικά κανάλια ενώ περιμένει την πτήση του. Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής είναι το πανεπιστήμιο με την δημιουργία μιας τηλεοπτικής βιβλιοθήκης που μπορεί να προσεγγιστεί από οπουδήποτε στην πανεπιστημιούπολη. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι χρήσιμο σχεδόν σε κάθε ακαδημαϊκό τμήμα.

## 6.4 Ψηφιακή διαδραστική τηλεόραση

Αρκετοί ορισμοί έχουν προταθεί για τη διαδραστική τηλεόραση, χωρίς όμως να υπάρχει ομοφωνία για το ποίος ακριβώς αποτυπώνει τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του νέου μέσου. Η διαδραστική τηλεόραση απαιτεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση κατανόησης και μπορεί να οριστεί ως η εμπειρία που βιώνει ο χρήστης (τηλεθεατής) από την ενεργό συμμετοχή της επικοινωνίας, η οποία εμπλέκει τουλάχιστον ένα χρήστη και μία ή περισσότερες οπτικοακουστικές δικτυωμένες συσκευές. Σε αυτόν τον ορισμό περιλαμβάνονται, όχι μόνο διαφορετικοί τρόποι μετάδοσης του περιεχομένου (DVB-S/C/T/H), αλλά και διαφορετικές συσκευές (τηλεόραση, υπολογιστής, κινητές συσκευές). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η διαδραστικότητα με την ευρεία έννοια αποτελεί χαρακτηριστικό και της αναλογικής τηλεόρασης. Πράγματι, οι τηλεθεατές συμμετέχουν σε ένα τηλεπαιχνίδι παίρνοντας τη θέση του διαγωνιζόμενου ή του κοινού, συζητούν και σχολιάζουν διάφορα τηλεοπτικά προγράμματα και γεγονότα είτε κατά τη διάρκεια της μετάδοσής του είτε σε δεύτερο χρόνο ή ακόμα αποθηκεύουν σε ψηφιακούς δίσκους και μοιράζονται τηλεοπτικό περιεχόμενο. Σε αυτό το πλαίσιο η ψηφιακή διαδραστική τηλεόραση προσφέρει τη δυνατότητα για την υποστήριξη της υφιστάμενης συμπεριφοράς του τηλεθεατή και την ανάπτυξη για την ανάδειξη νέων συμπεριφορών, οι οποίες βασίζονται στην αξιοποίηση της διαδραστικότητας. Η διαδραστικότητα μπορεί να οριστεί ως χαρακτηριστικό ενός μέσου με το οποίο ο χρήστης μπορεί να επηρεάσει τη μορφή ή το περιεχόμενο της οπτικοακουστικής παρουσίασης. Με αυτούς τους όρους η διαδραστικότητα προϋποθέτει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της πηγής και του λήπτη του περιεχομένου ή της υπηρεσίας. Στην απλούστερή της μορφή όμως η διαδραστικότητα μπορεί να υλοποιηθεί και χωρίς την ύπαρξη καναλιού επιστροφής. Συγκεκριμένα, τα συστήματα διαδραστικής τηλεόρασης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το κανάλι επιστροφής που υποστηρίζουν:

- Μονόδρομη διαδραστικότητα (ή ψευδο-διαδραστικότητα)

Στην περίπτωση αυτή η επιπλέον πληροφορία (κείμενο, γραφικά, οπτικοακουστικό περιεχόμενο) μεταδίδονται κυκλικά από την πηγή και ο χρήστης συντονίζεται στη συχνότητα μετάδοσης (π.χ., teletext, επανάληψη φάσης σε ποδοσφαιρικούς αγώνες κ.λπ.). Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη καναλιού επιστροφής. Τα συστήματα διαδραστικής τηλεόρασης που ανήκουν σε αυτή την

κατηγορία καλούνται και «συστήματα εμπλουτισμένης τηλεόρασης» (enhanced TV systems).

- Τοπική διαδραστικότητα

Ο χρήστης ελέγχει το περιεχόμενο μέσω συσκευών, όπως Personal Video Recorders/Personal Digital Recorders, και μπορεί να το αποθηκεύσει, να εκτελέσει συγκεκριμένες συνήθειες λειτουργίες (stop, play, forward κ.λπ.), αλλά και πιο εξελιγμένες λειτουργίες (time-shift, skip) μέσω εφαρμογών που μπορούν να εκτελεστούν στο set-top box. Τα συστήματα διαδραστικής τηλεόρασης αυτής της κατηγορίας ονομάζονται και συστήματα εξατομικευμένης τηλεόρασης (personalized TV systems), αφού ο χρήστης μπορεί να εξατομικεύσει το περιεχόμενο σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προτιμήσεις του.

- Πλήρης διαδραστικότητα

Αμφίδρομη επικοινωνία μέσω καναλιού επιστροφής, το οποίο μπορεί να υλοποιείται από μια απλή Dial-up σύνδεση έως και ταχύτατη επικοινωνία βασισμένη σε DSL υποδομή. Τα αιτήματα του χρήστη που στέλνονται σε κάποιον εξυπηρετητή μπορεί να εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο ή σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Επιπλέον, μπορεί να ανταλλάξει ιδιοπαραγόμενο περιεχόμενο με άλλους χρήστες (τεχνολογία P2P) ή με κάποιον πάροχο υπηρεσιών. Στο πλαίσιο της σύγκλισης των διάφορων μέσων παρατηρούμε ότι υποδομές από διαφορετικές πλατφόρμες επικοινωνίας μπορούν να υποστηρίξουν τη διαδραστικότητα. Έτσι, πέρα από την αξιοποίηση πλατφορμών βασισμένων σε πρωτόκολλο IP ή και 3G, το κινητό τηλέφωνο αποτελεί σήμερα την πιο διαδεδομένη μορφή καναλιού επιστροφής μέσω της χρήσης SMS μηνυμάτων (SMS TV). Η ευκολία χρήσης του SMS, π.χ., για συμμετοχή σε ψηφοφορίες αλλά και η αξιοποίησή του από τους παρόχους ως πηγή εσόδων έχουν ωθήσει τη χρήση κινητού ως μια εύχρηστη λύση στο πρόβλημα του καναλιού επιστροφής για απλές μορφές δεδομένων.

#### 6.4.1 Διαδραστικές υπηρεσίες και εφαρμογές

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε πέντε ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία) με υψηλά ποσοστά διείσδυσης της ψηφιακής τηλεόρασης σχετικά με τις προτιμώμενες υπηρεσίες, σε ένα σύνολο 1.035 προσφερόμενων υπηρεσιών οι υπηρεσίες που σχετίζονται με τη διασκέδαση και την ενημέρωση είναι οι πιο δημοφιλείς σε ένα σύνολο πέντε κατηγοριών, όπου περιλαμβάνονται ακόμα υπηρεσίες παραγωγικότητας (π.χ., υπηρεσίες e-government, home banking), ηλεκτρονικού εμπορίου μέσω τηλεόρασης και επικοινωνίας (π.χ., chat). Υφιστάμενες ή αναδυόμενες υπηρεσίες/εφαρμογές, όπως video-on-demand, electronic program guides, interactive advertising, e-learning, e-commerce, home banking, e-government, games, betting, social TV ή νέες μορφές διαδραστικής τηλεόρασης μέσω ευρυζωνικών δικτύων (mobile TV, Internet TV/ IPTV), παρέχουν νέες ευκαιρίες, αλλά θέτουν και προκλήσεις τόσο σε αυτούς που εμπλέκονται στη ανάπτυξη της ψηφιακής τηλεόρασης όσο και στους τελικούς χρήστες.

