

Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη συστημάτων ψηφιακής μετάδοσης ήχου
(Digital Audio Broadcasting)

Επιμέλεια / Συγγραφή:

Παπανδρέου Ραφαήλ – Γεώργιος
Αριθμός Μητρώου: 1258

Τσουνής Κωνσταντίνος - Χρήστος
Αριθμός Μητρώου: 1603

Επιβλέπων καθηγητής:

Δρ. Παρασκευάς Μιχαήλ

Επίκουρος καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.
του ΑΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Αντίρριο, Δεκέμβριος 2015

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο, __ / __ / ____

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. [Όνοματεπώνυμο, Υπογραφή]
2. [Όνοματεπώνυμο, Υπογραφή]
3. [Όνοματεπώνυμο, Υπογραφή]

*Στους γονείς μου, στον αδερφό μου,
και σε εκείνο το κομμάτι μέσα μου
που με καθοδηγεί και είναι δίπλα μου
σε κάθε μου βήμα στο ταξίδι της ζωής και
της δημιουργίας και μου λέει ΜΠΟΡΕΙΣ
όταν το μυαλό φωνάζει αδύνατον!*

*Αφιερώνω την παρούσα πτυχιακή πάνω
από όλα στους πολυαγαπημένους μου
γονείς, αλλά και σε όσους δεν πίστεψαν
ποτέ ότι θα φτάσω σε αυτό το σημείο,
αλλά τελικά τα κατάφερα!*

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρωμένη την πτυχιακή μου εργασία θέλω ειλικρινά να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που συνέβαλλαν με τον τρόπο τους σε αυτή τη προσπάθεια. Έτσι λοιπόν ξεκινώ από τους γονείς μου που συνέβαλλαν όσο καλύτερα μπορούσαν όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μου, στάθηκαν δίπλα μου και με στήριξαν δίνοντάς μου θάρρος και δύναμη! Ευχαριστώ πολύ τον αδερφό μου επίσης που έκανε το κλίμα της συγγραφής της πτυχιακής ελαφρύτερο με το χιούμορ, την κατανόηση και την θετική του ενέργεια. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Δήμητρα Τουμάζου και Στέλιο Φούγια, ανθρώπους της εκπαίδευσης, για τις πολύτιμες συμβουλές που μου πρόσφεραν. Ευχαριστώ επίσης θερμά τους φίλους μου που όλα αυτά τα χρόνια συνεργαστήκαμε άρτια και ζήσαμε ωραίες στιγμές που θα θυμόμαστε στη μετέπειτα ζωή μας. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον συμφοιτητή και φίλο μου Ραφαήλ για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη συγγραφή της πτυχιακής μας εργασίας.

Τσουνής Κωνσταντίνος – Χρήστος || Δεκέμβριος 2015

Η ολοκλήρωση της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας σημαίνει και το τέλος των σπουδών αλλά και της ξέγνοιαστης φοιτητικής ζωής, έτσι στο σημείο αυτό δεν έχω άλλο παρά μόνο να ευχαριστήσω πάνω από όλα τους γονείς μου για την έμπρακτη εμπιστοσύνη και στήριξή τους στο πρόσωπό μου και στις δυνατότητες μου. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά και εγώ από την πλευρά μου τον συμφοιτητή μου αλλά πάνω από όλα αδελφικό μου φίλο Κώστα με τον οποίο έζησα τα καλύτερα φοιτητικά χρόνια αλλά έβγαλα μαζί του σε πέρασ, χωρίς το παραμικρό πρόβλημα, την παρούσα πτυχιακή. Τέλος θα ήθελα επιπροσθέτως να ευχαριστήσω τους φίλους μου: Λουκά Σεχρεμέλη, Βαγγέλη Χριστακόπουλο, Γιάννη Χαιρέτη, Γιώργο Χαρδαλιά, Κωνσταντίνο Σπανό, Μιχάλη Πελέκη και Κώστα Βλάχο από τους οποίους έχω αποκομίσει τις καλύτερες αναμνήσεις σε αυτά τα έξι χρόνια των σπουδών.

Παπανδρέου Ραφαήλ - Γεώργιος || Δεκέμβριος 2015

Τέλος από κοινού ευχαριστούμε θερμά τον κύριο Παρασκευά Μιχαήλ, επίκουρο καθηγητή του ΑΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε για την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση, τον επαγγελματισμό και τον χρόνο που διέθεσε για εμάς κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Απόσπασμα

Στην εποχή μας η τεχνολογία γνωρίζει πλέον ραγδαία ανάπτυξη. Στην σημερινή εποχή κάθε στιγμή παρουσιάζονται όλο και πιο τεχνολογικά εξελιγμένες και καινοτόμες εφαρμογές που είτε αποτελούν την εξελικτική μορφή μιας προϋπάρχουσας τεχνολογίας, είτε αποτελούν στοιχεία νέων τεχνολογιών των οποίων την εμφάνιση επέβαλαν οι σημερινές ανάγκες του σύγχρονου κόσμου, με αποτέλεσμα να έχουμε στην διάθεση μας προηγμένες τεχνολογίες για όλες τις καθημερινές μας ανάγκες και ειδικότερα στον τομέα της υγείας, της ψυχαγωγίας, της βιομηχανίας, των μεταφορών κ.α.

Η ίδια ακριβώς αλματώδης εξέλιξη δεν θα μπορούσε να απουσιάζει και στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, άρα και από την ραδιοφωνία. Από την εποχή που ανακαλύφθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι τηλεπικοινωνίες και η ραδιοφωνία, η εξέλιξή τους συνεχίζει ακάθεκτη την ανοδική της πορεία, φτάνοντας στο σήμερα όπου μέσω αυτών μας παρέχονται εξελιγμένες, εξιδεικευμένες ή ακόμη και εξατομικευμένες υπηρεσίες υψηλής ποιότητας.

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι κατανόηση των βασικών ειδών των σημάτων και συστημάτων που χρησιμοποιούν οι τηλεπικοινωνίες και ειδικότερα οι τεχνολογίες και η υποδομή της ραδιοφωνίας, ξεκινώντας από το αρχικό στάδιο της ανακάλυψής της, καθώς και των εμποδίων που συνάντησε στην ανοδική πορεία, της εξέλιξής της, μέχρι και την τωρινή της ανάπτυξη, πορεία η οποία μας οδήγησε στις σημερινές σύγχρονες εφαρμογές του ραδιοφώνου.

Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες αναλογικής εκπομπής AM/FM τις οποίες γνωρίζουμε σήμερα στην υπάρχουσα υποδομή της ραδιοφωνίας και στην συνέχεια παρουσιάζεται σταδιακά η εξέλιξη του ραδιοφώνου που πλέον εκπέμπει ψηφιακά και το γνωρίζουμε ως ψηφιακό ραδιόφωνο (DAB Radio).