Είναι ενδεικτικό ότι η διαδραστική διαφήμιση δημιουργεί νέα δεδομένα στον τηλεοπτικό διαφημιστικό χώρο, αφού επιτρέπει τον εμπλουτισμό των διαφημιστικών

μηνυμάτων με διαδραστικά στοιχεία, καθώς και τη δημιουργία νέων μορφών διαφήμισης. Παρουσιάζεται έτσι για πρώτη φορά η δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας διαδραστικών δεδομένων, που αποκαλύπτουν τόσο τα πραγματικά ποσοστά θέασης της διαφήμισης, όσο και τα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις των τηλεθεατών. Μια ακόμα σημαντική συνέπεια αυτής της δυνατότητας είναι η δημιουργία εξατομικευμένων διαφημίσεων βάσει του προφίλ των χρηστών.

Από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές στο χώρο της ψηφιακής τηλεόρασης, όπου προσφέρεται πληθώρα καναλιών και προγραμμάτων, είναι οι Ηλεκτρονικοί Οδηγοί Προγράμματος, αφού υποστηρίζουν, όχι μόνο λειτουργίες παρουσίασης/αναζήτησης προγράμματος, αλλά εξυπηρετούν και ως πύλες σε πληροφορία σχετιζόμενη με το περιεχόμενο ή ακόμα και ως χώρος στοχευόμενης διαφήμισης. Από την άλλη πλευρά, νέες μορφές τηλεόρασης που αξιοποιούν την τεχνολογική σύγκλιση και κυρίως τα ευρυζωνικά δίκτυα (IPTV, mobile TV) αναδεικνύουν νέες ευκαιρίες για πλήρως διαδραστικές εφαρμογές και υπηρεσίες τόσο για πρόσβαση σε επιλεγμένο περιεχόμενο ή ανταλλαγή μεταξύ των χρηστών (P2P) ιδιοπαραγόμενου περιεχομένου όπως βίντεο, φωτογραφίες, σχόλια κ.λπ.

Η εμπλοκή του χρήστη μπορεί να καταγραφεί σε όλες τις φάσεις της διαδικασίας από την παραγωγή ως την κατανάλωση οπτικοακουστικού περιεχομένου. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τις φάσεις της δημιουργίας, της παραγωγής, της οργάνωσης, της διανομής και της κατανάλωσης του περιεχομένου. Τα νέα δεδομένα που διαμορφώνουν το περιβάλλον της ψηφιακής διαδραστικής τηλεόρασης αναμένεται να επηρεάσουν το επιχειρηματικό μοντέλο, αφού νέοι ρόλοι δημιουργούνται, θέτοντας σε αμφισβήτηση παλαιότερους. Επιτακτική είναι η ανάγκη για τους παραδοσιακούς τηλεοπτικούς σταθμούς αλλά και τους διαφημιστές να αναπροσαρμόσουν τη στρατηγική τους, ώστε να διατηρήσουν την ισχύ της θέσης τους, αφού πάροχοι υπηρεσιών αλλά και δικτύων εμφανίζονται σε εξαιρετικά πλεονεκτική θέση και με σαφείς προοπτικές για την αξιοποίηση της τεχνολογίας και την ανάδειξή τους σε κομβικά σημεία στο επιχειρηματικό μοντέλο. Η ανάπτυξη εύχρηστων υπηρεσιών και εφαρμογών, η αξιοποίηση των διαδραστικών δεδομένων, η αναπροσαρμογή των μορφών του οπτικοακουστικού περιεχομένου καθώς και η χρήση εναλλακτικών δικτύων μετάδοσής του αποτελούν σημαντικές στρατηγικές επιλογές για τις παραδοσιακές επιχειρήσεις του κλάδου.

Οι εξελίξεις στο χώρο της ψηφιακής διαδραστικής τηλεόρασης, τόσο σε επίπεδο τεχνολογίας και υποδομών όσο και σε επίπεδο εφαρμογών και υπηρεσιών, δημιουργούν εξαιρετικές ευκαιρίες αλλά θέτουν παράλληλα και σημαντικές προκλήσεις για τους εμπλεκόμενους. Κυρίαρχο ρόλο στο νέο αυτό περιβάλλον αναλαμβάνουν οι τηλεθεατές. Από παθητικοί δέκτες του τηλεοπτικού περιεχομένου μετατρέπονται σε ενεργούς μετόχους στη διαδικασία τηλεθέασης, αλληλεπιδρώντας με εφαρμογές, χρησιμοποιώντας νέες υπηρεσίες, δημιουργώντας και ανταλλάσσοντας περιεχόμενο με άλλους χρήστες.

Η αξιοποίηση των αλλαγών στο χώρο της τηλεόρασης απαιτεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση η οποία λαμβάνει υπόψη τις εξελίξεις και τις δυνατότητες της τεχνολογίας, τους τρόπους σχεδίασης επιτυχημένων υπηρεσιών και εφαρμογών και το επιχειρηματικό περιβάλλον στο οποίο οι εξελίξεις αυτές λαμβάνουν χώρα.

## 6.5 Η σημερινή κατάσταση στην Ελλάδα

Σε αντίθεση με την Ευρώπη, η Ελληνική «ψηφιακή» πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από μεγάλη καθυστέρηση. Η πλήρης ψηφιακή μετάβαση στην χώρα μας δεν είναι γεγονός όπως άλλωστε είχε δρομολογηθεί για το τέλος του 2012. Αυτό

το γεγονός την κάνει λιγότερο ελκυστική για τους Έλληνες πολίτες, αφού εκτός από την EPT/Digea και την EPT HD δεν φαίνεται να προσφέρει κάτι επιπλέον στις DVB-T υπηρεσίες. Η EPT κατάργησε τα προηγούμενα ψηφιακά της κανάλια (Πρίσμα/Σινε+/Σπορ+) που πρόσφεραν εναλλακτικές επιλογές και στους συμπολίτες μας με κάποιες αναπηρίες. Αλλά και η EPT HD, ως η μόνη σύγχρονη υπηρεσία επίγειας πρόσβασης, αναλώνεται προβάλλοντας κυρίως προγράμματα της ποδοσφαιρικής αρένας. Παράλληλα αρκετές περιοχές στον ελλαδικό χώρο περιμένουν για πρώτη φορά το επίγειο ψηφιακό σήμα από την EPT και την Digea.

Στην Αττική η αναλογική μετάδοση του σήματος έχει διακοπεί, και ακολουθεί η Θεσσαλονίκη. Σκοπός της ενέργειας αυτής είναι να τακτοποιηθεί η απελευθέρωση του ψηφιακού μερίσματος συχνοτήτων και να μεταφερθούν οι ψηφιακές συχνότητες εκτός της ζώνης των 800Mhz. Πέρασαν δύο χρόνια ψηφιακής μετάβασης σε Αττική και Θεσσαλονίκη, χρόνος υπεραρκετός για να προσαρμοστούν και να εφοδιαστούν τα ελληνικά νοικοκυριά με τους επίγειους δέκτες ψηφιακής πρόσβασης. Οι Ολυμπιακοί Αγώνες του Λονδίνου, αναφέρθηκαν από πολλούς ως η κινητήρια δύναμη για την οριστική εγκατάλειψη μιας παρωχημένης αναλογικής πρόσβασης. Στερούσε από τους πολίτες μια σειρά από αμφίδρομες ψηφιακές υπηρεσίες. Αυτό δεν συνέβη όμως, και η καθυστέρηση των αναλογικών switch-off σε Αττική και Θεσσαλονίκη μόνο προβλήματα θα μπορούσε να προκαλέσει στην τεχνολογική ανάπτυξη της χώρας μας. Η παρατεταμένη μετάδοση του αναλογικού σήματος με την συνύπαρξη του ψηφιακού είχε ως αποτέλεσμα την εγκατάλειψη της προσπάθειας εξοικειώσης με τους επίγειους ψηφιακούς δέκτες κυρίως από ηλικιωμένα άτομα. Ένα άλλο θέμα ήταν ότι τα κανάλια εθνικής εμβέλειας εξέπεμπαν ψηφιακό σήμα και τα περιφερειακά κανάλια παρέμειναν αναλογικά, με αποτέλεσμα μετά το προγραμματισμένο switch-off να αφεθούν στην τύχη τους. Την απόλυτη ευθύνη την έχει η ίδια η πολιτεία, η οποία θα έπρεπε να διακόψει προγραμματισμένα και με συντονισμένη κεντρική ενημέρωση, την αναλογική πρόσβαση καναλιών. Στη Θεσσαλονίκη και στον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο πρέπει να επισημοποιήσει το χρονοδιάγραμμα ψηφιακής μετάβασης. Θα πρέπει να ακολουθήσουν με γοργούς ρυθμούς οι πάροχοι ευροεκπομπής, παράλληλα με την έγκαιρη απόδοση του ψηφιακού μερίσματος στις νέες αμφίδρομες υπηρεσίες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **Αξιολόγηση της απόδοσης του DVB-T προτύπου βάση της OFDM πάνω σε ασύρματα κανάλια επικοινωνίας.**

Στον κόσμο των επικοινωνιών σήμερα, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών μαζί με την υψηλή αξιοπιστία είναι μερικές μόνο από τις σύγχρονες απαιτήσεις που τα συστήματα πρέπει να πληρούν προκειμένου να παρέχουν μια καλή ποιότητα των υπηρεσιών προς τον τελικό χρήστη. Στα συστήματα ασύρματων επικοινωνιών που αναπτύχθηκαν, τα σήματα συνήθως παρουσιάζουν κάποια προβλήματα, όπως καθυστέρηση, διαλείψεις και διασυμβολική παρεμβολή (ISI). Το αποτέλεσμα είναι η φτωχή απόδοση και η υψηλή πιθανότητα σφαλμάτων. Με σκοπό να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση καναλιού και εφαρμόζονται κάποιες τεχνικές. Όμως, λόγω του κόστους των υλικών και διάφορα άλλα τεχνικά ζητήματα, όπως οι καθυστερήσεις στην κωδικοποίηση και στην διαδικασία της ισοστάθμισης, δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν αυτές οι τεχνικές, όπου ο επιθυμητός ρυθμός δεδομένων και η αξιοπιστία των δεδομένων είναι πολύ υψηλά. Η λύση αυτού του ζητήματος είναι η εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος, της OFDM, όπου, ο υψηλός ρυθμός δεδομένων πάνω από τα συχνο-επιλεκτικά κανάλια είναι ως ένα βαθμό εγγυημένος.

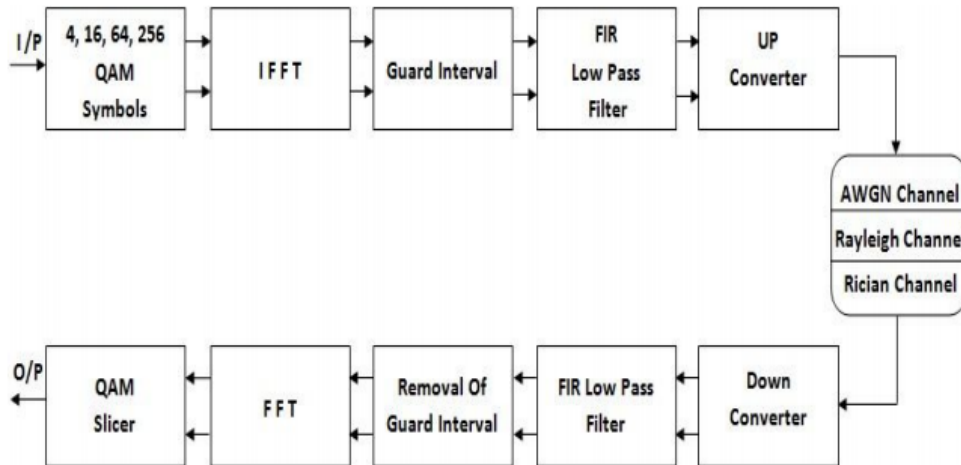
Στις μέρες μας η OFDM τεχνική είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη σε όλα σχεδόν τα συστήματα επικοινωνίας που κυμαίνονται από ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) μέχρι και WLAN (Wireless Local Area Network) Δίκτυα. Στην OFDM το κανάλι υπό-διαίρεται σε πολλαπλά κανάλια γνωστά ως υπό-κανάλια, τα οποία μεταδίδονται κατά παράλληλο τρόπο όπου τελικά αυξάνεται η διάρκεια του σύμβολου και μειώνεται η ISI. Κατά τα τελευταία χρόνια η OFDM έχει τυποποιηθεί για χρήση στη μετάδοση ψηφιακού ήχου και βίντεο γνωστή ως DAB και DVB αντίστοιχα. Στην Ευρώπη, η επίγεια μετάδοση βίντεο έχει ήδη υλοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο, γνωστό ως Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T).

Στην εργασία αυτή, η αξιολόγηση των επιδόσεων της OFDM γίνεται πάνω στο πρότυπο DVB-T μέσω των AWGN, του Rayleigh και του Rician καναλιών. Για την απλούστευση του σκοπού αυτού, η προσομοίωση έχει εφαρμοστεί για μία μόνο διαδρομή μεταξύ του πομπού και του δέκτη και όχι στην επίδραση των πολυδιαδρόμων. Ο DVB-T πομπός χρησιμοποιεί την OFDM πολυπλεξία για τη μετάδοση bits πληροφορίας. Δύο τρόποι λειτουργίας έχουν καθοριστεί: η 2k mode και η 8k mode. Οι DVB-T 2k και 8k τρόποι αναλύονται σε διαφορετικές τιμές του SNR και αλλάζοντας διαφορετικά συστήματα διαμόρφωσης (4QAM, 16 QAM και 64QAM) προκύπτουν τα συμπεράσματα με βάση τις αναλύσεις.

#### **7.1 ΤΟ ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ**

Η μοντελοποίηση για την εφαρμογή του συστήματος OFDM έγινε χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του DVB-T προτύπου. Αυτό μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητό με τη βοήθεια του σχήματος 1. Διακριτό σήμα παράγεται με τη χρήση του Simulink, που αναπτύχθηκε από την εταιρεία The MathWorks. Είναι ένα περιβάλλον για προσομοίωση μοντέλων με βάση τον δυναμικό τους σχεδιασμό. Παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον και μια βιβλιοθήκη από μπλοκ που σας επιτρέπουν τον σχεδιασμό, την προσομοίωση, και την εφαρμογή, διάφορων χρονικά

μεταβαλλόμενων συστημάτων στον τομέα της επεξεργασίας σήματος, της επεξεργασίας βίντεο και της επεξεργασία εικόνας.



Σχήμα 1. Μπλοκ διάγραμμα<sup>[20]</sup>

Ένα σήμα OFDM, το οποίο παράγεται στον πομπό με τη χρήση του DVB-T προτύπου με 2k και 8k φέροντα. Μια IFFT( Αντίστροφη συνάρτηση μεταφοράς Fourier) εκτελείται για να μεταφράσει το σήμα στο πεδίο του χρόνου και έπειτα εισάγεται ένα διάστημα «φρουρός». Μετά τη διέλευση του σήματος από το φίλτρο, πραγματοποιείται μια UP μετατροπή. Το σήμα εξόδου κατόπιν περνάει μέσα από τρία διαφορετικά κανάλια (AWGN, Rayleigh και Rician). Τα οποία διαμορφώθηκαν για να αναλυθούν οι βέλτιστες αποδόσεις για 2k και 8k φέροντα. Στην πλευρά του δέκτη εκτελείται η αντίστροφη διαδικασία για να ανακτήσουμε το σήμα πίσω στο αρχικό του. Έτσι προβλέπεται μετατροπής, φιλτράρισμα, απομάκρυνση του διαστήματος φρουρός, FFT και QAM τεμαχισμός. Όμως τα διαφορετικά μοντέλα καναλιών έχουν διαφορετικές ικανότητες όσον αφορά την συμπεριφορά τους σε σχέση με τον θόρυβο.