Παρατίθεται και αναλύεται ο σχεδιασμός της κάλυψης του DAB, με τα είδη των δικτύων που συμμετέχουν και υλοποιούν την κάλυψη. Γίνεται αναφορά στις ψηφιακές διαμορφώσεις και πολυπλεξίες για την βέλτιστη δυνατή εκπομπή ψηφιακού σήματος με όσο το δυνατόν λιγότερες παρεμβολές όπου οι τελευταίες οδηγούν στην εξασθένιση του ψηφιακού σήματος, καθώς και στη συνύπαρξη του DAB με άλλες ψηφιακές υπηρεσίες όπως της DTV (Ψηφιακή τηλεόραση). Επιπλέον αναλύεται λεπτομερώς τόσο η επίγεια όσο και η δορυφορική του υπόσταση, ενώ γίνεται ειδική αναφορά και μελέτη στην ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) που χρησιμοποιεί το DAB ραδιόφωνο, καθώς και προσομοίωση αυτής σε ειδικό περιβάλλον μέσω του προγράμματος AWR Design Environment από όπου και εξάγουμε συγκεκριμένα αποτελέσματα μέσω γραφημάτων και συγκεκριμένων τιμών για την συμπεριφορά της OFDM σχετικά με την επεξεργασία στην οποία υποβάλλει το σήμα.

Abstract

Nowadays technology is moving in fast pace. Technologically advanced and innovative applications cover a vast variety for all our daily needs, particularly in health, entertainment, industry, transport, and especially in the telecommunication section

Advances in the broadcasting era have led in vertical development market and the development of high quality products and services.

The objective of this thesis is the understanding of the basic kinds of signals broadcasting through telecommunications systems and the detailed analysis of technologies and infrastructure of broadcast radio starting from its birth to its ongoing path of evolution until today's' modern applications of the radio technologies.

This thesis covers in depth analogue AM/FM broadcasting technology which we know today in the current broadcasting domain and then gradually analyses the evolution of digital radio broadcasts also known as Digital Radio Broadcasting

It also depicts coverage design of DAB, types of networks involved and the implementation of system coverage. Reference is made to digital modes of operation and multiplexes for optimal digital signal transmission with minimum interference where the latter leads to the weakening of the digital signal and the co-development of DAB with other digital services such as DTV (Digital TV).

Further detailed analysis is made on both terrestrial and satellite achievements, while specific reference is made on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) which DAB radio uses extensively. DAB simulation results are provided through AWR Design Environment that export concrete data formulating charts for OFDM behavior.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	9
1.1 Τηλεπικοινωνίες και η εξέλιξη τους μέσα στο χρόνο.....	9
Κεφάλαιο 2	12
2.1 Εισαγωγή στα σήματα και συστήματα διακριτού χρόνου.....	12
2.2 Σήματα διακριτού χρόνου	15
2.3 Συστήματα διακριτού χρόνου	23
2.3.1 Γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα	24
2.3.2 Στατικά συστήματα.....	24
2.3.3 Δυναμικά συστήματα.....	25
2.3.4 Αιτιατά συστήματα	25
2.3.5 Μη αιτιατά συστήματα	25
2.3.6 Χρονικά αμετάβλητα συστήματα	26
2.3.7 Χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα.....	26
2.3.8 Ευσταθή και ασταθή συστήματα	26
2.3.9 Γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα συστήματα (LTI Systems).....	27
Κεφάλαιο 3	29
3.1 Διαμόρφωση σήματος	29
3.2 Αναλογικές διαμορφώσεις	30
3.2.1 Διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Modulation – AM).....	30
3.2.2 Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation – FM)	33
3.2.3 Η FM σε σύγκριση με την AM	35
3.3 Ψηφιακές διαμορφώσεις	35
3.3.1 Ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Shift Keying – ASK)	35
3.3.2 Ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Shift Keying – FSK).....	40
3.3.3 Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης (Phase Shift Keying – PSK).....	44
3.3.4 Συνδυασμένη ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους και φάσης (Quadrature Amplitude Modulation – QAM).....	50
Κεφάλαιο 4	55
4.1 Πρότυπα ψηφιακού ήχου	55
4.1.1 Πρότυπο MPEG.....	57
4.1.2 Πρότυπο MP3	59
4.1.3 Άλλα πρότυπα.....	61
Κεφάλαιο 5	64
5.1 Εισαγωγή στην ψηφιακή μετάδοση ήχου – Digital Audio Broadcasting.....	64
5.1.1 Ιστορικά στοιχεία του ραδιοφώνου	65
5.1.2 Ιστορικά στοιχεία του DAB.....	67
5.2 Τι είναι το DAB και η σύγκριση με του με AM/FM.....	69
5.3 DAB ή Internet Radio?	72
5.4 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DAB	74

5.5 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας DAB	83
Κεφάλαιο 6.....	87
6.1 Πτυχές του συστήματος DAB.....	87
6.1.1 Κωδικοποιημένη ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (COFDM).....	87
6.1.2 Τρόποι μετάδοσης.....	89
6.1.3 Επίπεδα προστασίας	90
6.1.4 Τιμές λόγου σήματος προς θόρυβο και χρήσιμοι ρυθμοί μετάδοσης κατά προσέγγιση	93
6.1.5 Ελάχιστη τάση εισόδου στο δέκτη.....	94
6.1.6 Πιθανότητα πολυόδευσης, διάστημα προστασίας και διασυμβολική παρεμβολή	94
6.1.7 Συγχρονισμός παραθύρου FFT (Fast Fourier Transform)	97
6.2 Επίγειο DAB & δικτυακές έννοιες.....	100
6.2.1 Εισαγωγή	100
6.2.2 Τύποι δικτύων για την υλοποίηση του T-DAB.....	101
6.2.3 Δίκτυα Ενιαίας Συχνότητας (Single Frequency Networks – SFN).....	102
6.2.4 Δίκτυα Πολλαπλών Συχνοτήτων (Multi-Frequency Networks – MFN).....	104
6.2.5 Διαδικασία σχεδιασμού	106
6.2.6 Ζητήματα σχεδιασμού	109
6.2.7 Ζητήματα των SFN κατά τον σχεδιασμό.....	120
6.2.8 Ζητήματα που προκύπτουν στα MFN δίκτυα.....	126
6.2.9 Δικτυακή υποδομή και κάλυψη	127
6.2.10 Δίκτυα αναφοράς (Reference networks).....	128
6.2.11 Σκοπός και χρήση	134
6.2.12 Μετατροπή μιας κατανομής σε ένα σύνολο αναθέσεων.....	135
6.3 Επίγειο DAB & Σχεδιασμός δικτύου VHF	136
6.3.1 Συνύπαρξη με την τηλεόραση	137
6.3.2 Θέσεις των τμημάτων συχνότητας του T-DAB	137
6.3.3 Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου	140
6.3.4 Σταθερή κεραία λήψης.....	144
6.4 Επίγειο DAB & Σχεδιασμός δικτύου κατηγορίας 1.5 GHz	145
6.4.1 Θέση τμημάτων συχνότητας.....	146
6.4.2 Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου	146
6.4.3 Σταθερή κεραία λήψης.....	150
6.5 Ψηφιακή μετάδοση ήχου (DSB) με χρήση δορυφορικής επικοινωνίας.....	151
6.5.1 Εκτιμήσεις των DSB συστημάτων.....	153
6.5.2 Σημερινά συστήματα ψηφιακής μετάδοσης ήχου με χρήση δορυφορικής επικοινωνίας	156
6.5.3 Εμπορικές και προγραμματιστικές πτυχές των δορυφορικών DSB.....	163
6.6 Ο Αντίκτυπος του δορυφορικού DAB στον σχεδιασμό του T-DAB	164
6.6.1 Προσέγγιση Σχεδιασμού.....	165
6.6.2 Περιορισμοί Σχεδιασμού	165
6.6.3 Το T-DAB ως «συμπλήρωμα» στις δορυφορικές ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις.....	166