Το βασικό σημείο αυτής της εργασίας είναι να διερευνήσουμε αυτά τα ζητήματα και να προτείνουμε μια λύση, έτσι ώστε τα προβλήματα να μπορούν να μειωθούν για ένα πρακτικό σενάριο της μετάδοσης βίντεο και ήχου. Με την αλλαγή της διαμόρφωσης του συστήματος (π.χ. 4 QAM, 16 QAM και 64 QAM) στην έξοδο θα παρατηρηθούν διαφορετικές τιμές του SNR, αξιολογώντας την απόδοση του σήματος OFDM για τις παραπάνω διαμορφώσεις.

## 7.2 Προσομοιώσεις και αναλύσεις

Μερικά από τα βασικά στοιχεία που λήφθηκαν υπόψη κατά την ανάλυση και την προσομοίωση του DVB-T προτύπου, βασισμένα στην OFDM τεχνική στο Matlab παρουσιάζονται παρακάτω. Τα μεταδιδόμενα σύμβολα, οργανώθηκαν πρώτα σε πλαίσια τα οποία είχαν διάρκεια  $T_f$ . Τέσσερα πλαίσια αποτελούνται από ένα υπέρ-πλαίσιο και 1 υπέρ-πλαίσιο μπορεί να φιλοξενήσει 272 σύμβολα (δηλαδή 1 καρέ = 68 σύμβολα). Κάθε σύμβολο έχει διάρκεια TS ( $TS = TU + GI$ ), όπου GI είναι το διάστημα φύλαξης και TU είναι το ωφέλιμο φορτίο. Το IFFT / FFT μήκος σύμφωνα με τις προδιαγραφές του DVB-T προτύπου διατηρείται στις 4096 για 2k mode και στις 8192 για 8K mode. Το εύρος ζώνης για το φίλτρο μετάδοσης διατηρείται

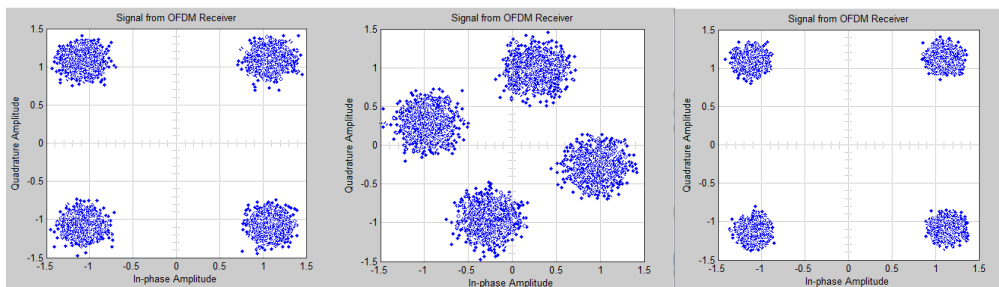
ελάχιστο προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα στην μετάδοση. Περαιτέρω παράμετροι για το DVB-T που βασίζεται στην 2k και 8k λειτουργίες αναφέρονται στον Πίνακα 4.

Parameters	2k Mode	8k Mode
No of carriers K	1705	6817
Value of carrier number Kmin	0	0
Value of carrier number Kmax	1704	6816
Duration Tu	224 us	896 us
Carrier Spacing 1/Tu	4464 Hz	1116 Hz
Spacing between carriers Kmin and Kmax (K-1)/ Tu	7.61 MHz	7.61 H

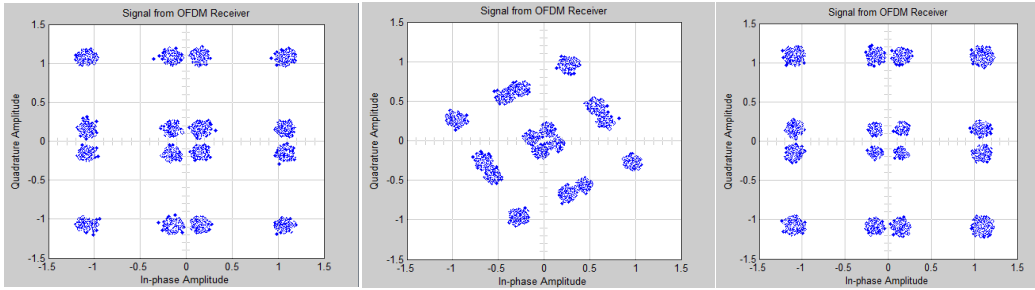
**Πίνακας 4. DVB-T παράμετροι για 2k και 8k MODE**

### 7.2.1 Ανάλυση για τη λειτουργία 2k

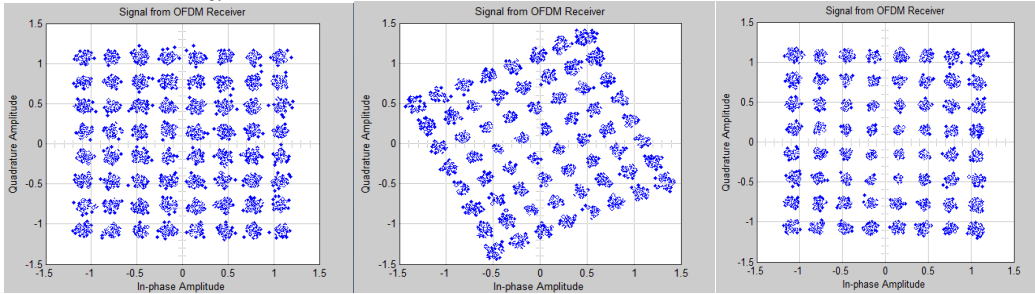
Οι προσομοιώσεις εκτελούνται για την 4QAM, την 16QAM και 64QAM διαμορφώσεις όπου το SNR μεταβάλλεται μεταξύ 0 και 18 dB. Το σήμα αναλύεται για τρία κανάλια τα οποία είναι το AWGN, το Rayleigh και το Rician. Έπειτα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων. Παρατηρούμε ότι το σχήμα 2α, το οποίο εκπροσωπεί τον αστερισμό του 4QAM του Rayleigh καναλιού πλήττετε περισσότερο από τον θορύβου. Γιατί τα σημεία του αστερισμού βρίσκονται σε μια μεγάλη απόσταση, συγκρίνοντας τα με τα σημεία αστερισμού των καναλιών AWGN και Rician. Σε σύγκριση με το σχήμα 2β παρατηρούμε ότι το μεταδιδόμενο σύμβολο δεν έχει ληφθεί σωστά λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ των σημείων που αντιπροσωπεύουν το σύμβολο. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε αυτό το σενάριο είναι η 16 QAM διαμόρφωση, έτσι ο αριθμός των bits που αντιπροσωπεύουν ένα σύμβολο θα είναι 4. Ενώ από το σχήμα 2γ, παρατηρούμε ότι το χειρότερο πληγείσα λαμβανόμενο σήμα εμφανίζεται στο Rayleigh κανάλι. Έτσι είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ των σημείων του αστερισμού. Τέτοιου είδους επιπτώσεις συνήθως καταλήγουν στην λήψη μιας λανθασμένης απόφασης στο δέκτη.



**Σχήμα 2α . Διαγράμματα αστερισμού για 4QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.**

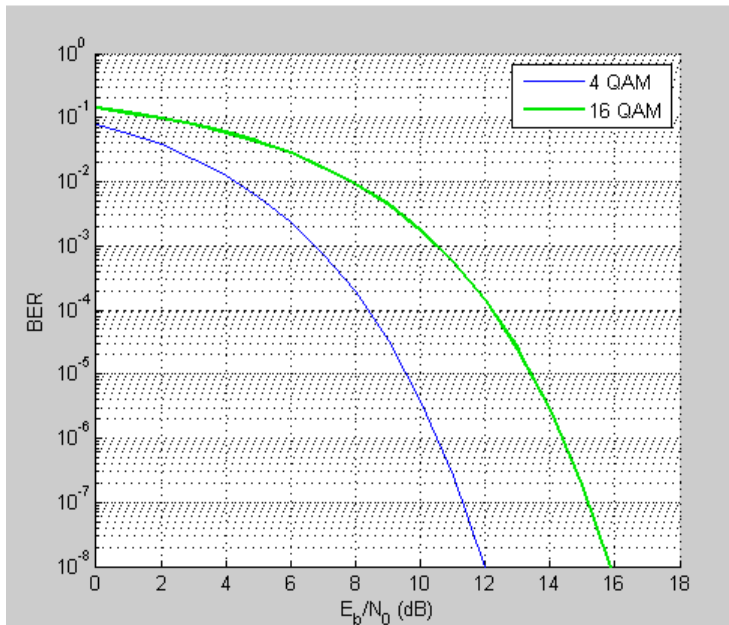


**Σχήμα 2β . Διαγράμματα αστερισμού για 16QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.**



**Σχήμα 2γ . Διαγράμματα αστερισμού για 64QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.**

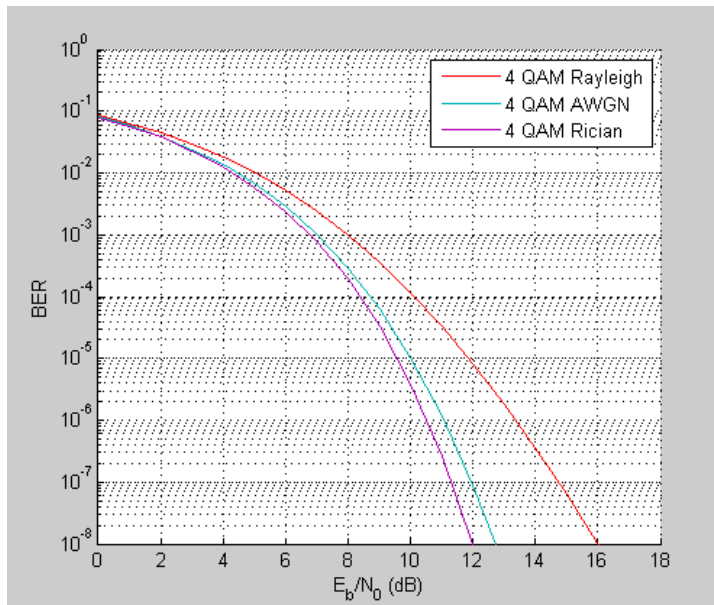
Εκτός από αυτό, όμως, καθώς αυξάνεται η διαμόρφωση του σήματος, αυξάνονται και οι πιθανότητες σφάλματος. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης της περιόδου του συμβόλου και του υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων οδηγώντας σε προβλήματα. Όπως η διασυμβολική παρεμβολή ISI που φαίνεται επίσης στην σύγκριση μεταξύ του ποσοστού σφάλματος bit της 4QAM και της 16QAM διαμόρφωσης, μέσα από το AWGN κανάλι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3α.



**Σχήμα 3α .Σύγκριση 4QAM και 16QAM σε AWGN κανάλι**

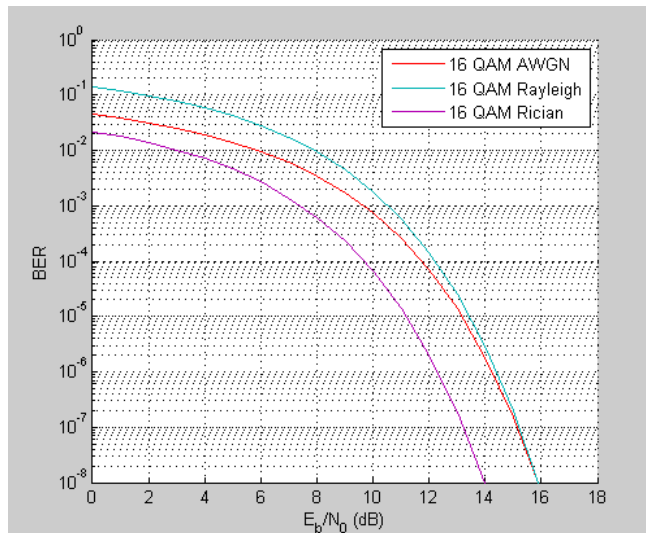


Εκτός από τα σφάλματα στο ρυθμού μετάδοσης, η διαδρομή που επηρεάζεται από τον θόρυβο είναι και πάλι στο κανάλι Rayleigh. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδρομή Rayleigh έχει υψηλότερο multipath σε σύγκριση με ένα Rician κανάλι. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3β.

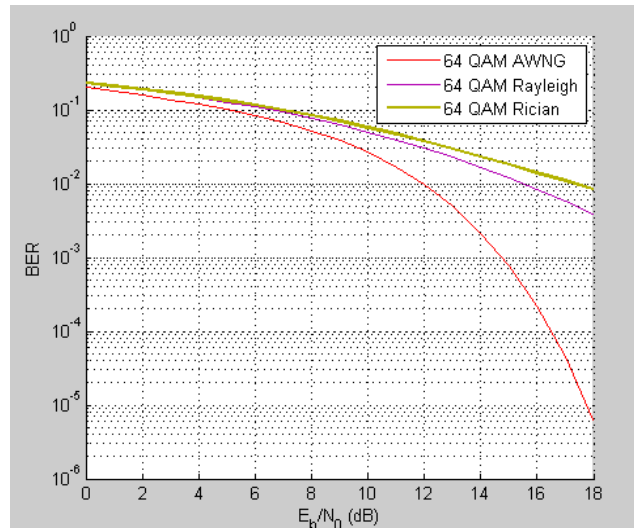


Σχήμα 3β. Σύγκριση 4QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού.

Χρησιμοποιώντας την 16QAM διαμόρφωση με 2k φέροντα, το διάγραμμα του ρυθμού λανθασμένων bit δείχνει ότι όταν το SNR είναι 0db το ποσοστό των λανθασμένων bit είναι σχεδόν 90% σε ένα Rayleigh κανάλι ενώ σε ένα Rician κανάλι το ποσοστό σφάλματος είναι 80%. Η μείωση ανέρχεται στο 20%, λόγω του ότι ένα ή μερικά κύματα έχουν άμεση ορατότητα από τον δέκτη. Το ποσοστό σφάλματος των λαμβανόμενων bit μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας την τιμή του SNR. Το Rician κανάλι έχει αποδεδειγμένα την ικανότητα να εφαρμόζεται σε περιβάλλοντα με διαλείψεις όπως αυτό φαίνεται στο 3γ σχήμα. Στο σχήμα με την χρήση της 16 QAM διαμόρφωσης, μπορούμε να μειώσουμε το ποσοστό σφάλματος αυξάνοντας την τιμή του SNR. Μπορούμε να παρατηρήσουμε στο σχήμα 3γ ότι ο ρυθμός εσφαλμένων bit στο Rician κανάλι είναι χαμηλότερος σε σύγκριση με το Rayleigh και το AWGN κανάλι.