6.6.4 Σύνοψη για το αντίκτυπο στο T-DAB	167
6.7 Τα Ποσοστά χρήσης του DAB μέχρι τώρα και η βιωσιμότητα της τεχνολογίας αυτής.....	168
6.7.1 Χώρες με υψηλά ποσοστά χρήσης του DAB.....	171
6.7.2 Το Βασικό ερώτημα για την βιωσιμότητα του DAB	191
Κεφάλαιο 7.....	194
7.1 Η ιστορία της διαμόρφωσης OFDM	194
7.2 Η λογική της διαμόρφωσης OFDM.....	194
7.3 Ιδιότητα της Ορθογωνιότητας.....	195
7.4 Γενικά Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της διαμόρφωσης OFDM	198
7.5 Ασύρματα συστήματα OFDM	200
7.6 OFDM: Η βασική ιδέα.....	200
7.7 OFDM σε κανάλια με Διασυμβολική Παρεμβολή (ISI)	206
7.8 Αρχιτεκτονική δομή συστήματος OFDM	206
7.9 Τεχνική Windowing.....	209
7.10 Αδυναμίες της OFDM.....	212
7.10.1 Πλευρικοί Λοβοί.....	213
7.10.2 Ολίσθηση Doppler	214
Κεφάλαιο 8.....	216
8.1 Πειραματικό / πρακτικό σκέλος.....	216
8.1.1 Προσομοίωση της OFDM στο AWR Design Environment.....	216
8.1.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	219
Συμπεράσματα – Επίλογος.....	226

Κεφάλαιο 1

1.1 Τηλεπικοινωνίες και η εξέλιξη τους μέσα στο χρόνο

Η λέξη τηλεπικοινωνία προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό επίρρημα τηλε- που σημαίνει μακριά/από απόσταση και το ρήμα κοινωνώ που σημαίνει μετέχω, έρχομαι σε επαφή. Από την σύνθεση της λέξης αυτής αντιλαμβανόμαστε την έμφυτη ανάγκη του ανθρώπου για επικοινωνία. Αυτή του η δίψα, τον οδήγησε στην αξιοποίηση της τεχνολογίας, με ιδιαίτερα ευρηματικό τρόπο, προκειμένου να εξαλείψει την απόσταση και να πετύχει τρόπους απομακρυσμένης επικοινωνίας.

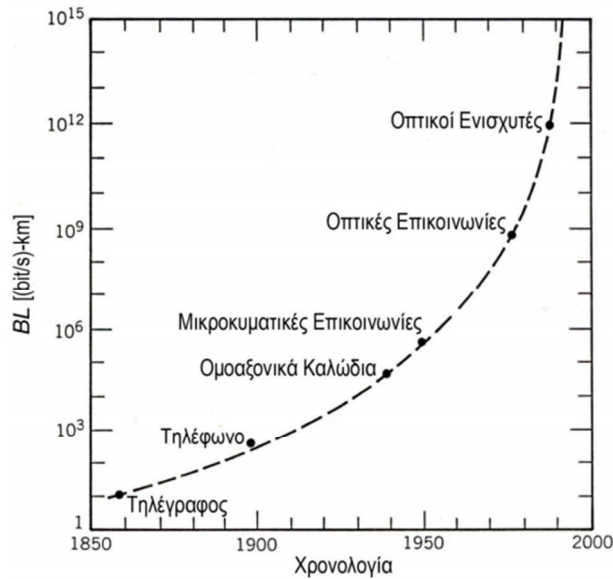
Μάλιστα σε κάθε ιστορική περίοδο το πολιτιστικό επίπεδο προσδιορίζονταν και από μια ανάλογης στάθμης ικανότητα, για διεξαγωγή γρήγορης και αξιόπιστης επικοινωνίας. Έτσι δείκτης οικονομικής και κοινωνικής εξέλιξης κάθε χώρας, στο παρελθόν αλλά και στο σύγχρονο κόσμο, είναι τα επίπεδα της τηλεπικοινωνίας που αυτή διαθέτει. Σε κάθε εποχή της ανθρωπότητας, έχουμε παρατηρήσει την τάση για βελτιστοποίηση των τηλεπικοινωνιακών μέσων.

Τα θεμέλια της επικοινωνίας βρίσκονται στην γλώσσα του κάθε λαού (που ως ζωντανός οργανισμός δανείζει, δανείζεται και εξελίσσεται) στην γραφή και στην τυπογραφία. Την επανάσταση όμως στην επικοινωνία την έφερε η εκμετάλλευση του ηλεκτρισμού όπου ακολούθησε μια ραγδαία άνοδος φέρνοντας μαζί της από το 1837 έως και 2000 τις σημαντικότερες τεχνολογίες, που έθεσαν τα θεμέλια για όσα έχουμε σήμερα, όπως:

Ιστορικά Στοιχεία τεχνολογιών

A/A	Τεχνολογία	Χρονολογία	Ιστορικά Στοιχεία
1	Τηλέγραφος	1837	Το 1837 οι Wheatstone & Cooke στην Αγγλία και ο Morse στις Η.Π.Α επινόησαν τον πρώτο ηλεκτρικό τηλέγραφο και το 1866 πραγματοποιήθηκε η πρώτη διατλαντική ζεύξη. Επίσης ο τηλέγραφος με την φιλοσοφία της λειτουργίας του έθεσε τα θεμέλια για τις ασυρματικές επικοινωνίες σε Ναυτικό και Στρατό.
2	Τηλέφωνο	1876	Το 1876 οι Bell και Grey ανακάλυψαν το τηλέφωνο, ενώ το 1878 και το 1879 άρχισαν να εγκαθίστανται οι πρώτες τηλεφωνικές συσκευές σε Λονδίνο και New Haven.
3	Τρίοδος Λυχνία	1906	Το 1906 η εφεύρεση της κατέστησε δυνατή την υλοποίηση ενισχυτών σήματος και την μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Το 1915 άρχισε η ευρεία χρήση τους στις πρώτες