Σχήμα 3γ . Σύγκριση 16QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού



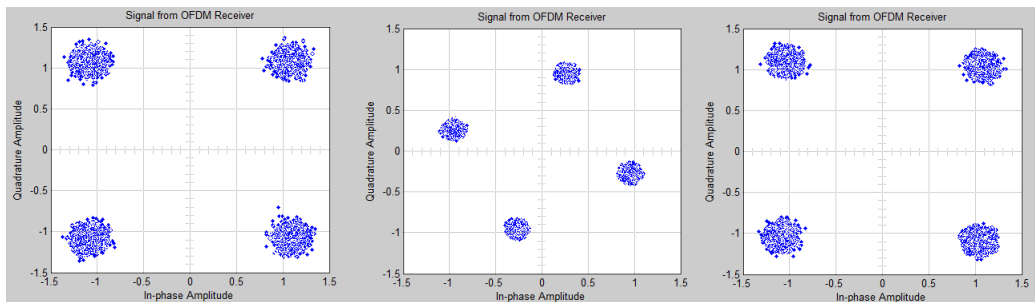
Σχήμα 3δ . Σύγκριση 64QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα συστήματα που έχουν υψηλότερο ρυθμό δεδομένων είναι πιο επιρρεπής σε λάθη από ό, τι τα συστήματα με χαμηλότερο. Η απόδοση των διαφορετικών συστημάτων μπορεί να είναι γίνει αποδεκτή με την αύξηση του SNR, αλλά μόνο σε ένα ορισμένο βαθμό. Η απόδοση του καναλιού Rician είναι αξιοσημείωτη και είναι το λιγότερο επηρεασμένο κανάλι. Οπότε πρέπει να υπάρχουν μια ισορροπία μεταξύ του SNR και του συστήματος διαμόρφωσης που χρησιμοποιούμε για το DVB-T πρότυπο με βάση την μετάδοση, έτσι ώστε τα αρχικώς μεταδιδόμενα δεδομένα να μπορούν να ανακτηθούν. Έτσι αυξάνοντας το ρυθμό των δεδομένων, αυξάνεται και το ποσοστό των εσφαλμένων bit. Ακόμη και αν αυξήσουμε το SNR, θα αποτύχουμε να επηρεαστεί η λήψη των δεδομένων χρησιμοποιώντας πολύ υψηλές διαμορφώσεις όπως την 64 QAM ή την 256 QAM. Έτσι, το αποτελεσματικό σύστημα διαμόρφωσης που βρέθηκε για το DVB-T είναι η 16 QAM διαμόρφωση για 2k φέροντα στο επίπεδο του 6db SNR.

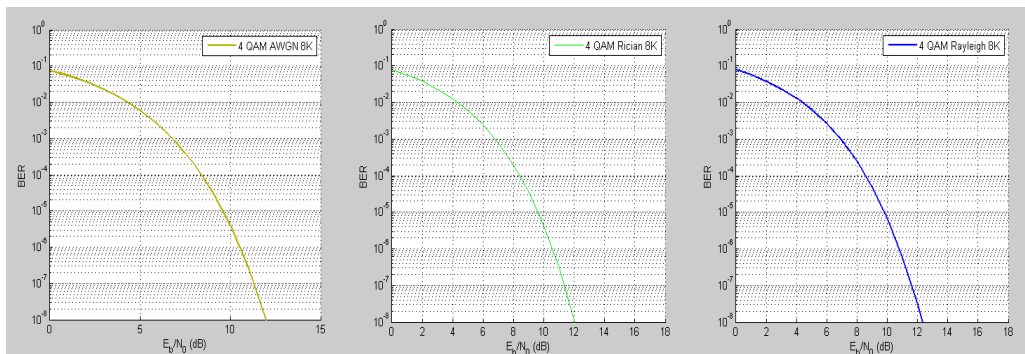
## 7.2.2 Ανάλυση για τη λειτουργία 8k

Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στο σχήμα 4α είναι προσαρμοσμένη για το DVB-T πρότυπο με την χρήση 8k φερόντων, χρησιμοποιώντας 4QAM διαμόρφωση. Ένας μεγάλος αριθμός σημείων του αστερισμού αντιπροσωπεύει ένα σύμβολο. Η αύξηση τον αριθμού των φερόντων μπορεί να παράγουν ISI που σημαίνει ότι τα υπόφεροντα θα τοποθετηθούν κοντά το ένα με το άλλο και έτσι ο δέκτης θα είναι επιρρεπής σε λάθη. Επειδή το εύρος ζώνης είναι περιορισμένο η ανίχνευση του σωστού αποτελέσματος θα είναι δύσκολη.

Επιπλέον, μπορεί να παρατηρηθεί από το σχήμα 4β ότι το υψηλότερο ποσοστό σφάλματος δυαδικών ψηφίων παρουσιάζεται στο κανάλι Rayleigh, κατά τις χαμηλές τιμές του SNR. Το σήμα φαίνεται να είναι παρόμοια για τα AWGN και Rayleigh κανάλια, ενώ η τιμή του SNR αυξάνεται.



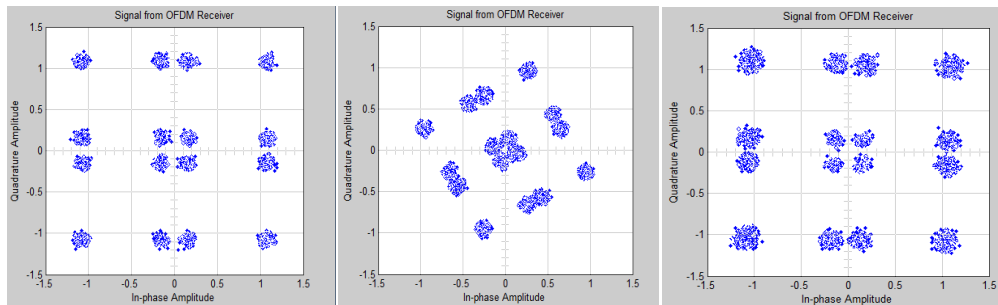
**Σχήμα 4α.** Διαγράμματα αστερισμού για 4QAM μέσω των AWGN, Rayleigh και Rician καναλιών αντίστοιχα.



**Σχήμα 4β.** Σύγκριση 4QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού.

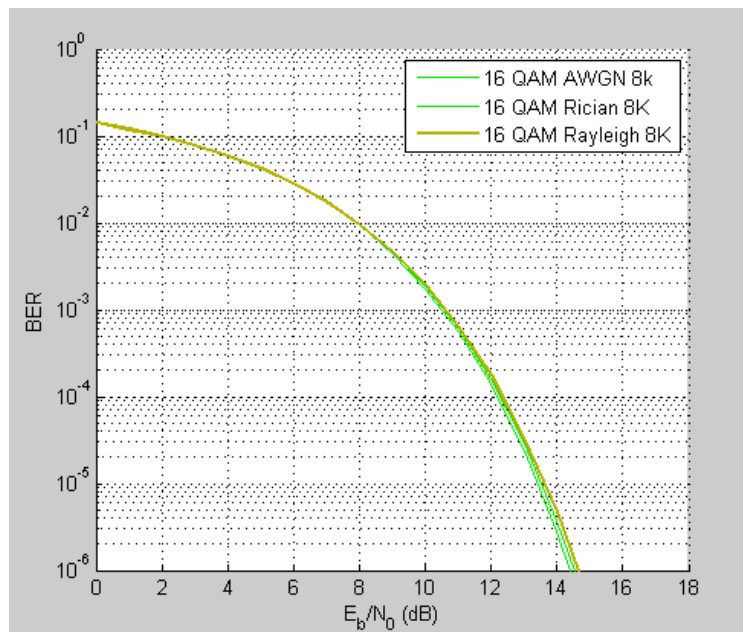
Το ποσοστό σφάλματος μειώνεται σημαντικά στο Rayleigh κανάλι. Σε σύγκριση με το AWGN κανάλι παρατηρούμε ότι στα 8 dB του SNR, το ποσοστό σφάλματος των bits είναι 40%, ενώ στο Rayleigh κανάλι είναι 45% και για το Rician κανάλι έχει το χαμηλότερο. Το σενάριο προσομοίωσης στο σχήμα 4γ που ακολουθεί δείχνει την 16 QAM διαμόρφωση προσαρμοσμένη σε 8k φέροντα. Από τεχνική άποψη, αυτό δεν είναι μια βιώσιμη λύση, γιατί τα 8k φέροντα θα μας οδηγήσουν να έχουμε περισσότερα λάθη, ενώ αυξάνεται το μέγεθος της διαμόρφωσης. Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί ότι η διέλευση του σήματος στο AWGN κανάλι έχει λιγότερα σφάλματα από την άποψη των σημείων του αστερισμού σε σύγκριση με το Rayleigh

κανάλι. Ενώ η μέγιστη παραμόρφωση μεταξύ των σημείων του αστερισμού εμφανίζεται στο Rician κανάλι.