			διηπειρωτικές τηλεφωνικές συνδέσεις.
4	Πρώτος Αυτόματος μεταγωγέας	1897	Το 1897 ο Almond Strowger εφηύρε έναν τρόπο για να διευκολύνει τους τηλεφωνητές στα τηλεφωνικά κέντρα της εποχής με αυτόν τον αυτόματο μεταγωγέα, ο οποίος αποτελεί πρόγονο των σημερινών τηλεφωνικών κέντρων.
5	Ραδιοφωνία και διαμόρφωση πλάτους AM	1920	Το 1920 στο Pittsburg των Η.Π.Α εγκαινιάστηκε από τον ραδιοφωνικό σταθμό KDKA η ραδιοφωνία AM αφού το 1918 είχε προηγηθεί η ανακάλυψη του πρώτου υπερετερώδυνου δέκτη AM από τον Edwin Armstrong ο οποίος λίγα χρόνια αργότερα το 1933 κατασκεύασε και ένα σύστημα επικοινωνίας FM
6	Πρώτο σύστημα τηλεόρασης	1929	Το 1929 στις Η.Π.Α ο Zworykin κατασκεύασε το πρώτο σύστημα τηλεόρασης και το 1936 από τον σταθμό του BBC στην Αγγλία ξεκίνησαν οι πρώτες τηλεοπτικές εκπομπές ενώ η Αμερική έμελλε να ακολουθήσει πέντε χρόνια αργότερα τον δρόμο των τηλεοπτικών εκπομπών.
7	Παλμοκωδική διαμόρφωση PCM	1937	Το 1937 προτάθηκε από το Reeves η παλμοκωδική διαμόρφωση κάτι πρωτοπόρο για την εποχή αλλά μη υλοποιήσιμο λόγο των λυχνιών που δεν μπορούσαν να βοηθήσουν βάση της σχεδίασης τους και του όγκου τους. Η κατασκευή του πρώτου συστήματος PCM έγινε πολλά χρόνια αργότερα το 1962 από την ATT με την βοήθεια της επανάστασης που έφεραν οι ημιαγωγοί.
8	Ημιαγωγικό τρανζίστορ	1947	Το 1947 οι Brattain, Bardeen & Shockley εφεύραν το ημιαγωγικό τρανζίστορ και με αυτή τους την ανακάλυψη άνοιξαν των δρόμο για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα.
9	Ολοκληρωμένα κυκλώματα	1958	Το 1958 οι Jack Kilby & Robert Noyce κατασκεύασαν το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα κάτι που έδωσε την δυνατότητα για μικρότερες και φθηνότερες τηλεπικοινωνιακές συσκευές.
10	Πηγή ημιαγωγικού LASER	1962	Το 1962 ο Robert Hall παρουσίασε την πρώτη ημιαγωγική δίοδο Laser. Στις μέρες μας οι δίοδοι Laser σε συνδυασμό με τις οπτικές ίνες έχουν επιφέρει τεράστια αύξηση στις ταχύτητες των σύγχρονων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων
11	Πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος	1962	Το 1962 τέθηκε σε τροχιά ο Telstar 1 ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την αναμετάδοση τηλεοπτικού σήματος (TV) μεταξύ Η.Π.Α και Ευρώπης.
12	ARPANET	1969	Το 1969 δημιουργήθηκε το ARPANET το οποίο ήταν το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτων και αποτελεί πρόγονο του σημερινού internet.
13	Τεχνολογία DSL	1988	Το 1988 η Bellcore ανέπτυξε την τεχνολογία ADSL με σκοπό να αυξήσει τις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 24Mbps, χωρίς έξτρα κόστος δικτύου, χρησιμοποιώντας το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο καλωδίων.
14	WaveLan	1991	Το 1991 εφευρέθηκε από την AT&T το WaveLan και αποτελεί πρόγονο του WiFi, η πατέντα για το WiFi (802.11) υποβλήθηκε το 1996.
15	Κινητή τηλεφωνία GSM	1991	Το 1982 το ETSI άρχισε την μελέτη για το GSM ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Ενώ το 1991 ξεκίνησε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη.



Εικόνα 1.1: Οπτική απεικόνιση της εξελικτικής πορείας των τηλεπικοινωνιών από το 1850 έως το 2000

Έτσι ο άνθρωπος με την βοήθεια & εξέλιξη της Πληροφορικής και των νέων τεχνολογιών ξεπερνάει και το τελευταίο σύνορο στην επικοινωνία και έχει την δυνατότητα να βρεθεί σε παγκόσμια κλίμακα τόσο κοντά και με τόσες πολλές επικοινωνιακές δυνατότητες. Ποτέ ξανά ο πολιτισμός δεν συνδεόταν σε τέτοιο καθοριστικό βαθμό με κάποια νέα τεχνική επικοινωνίας.

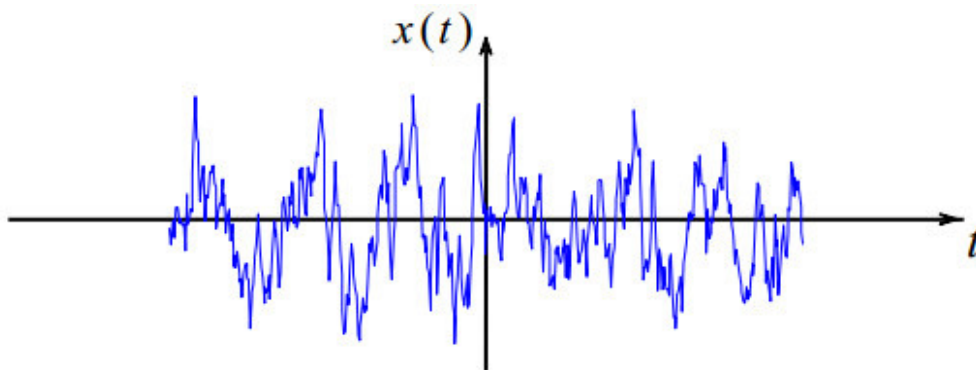
Σήμερα κυριαρχεί η πληροφορία και η ελεύθερη διακίνησή της, με φορέα έναν τηλεπικοινωνιακό κορμό που απλώνεται με το Διαδίκτυο, τα ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά δίκτυα και τις δορυφορικές επικοινωνίες σε όλη τη γη.