**Σχήμα 4γ .Διαγράμματα αστερισμού για 16QAM μέσω των AWGN, Rician και Rayleigh καναλιών αντίστοιχα.**

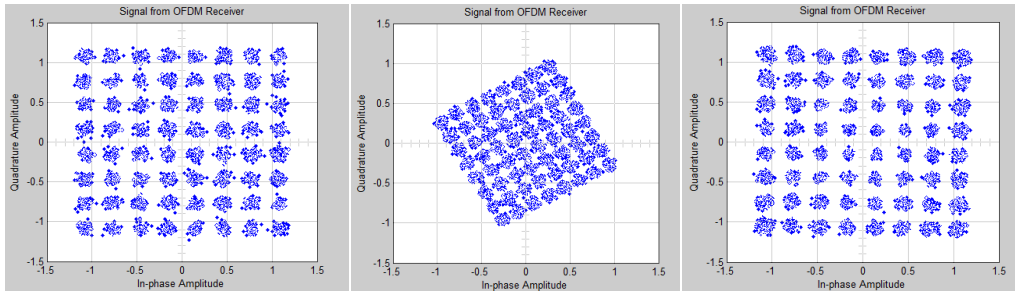
Ο ρυθμός μετάδοσης εσφαλμένων bit είναι υψηλός στα Rayleigh και AWGN κανάλια. Σε αντίθεση με το Rician κανάλι που είναι περίπου  $10^{-6}$  στην τιμή 14 db του SNR. Ενώ στα AWGN και Rayleigh κανάλια παρουσιάζονται παρόμοια αποτελέσματα στην τιμή 15 db, όπως φαίνεται στο σχήμα 4δ.



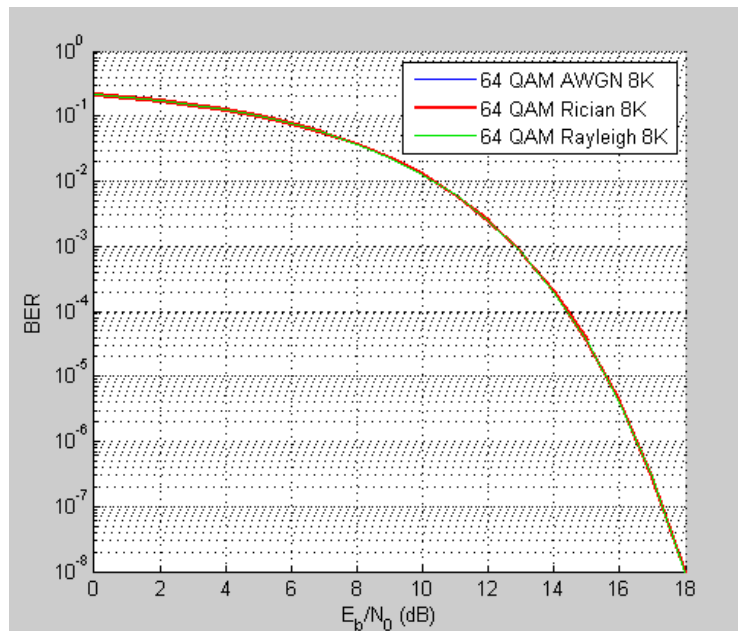
**Σχήμα 4δ. Σύγκριση 16QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού.**

Τα λαμβανόμενα σύμβολα του διαγράμματος αστερισμού παρουσιάζονται στο σχήμα 4ε. Παρατηρώντας το διάγραμμα, είναι πολύ δύσκολο να κρίνουμε το χειρότερο πληγείσα λαμβανόμενο σήμα από την άποψη των σημείων του αστερισμού. Αυξάνοντας την διαμόρφωση, αυξάνεται και ο ρυθμός δεδομένων. Έτσι δημιουργείται το πρόβλημα της ISI, και λαμβάνεται μια λάθος απόφαση. Ενώ στην διάρκεια του BER, όπως φαίνεται στο 4στ σχήμα το ποσοστό του σφάλματος που εισάγεται στο σύμβολο είναι πολύ υψηλό, πλησιάζει στο 100%. Μετά την ανάλυση της κατάστασης αυτής, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι δεν υπάρχει σκοπιμότητα για

τη χρήση της 64QAM διαμόρφωσης, αξιοποιώντας το DVB-T πρότυπο των 8k φερόντων γιατί το αποτέλεσμα θα είναι η πολυπλοκότητα και η αναξιοπιστία του συστήματος.



Σχήμα 4ε .Διαγράμματα αστερισμού για 64QAM μέσω των AWGN, Rician και Rayleigh καναλιών αντίστοιχα.



Σχήμα 4στ. Σύγκριση 64QAM μεταξύ του AWGN, του Rician και του Rayleigh καναλιού.

### 7.3 Η αξιολόγηση των επιδόσεων των 2k και 8k φερόντων

Η προσομοίωση που παρουσιάστηκε παραπάνω είχε ως στόχο το DVB-T πρότυπο. Εφαρμόζοντας τα 2k και 8k φέροντα αναλύσαμε την απόδοση του DVB-T με την χρήση των παραμέτρων που δίνονται από το πρότυπο ETSI. Σύμφωνα με την προσομοίωση διαπιστώσαμε ότι με την χρήση των 2k φερόντων γίνονται λιγότερα λάθη. Αλλά δεδομένου ότι ο αριθμός της διαμόρφωσης αυξάνεται, αρχίζει να πραγματοποιείται μείωση της απόδοσης του συστήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εισάγονται περισσότερα σφάλματα που οφείλονται στο γεγονός ότι τα μεγαλύτερα σχήματα διαμόρφωσης έχουν υψηλότερη αναλογία λαθών.

Για την μετάδοση βίντεο με την χρήση των 2k φερόντων, βρέθηκε ποίο αξιόπιστο το σύστημα διαμορφωμένο με 16QAM στα 6db SNR. Ωστόσο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απόδοση που αξιολογήθηκε εδώ δεν περιλαμβάνει κανένα καθεστώς προστασίας ή λάθος διαδικασίας συγχρονισμού. Εκτός από αυτό, η προσομοίωση που εκτελείται για τα 8k φέροντα δείχνει ένα υψηλό αριθμό σφάλματος και ISI κατά την εφαρμογή του συστήματος στην 16 QAM διαμόρφωση ή και σε υψηλότερη. Οπότε το καλύτερο σχήμα διαμόρφωσης που βρέθηκαν για την 8k λειτουργία είναι η 4 QAM στα 16db SNR. Με την αύξηση της διαμόρφωσης το σχήμα αποδίδει υψηλή πιθανότητα σφάλματος και παράγονται ανεπιθύμητα σήματα στο δέκτη. Με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να λάβει την σωστή απόφαση.

Με λίγα λόγια, δεν είναι χρήσιμο να εφαρμόζονται υψηλές διαμορφώσεις χωρίς την χρήση των αντίστοιχων σχήματα διόρθωσης λαθών. Το DVB-T πρότυπο έχει ορισμένες μεθόδους διόρθωσης σφαλμάτων που έχουν εφαρμογή σε υψηλότερες διαμορφώσεις. Όπως για τα 2k φέροντα που μπορούν να υποστηρίξουν έως και 64 QAM διαμόρφωση και για τα 8k φέροντα που μπορούν να υποστηρίξουν έως και 16 QAM διαμόρφωση, όσο η σωστή διόρθωση σφάλματος υλοποιείται.

## 7.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο συνδυασμός της υψηλής χωρητικότητας των δεδομένων με την υψηλή φασματική απόδοση, και την ανθεκτικότητα στις παρεμβολές, έχουν ως αποτέλεσμα να κάνουν την OFDM ιδανική, για εφαρμογές με υψηλό ρυθμό δεδομένων. Έχει αποκτήσει έτσι μια σημαντική παρουσία στην αγορά των ασύρματων επικοινωνιών και όχι μόνο. Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η απόδοση της OFDM και η επίδραση της σε διαφορετικά κανάλια πολλαπλών διαδρομών, δηλαδή του Rayleigh, του Rician και του AWGN. Τα αποτελέσματα τα οποία ελήφθησαν επαληθεύουν ότι το Rayleigh κανάλι είναι το λιγότερο κατάλληλο και πλήττεται περισσότερο από ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών, λόγω της μη οπτικής επαφής με τον δέκτη. Ενώ το Rician κανάλι εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα. Η απόδοση του AWGN καναλιού έγκειται μεταξύ αυτών των δύο. Διαφορετικά συστήματα διαμόρφωσης εφαρμόστηκαν για την μετάδοση DVB-T με βάση την OFDM και διαπιστώθηκε ότι καθώς οι διαμορφώσεις αυξάνεται από 4 QAM έως 64 QAM, οι πιθανότητες λάθους αυξάνονται. Επίσης, λόγω των υψηλών ρυθμών δεδομένων υπήρχαν υψηλές πιθανότητες σφάλματος, και μειωμένη περίοδος συμβολών. Επιπλέον, αν ο αριθμός των φερόντων αυξηθεί, η πιθανότητα για σφάλμα στο δέκτη αυξάνεται επίσης. Με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να ανακτήσει το σήμα σωστά και μπορεί να καταλήξει στη λήψη μιας λάθος απόφασης.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ότι η κατάλληλη διαμόρφωση για τα σύστημα, χρησιμοποιώντας τα 2k φέροντα είναι η 16 QAM, για SNR από 6 dB. Επιπλέον, η 4 QAM διαμόρφωση βρέθηκε η βέλτιστη για την χρήση των 8k φερόντων, διατηρώντας το επίπεδο του SNR στα 6dB. Αν και το DVB-T πρότυπο μπορεί να υποστηρίξει το SNR μέχρι 50dB, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των φερόντων αυξάνονται και οι πιθανότητες για bit σφάλματα. Έτσι, μετά την αξιολόγηση των επιδόσεων, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η απόδοση του 2k είναι καλύτερη σε σύγκριση με εκείνου του 8k και είναι κατάλληλο για την χρήση στην μετάδοση βίντεο, λόγω των λιγότερων αριθμών σφαλμάτων που παρουσιάζει.

Είναι προφανές ότι οι απώλειες στο παρεμβαλλόμενο ασύρματο κανάλι αποτελούν το σημαντικότερο μειονέκτημα για τα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης. Γι' αυτό και είναι μεγίστης σημασίας η διεξαγωγή εντατικής έρευνας για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] «Αναλογική και ψηφιακή τηλεόραση» Κώστας Τσαμούταλος , Παναγιώτης Σαράντης , Σταμούλης 2003
- [2] «Αναλογική και ψηφιακή τηλεόραση και βίντεο» Παντελής Βαφειάδης 6η έκδοση, 2008
- [3] Stott, J.H., "The how and why of COFDM", EBU Technical Review, winter 1998
- [4] Διαλέξεις μαθήματος , «Συμπύση και Μετάδοση Πολυμέσων», 2006 , Νικόλας Τσαπατσούλης Επίκουρος Καθηγητής ,Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών , Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
- [5] Διαλέξεις μαθήματος , « Συστήματα Πολυμέσων», Αθανάσιος Νικολαΐδης Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής & Επικοινωνιών , Τ.Ε.Ι. Σερρών
- [6] Διαλέξεις μαθήματος , «Αρχές Ψηφιακής Τηλεόρασης», Γεώργιος Γαρδίκης, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, ΤΕΙ Κρήτης
- [7] Arauz, J., «Discrete Rayleigh Channel Modeling», Tutorial, University of Pittsburgh, March 2002
- [8] Bernard Skylar, “Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communications Systems-Part I: Characterization”, IEEE Communication Magazine, July 1997
- [9] Θεολόγου, Μ.Ε., «Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών», Αθήνα, Εκδόσεις ΕΜΠ, Μάρτιος 2004
- [10] Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference Of Postal and Telecommunication’s Administrations (CEPT), «Technical Criteria of Digital Video Broadcasting Terrestrial (DVB-T) and Terrestrial – Digital Audio Broadcasting (T-DAB) Allotment Planning», Copenhagen, April 2004.
- [11] Gerard Fair, Juke A. Hendrickson, Erik Stare and Pokka Tambala, «DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices», IEEE, January 2006.
- [12] Χουγιούκ Δημοσθένης, «Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων, Μάρτιος 2005.
- [13] «DTV REPORT ON COFDM AND 8-VSB PERFORNCE» Office of Engineering and Technology. FCC. September 30, 1999.
- [14] ETSI TR 101 190 V1.3.2 (2011-05) «Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects».

- [15] E. Chen, J. L. Koslov, V. Mignone, J. Santorum, «DVB-S2 Backward-Compatible modes: a bridge between the present and the future», International Journal on Satellite Communication Networks, 2004.
- [16] ETSI EN 300 744: «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television».
- [17] «2nd Generation Terrestrial, The World's Most Advanced Digital Terrestrial TV System», DVB Fact Sheet - March 2013.
- [18] Salomon, David, «Video Compression». *Data compression: the complete reference*, 4 editions, 2007.
- [19] John Watkinson, «The MPEG Handbook», Second Edition, 2004 fading channel Simulation in DVB.
- [20] Syed Hassan Ahmed, Syed Muhammad Umar Talca, «Performance Evaluation of DVB-T Based OFDM over Wireless Communication Channels», Hong Kong, March 2012.
- [21] ETSI EN 300 744 v1.4.1 (2001-01), «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television».
- [22] Wim C. Van Etten, «Introduction to Random Signals and Noise», 2006
- [23] MathWorks Inc., «Using Matlab».
- [24] MathWorks Inc., «Using Simulink».
- [25] Wes Simpson, Howard Alan Greenfield, «IPTV and Internet video: expanding the reach of television broadcasting», 2009
- [26] Kris Hirschman, « HDTV: High Definition Television», 2010

## **AKPΩNYMIA**

BW	Bandwidth
C/N	Carrier to Noise
DAB	Digital Audio Broadcasting
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-S2	Digital Video Broadcasting - Satellite 2
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
DVB-T2	Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial
DVD	Digital Versatile Disc



ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FEC	Forward Error Correction
GI	Guard Interval
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
ITU	International Telecommunication Union
ISI	Intersymbol interference
ISO	International Organization for Standardization
MFN	Multi Frequency Networks
MPEG	Motion picture Experts Group
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PAL	Phase Alternating Line
PAPR	Peak to Average Power Ratio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RS	Reed-Solomon
SD	Standard Definition
SDTV	Standard Definition Television
SECAM	Sequential Color with Memory
SFN	Single Frequency Networks
SNR	Signal to Noise Ratio
T-DAB	Terrestrial Digital Audio Broadcasting
UHF	Ultra high frequency
VHF	Very high frequency