Κεφάλαιο 2

2.1 Εισαγωγή στα σήματα και συστήματα διακριτού χρόνου

Ως σήμα μπορούμε να ορίσουμε μια χρονικά μεταβαλλόμενη ηλεκτρική κυματομορφή η οποία διαδίδεται από ένα σημείο σε ένα άλλο κάνοντας χρήση κάποιου μέσου μετάδοσης. Χρησιμοποιώντας τον όρο χρονικά μεταβαλλόμενη αναφερόμαστε στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά της κυματομορφής αυτής παρουσιάζουν μεταβολή συναρτήσει του χρόνου. Στην περίπτωση δε, που η μεταβολή αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς με τον ίδιο τρόπο, τότε το σήμα ονομάζεται περιοδικό. Σε αυτή τη περίπτωση το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών επαναλήψεων της συγκεκριμένης μεταβολής ονομάζεται περίοδος του σήματος και έχει επικρατήσει να συμβολίζεται με το γράμμα T . Σε ότι αφορά τον αριθμό αυτών των επαναλήψεων στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή ανά ένα δευτερόλεπτο, το ονομάζουμε συχνότητα του σήματος και έχει επικρατήσει να συμβολίζεται με το γράμμα ν .

Οι μορφές που έχει ένα σήμα είναι δύο, η αναλογική μορφή και η ψηφιακή μορφή. Όταν αναφερόμαστε σε ένα αναλογικό σήμα ή αλλιώς ένα σήμα συνεχούς χρόνου, η ποσότητα που περιγράφει μπορεί να πάρει μια οποιαδήποτε τιμή. Εάν θέλουμε να δώσουμε ένα παράδειγμα για τα αναλογικά σήματα, αυτό είναι μια ημιτονοειδής κυματομορφή και η στιγμιαία τιμή της σε κάθε χρονική στιγμή μπορεί να είναι οποιαδήποτε.



Εικόνα 2.1: Γραφική αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος

Σχετικά με το ψηφιακό σήμα, μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα η ποσότητα που περιγράφει δεν παίρνει τιμές από ένα άπειρο αλλά από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών.

Στο χώρο της επιστήμης της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών αλλά και γενικά στη ζωή πολύ συχνά συναντάμε τον όρο «σύστημα». Ωστόσο εμείς θα περιοριστούμε στα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Έτσι λοιπόν με τον όρο σύστημα αναφερόμαστε σε κάθε οντότητα η οποία δρα σε ένα σήμα $x(t)$ και

σαν παραγόμενο αποτέλεσμα έχουμε ένα σήμα $y(t)$, εντελώς διαφορετικό από αυτό που υπήρξε στην αρχή. Από την πλευρά των μαθηματικών ως σύστημα μπορούμε να θεωρήσουμε ένα μετασχηματισμό $S[\cdot]$ που μετασχηματίζει ένα σήμα $x(t)$ σε σήμα $y(t)$ και με αυτό τον τρόπο ισχύει η σχέση $y(t) = S[x(t)]$. Αυτό που μόλις περιγράψαμε είναι μια σχέση εισόδου – εξόδου η οποία αντιστοιχεί σε ένα σύστημα στο πεδίο του χρόνου με βάση την είσοδο και την έξοδο χωρίς να δίνουμε ιδιαίτερη σημασία στην περιγραφή του συστήματος και στην εσωτερική του δομή.

Στη σχηματική απεικόνιση που ακολουθεί φαίνεται η δράση ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος S .

Συστήματα μιας εισόδου - μιας εξόδου

- (SISO – Single Input, Single Output). Παραδείγματα απλών συστημάτων μιας εισόδου - μιας εξόδου είναι ο βαθμωτός πολλαπλασιαστής $y(t) = a x(t)$ και το σύστημα καθυστέρησης $y(t) = x(t - t_0)$.

Συστήματα με πολλές εισόδους και μία έξοδο

- (MISO – Multiple Input, Single Output). Παράδειγμα τέτοιων συστημάτων είναι ο αθροιστής δύο ή περισσότερων σημάτων $y(t) = x_1(t) + x_2(t)$ και ο πολλαπλασιαστής $y(t) = x_1(t) x_2(t)$.

Συστήματα με μία είσοδο και πολλές εξόδους

- (SIMO – Single Input, Multiple Output).

Συστήματα με πολλές εισόδους και πολλές εξόδους

- (MIMO – Multiple Input, Multiple Output).

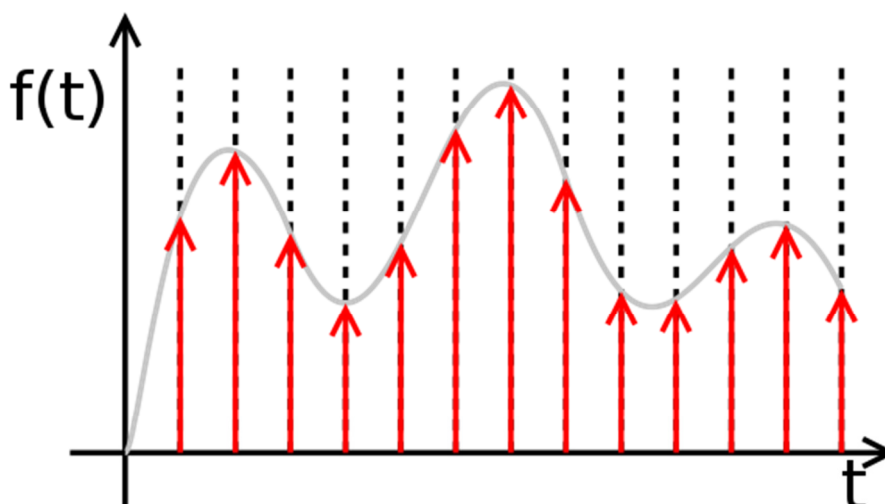
Ανάλογα με τη φύση των εισόδων – εξόδων στα συστήματα μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Συστήματα συνεχούς χρόνου ή αναλογικά συστήματα, όταν τα σήματα εισόδου και εξόδου είναι αναλογικά σήματα.
- Όταν τα σήματα εισόδου και εξόδου είναι σήματα διακριτού χρόνου, τότε τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως συστήματα διακριτού χρόνου.

- Αιτιοκρατικά συστήματα, όταν τα σήματα εισόδου και εξόδου είναι απλά αιτιοκρατικά σήματα.
- Όταν τα σήματα εισόδου και εξόδου είναι στοχαστικά σήματα, τα συστήματα χαρακτηρίζονται ως στοχαστικά συστήματα.

Στις τηλεπικοινωνίες και πιο ειδικά, όταν αναφερόμαστε στην τεχνολογία που τις διέπει και όχι τόσο στο αποτέλεσμα αυτής, που την συγκεκριμένη στιγμή που επικοινωνούμε δεν την λαμβάνουμε και τόσο υπόψη μας, ώστε να ασχοληθούμε με το πώς επιτυγχάνεται η επικοινωνία, δεν θα είναι λίγες οι φορές που θα καταλήξουμε στα σήματα και στα συστήματα διακριτού χρόνου. Φυσικά υπάρχουν και τα σήματα και συστήματα συνεχούς χρόνου, ωστόσο όπως προαναφέραμε. ωστόσο θα παραμείνουμε στα πλαίσια του διακριτού μέρους, διότι είναι αυτό με το οποίο θα ασχοληθούμε σε αυτό το κεφάλαιο.

Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφερόμαστε σε διακριτό χρόνο, στην ουσία ασχολούμαστε με το ψηφιακό (digital) μέρος των τηλεπικοινωνιών, εκείνο το οποίο έχει διακριτές τιμές και όχι συνεχείς. Ειδικότερα και με σκοπό να καταλήξουμε να έχουμε ένα ψηφιακό σήμα, υποβάλουμε ένα σήμα διακριτού χρόνου σε ψηφιοποίηση. Αν ωστόσο θελήσουμε να αναφερθούμε ακόμα πιο πίσω τότε θα δούμε πως το διακριτό σήμα αποτελεί στην ουσία ένα επεξεργασμένο αναλογικό σήμα κάνοντας χρήση της μεθόδου της δειγματοληπτικής μείωσης και έπειτα ακολουθούν τα όσα προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 2.3: Διακριτές τιμές αποτελούν το αποκαλούμενο ψηφιακό σήμα.

Ωστόσο στις τηλεπικοινωνίες συναντάμε επίσης πολύ συχνά τα συστήματα διακριτού χρόνου. Παρόλα αυτά θεωρείται χρήσιμο να αναφέρουμε τι ακριβώς είναι ένα σύστημα. Ως σύστημα στις τηλεπικοινωνίες ορίζουμε μια οντότητα η οποία έχει την δυνατότητα να υποβάλλει τα σήματα σε επεξεργασία, να τα μεταβάλλει ή ακόμα να τα καταγράφει και να τα μεταδίδει. Για να δώσουμε ένα παράδειγμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα

σύστημα επικοινωνίας το οποίο μεταφέρει το σήμα από ένα σημείο Α σε ένα σημείο Β. Δηλαδή τη μεταφορά του σήματος από τον πομπό στον δέκτη.

Περισσότερα σχετικά με την λειτουργία των σημάτων και των συστημάτων διακριτού χρόνου, θα αναλύσουμε στην συνέχεια στις επόμενες παραγράφους.

2.2 Σήματα διακριτού χρόνου

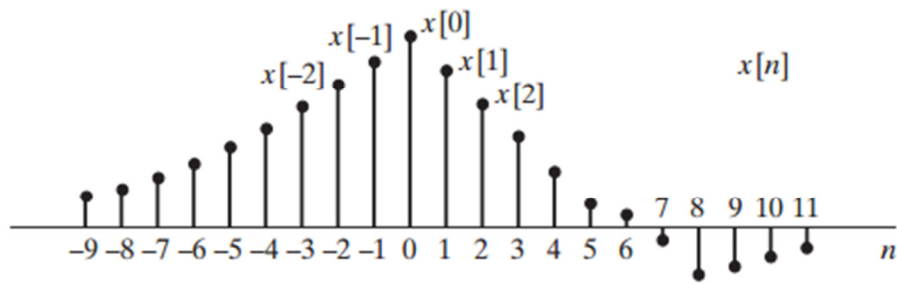
Τα σήματα διακριτού χρόνου αποτυπώνονται μαθηματικά ως ακολουθίες αριθμών x . Μία ακολουθία αριθμών x , στην οποία ο νιοστός αριθμός στην ακολουθία υποδηλώνεται ως $x[n]$, και τυπικά γράφεται ως:

$$x = \{x[n]\}, \quad -\infty < n < \infty,$$

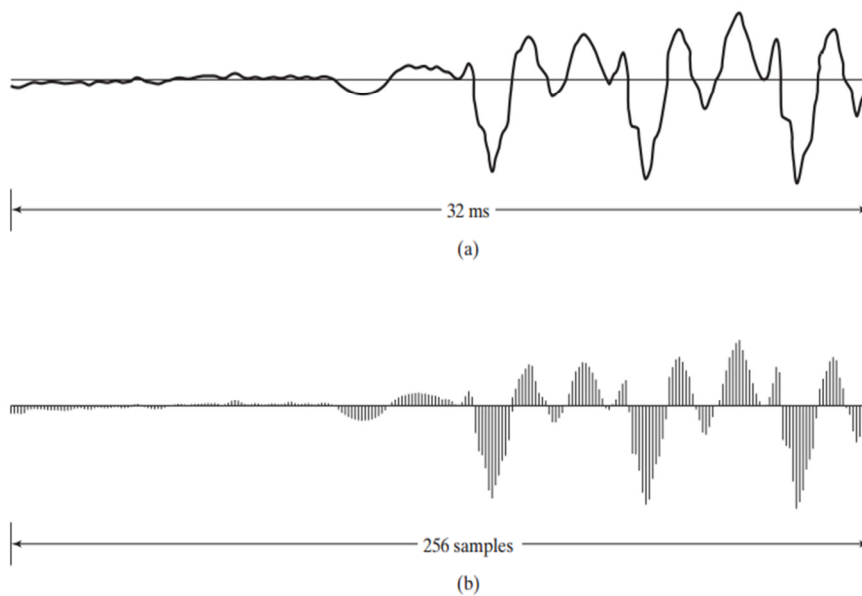
όπου το n είναι ένας ακέραιος αριθμός. Τέτοιες αλληλουχίες μπορούν συχνά να προκύψουν από περιοδική δειγματοληψία ενός αναλογικού (δηλαδή, συνεχούς χρόνου) σήματος $x_a(t)$. Σε αυτή την περίπτωση, η αριθμητική τιμή του νιοστού αριθμού στην ακολουθία είναι ίση με την τιμή του αναλογικού σήματος, $x_a(t)$, κατά τη στιγμή nT . Δηλαδή:

$$x[n] = x_a(nT), \quad -\infty < n < \infty.$$

Η ποσότητα T είναι η περίοδος δειγματοληψίας, και είναι αντίστροφη της συχνότητας δειγματοληψίας. Αν και οι αλληλουχίες δεν προκύπτουν πάντοτε από τη δειγματοληψία αναλογικών κυματομορφών, είναι βολικό να αναφέρουμε το $x[n]$ ως το "νιοστό δείγμα" της ακολουθίας. Τα σήματα διακριτού χρόνου (δηλαδή τις ακολουθίες) τα αναπαριστούμε γραφικά, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Αν και η τετμημένη απεικονίζεται ως συνεχής γραμμή, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι $x[n]$ ορίζεται μόνο για ακέραιες τιμές του n . Δεν είναι ορθό να θεωρήσουμε το $x[n]$ πως είναι μηδέν όταν το n δεν είναι ένας ακέραιος, σε αυτή την περίπτωση το $x[n]$ είναι απλά απροσδιόριστο για μη ακέραιες τιμές του n .



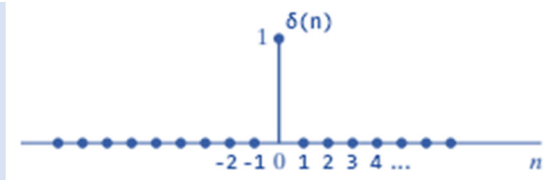
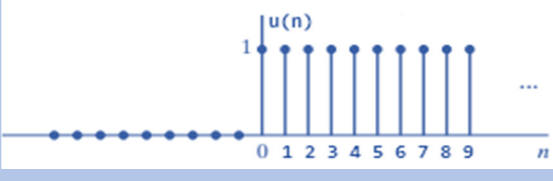
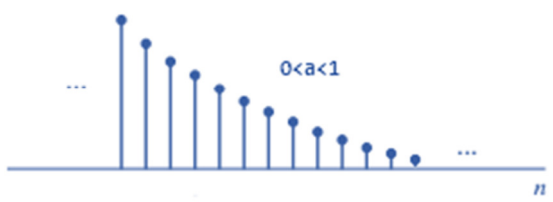
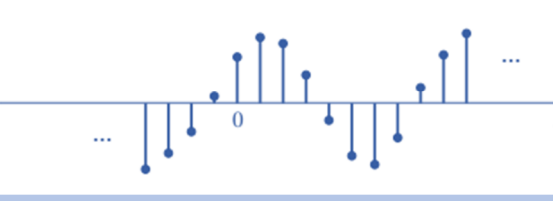
Εικόνα 2.2.1: Γραφική αναπαράσταση ενός σήματος διακριτού χρόνου



Εικόνα 2.2.2: (α) Τμήμα ενός σήματος ομιλίας συνεχούς χρόνου $x_a(t)$ (β) ακολουθία δειγμάτων $x[n] = x_a(nT)$ που λαμβάνεται από το αρχικό σήμα με περίοδο δειγματοληψίας $T = 125\mu\text{s}$

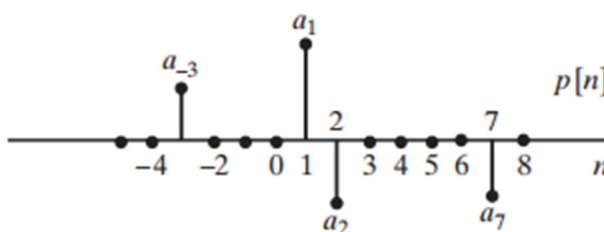
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα παράδειγμα μίας αλληλουχίας (ακολουθίας) που λαμβάνεται με δειγματοληψία από ένα τμήμα ενός σήματος ομιλίας σε συνάρτηση του χρόνου. Παρόλο που το αρχικό σήμα ομιλίας ορίζεται σε όλες τις τιμές του χρόνου t , η αλληλουχία περιέχει πληροφορίες σχετικά με το σήμα μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Το θεώρημα δειγματοληψίας εγγυάται ότι το αρχικό σήμα μπορεί να ανακατασκευαστεί με όση ακρίβεια επιθυμούμε από μια αντίστοιχη αλληλουχία δειγμάτων αρκεί να έχουμε ορίσει μεγάλη συχνότητα λήψης δειγμάτων κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας.

Από την θεωρία των σημάτων και συστημάτων διακριτού χρόνου προκύπτουν πολλές βασικές ακολουθίες που έχουν ιδιαίτερη σημασία, όπως:

Σήματα Διακριτού Χρόνου			
A/A	Ονομασία	Ορισμός	Απεικόνιση
1	Μοναδιαία κρουστική (unit impulse)	$\delta(n) = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$	
2	Μοναδιαίο βήμα (unit step)	$u(n) = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases}$	
3	Πραγματική εκθετική ακολουθία (Real exponential)	$x(n) = a^n$, όπου $a \in \mathbb{R}$	
4	Ημιτονοειδής (Sinusoidal)	-	

Πίνακας 1

Μία από τις σημαντικές πτυχές της κρουστικής ακολουθίας είναι ότι μια αυθαίρετη ακολουθία μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα κλιμακωτό άθροισμα κρουστικών καθυστερήσεων. Για παράδειγμα η ακολουθία $p(n)$ στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.2.3: Παράδειγμα μιας ακολουθίας που αναπαριστά ένα άθροισμα κρουστικών καθυστερήσεων

μπορεί να εκφραστεί ως:

$$p[n] = a_{-3}\delta[n + 3] + a_1\delta[n - 1] + a_2\delta[n - 2] + a_7\delta[n - 7].$$

Ποιο γενικά οποιαδήποτε ακολουθία μπορεί να εκφραστεί ως:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]\delta[n - k].$$

1. Όπως φαίνεται και στον **πίνακα 1** η μοναδιαία κρουστική ορίζεται ως:

$$\delta[n] = \begin{cases} 0, & n \neq 0, \\ 1, & n = 0. \end{cases}$$

Η μοναδιαία κρουστική ακολουθία παίζει τον ίδιο ρόλο για σήματα και συστήματα διακριτού χρόνου όπου η συνάρτηση της μοναδιαίας κρουστικής (συνάσταση Δέλτα του Dirac) κάνει για σήματα και συστήματα συνεχούς χρόνου.

2. Όπως φαίνεται και στον **πίνακα 1** η μοναδιαία βηματική ορίζεται ως:

$$u[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0, \\ 0, & n < 0. \end{cases}$$

ενώ η μοναδιαία κρουστική $\delta(n)$ με την μοναδιαία βηματική $u(n)$ συνδέονται μέσω της:

$$u[n] = \sum_{k=-\infty}^n \delta[k];$$

δηλαδή, η τιμή της μοναδιαίας βηματικής ακολουθίας στον δείκτη n (χρόνος) ισούται με το συσσωρευμένο ποσό της τιμής στο δείκτη n και όλες τις προηγούμενες τιμές της κρουστικής ακολουθίας.

Μια εναλλακτική αναπαράσταση της μοναδιαίας βηματικής, όσο αναφορά την κρουστική, εξάγεται από τον παρακάτω ορισμό της μοναδιαίας βηματικής:

$$u[n] = \begin{cases} 1, & n \geq 0, \\ 0, & n < 0. \end{cases}$$

ερμηνεύοντας τον ως ένα άθροισμα κρουστικών καθυστερήσεων, όπως στην παρακάτω εξίσωση:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]\delta[n - k].$$

στην περίπτωση αυτή οι μη μηδενικές τιμές είναι όλες ίσες, επομένως:

$$u[n] = \delta[n] + \delta[n - 1] + \delta[n - 2] + \dots$$

ή

$$u[n] = \sum_{k=0}^{\infty} \delta[n - k].$$

Εναλλακτικά η κρουστική ακολουθία μπορεί να εκφραστεί ως η αντίστροφη διαφορά της μοναδιαίας βηματικής ακολουθίας:

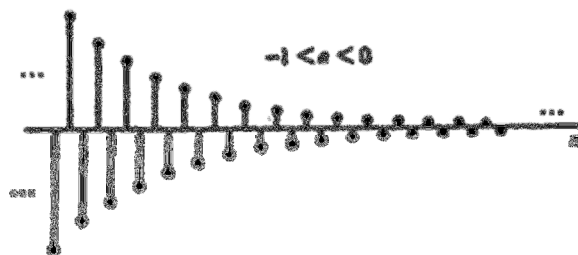
$$\delta[n] = u[n] - u[n - 1].$$

3. Οι εκθετικές ακολουθίες είναι μια άλλη σημαντική κατηγορία βασικών σημάτων και η γενική μορφή μιας εκθετικής ακολουθίας είναι:

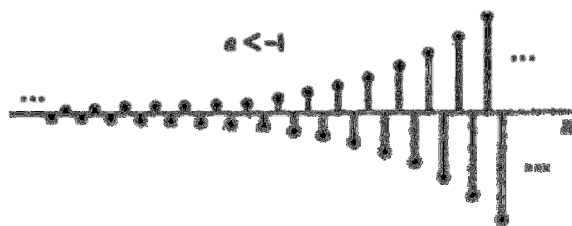
$$x[n] = A a^n.$$

Αν το A και το a είναι πραγματικοί αριθμοί, τότε η ακολουθία είναι πραγματική. Αν έχουμε $0 < a < 1$ και το A είναι θετικοί αριθμοί, τότε οι τιμές της ακολουθίας είναι θετικές και μειώνονται με την αύξηση του n , όπως φαίνεται και στο *σχήμα 3* του *πίνακα 1*.

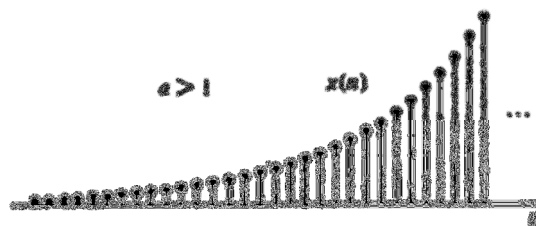
Για $-1 < a < 0$ οι τιμές της ακολουθίας φθίνουν εναλλάσσοντας πρόσημο όσο το n αυξάνετε. Σχηματικά αυτό φαίνεται ως εξής:



Αντιθέτως για $a < -1$ οι τιμές της μεγαλώνουν εναλλάσσοντας πρόσημο όσο το n αυξάνετε. Σχηματικά αυτό φαίνεται ως εξής:



Αν τώρα έχουμε : $a > 1$ τότε οι τιμές της ακολουθίας μεγαλώνουν όσο το n αυξάνετε. Αυτό φαίνεται ως εξής:



Η εκθετική ακολουθία $A a^n$ με το a να είναι μιγαδικοί αριθμοί έχει πραγματικά και φανταστικά κομμάτια που είναι εκθετικά σταθμισμένα ημιτονοειδή. Ποιο

συγκεκριμένα εάν το $a=|a|e^{j\omega_0}$ και $A=|A|e^{j\phi}$ τότε η ακολουθία $A a^n$ μπορεί να εκφραστεί με οποιοδήποτε από τους παρακάτω τρόπους:

$$\begin{aligned} x[n] &= A a^n = |A| |e^{j\phi}| |\alpha|^n e^{j\omega_0 n} \\ &= |A| |\alpha|^n e^{j(\omega_0 n + \phi)} \\ &= |A| |\alpha|^n \cos(\omega_0 n + \phi) + j|A| |\alpha|^n \sin(\omega_0 n + \phi). \end{aligned}$$

Η ακολουθία ταλαντεύεται με αυξανόμενη εκθετικά περιβάλλουσα όταν έχουμε $|a|>1$ ενώ εάν έχουμε $|a|<1$ η ακολουθία ταλαντεύεται με φθίνουσα εκθετικά περιβάλλουσα. Ένα απλό παράδειγμα είναι η περίπτωση όπου $\omega_0=\pi$.

Όταν το $|a|=1$ η ακολουθία έχει την μορφή:

$$x[n] = |A| e^{j(\omega_0 n + \phi)} = |A| \cos(\omega_0 n + \phi) + j|A| \sin(\omega_0 n + \phi);$$

δηλαδή, τα πραγματικά και φανταστικά μέρη του $e^{j\omega_0 n}$ μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με n . Η ποσότητα του ω_0 ονομάζεται συχνότητα της μιγαδικής εκθετικής και με ϕ συμβολίζουμε την φάση. Ωστόσο, δεδομένου ότι το n είναι ένας ακέραιος χωρίς διαστάσεις, η διάσταση του ω_0 δίδετε σε ακτίνια.

Το γεγονός ότι το n είναι πάντοτε ένας ακέραιος, όπως είδαμε και στην παραπάνω εξίσωση, οδηγεί σε μερικές σημαντικές διαφορές μεταξύ των ιδιοτήτων μεταξύ των διακριτού και συνεχούς χρόνου μιγαδικών εκθετικών ακολουθιών και των ημιτονοειδών ακολουθιών. Για παράδειγμα παίρνουμε το $(\omega_0+2\pi)$. Στην περίπτωση αυτή:

$$\begin{aligned} x[n] &= A e^{j(\omega_0+2\pi)n} \\ &= A e^{j\omega_0 n} e^{j2\pi n} = A e^{j\omega_0 n}. \end{aligned}$$

Γενικά, σε μιγαδικές εκθετικές ακολουθίες με συχνότητες $(\omega_0+2\pi)$, όπου το r είναι ένας ακέραιος, οι συχνότητες είναι δυσδιάκριτες η μια από την άλλη. Όμοια κατάσταση υφίσταται και για τις ημιτονοειδής ακολουθίες. Επίσης εύκολα επαληθεύεται ότι:

$$\begin{aligned} x[n] &= A \cos[(\omega_0 + 2\pi r)n + \phi] \\ &= A \cos(\omega_0 n + \phi). \end{aligned}$$

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να συμπεράνουμε πως όταν μιλάμε για μιγαδικά εκθετικά σήματα του τύπου $x[n]=Ae^{j\omega_0 n}$ ή για πραγματικά ημιτονοειδή σήματα με την μορφή $x[n]=A \cos(\omega_0 n + \phi)$, χρειαζόμαστε μόνο συχνότητες σε ένα διάστημα μήκους 2π . Συνήθως επιλέγουμε είτε $-\pi < \omega_0 \leq \pi$ είτε $0 \leq \omega_0 < 2\pi$.

Μια άλλη σημαντική διαφορά μεταξύ των διακριτού και συνεχούς χρόνου μιγαδικών εκθετικών και των ημιτονοειδών αφορά την περιοδικότητα τους στο n .

- Στην περίπτωση συνεχούς χρόνου, για ένα ημιτονοειδές σήμα και ένα μιγαδικό εκθετικό σήμα και τα δύο είναι περιοδικά στο n (στον χρόνο δηλαδή) με την περίοδο τους να είναι ίση με 2π , **διαιρεμένη με την συχνότητα**.
- Στην περίπτωση διακριτού χρόνου, έχουμε μια περιοδική ακολουθία για την οποία:

$$x[n] = x[n + N], \text{ για όλα τα } n,$$

Όπου η περίοδος N είναι απαραίτητα ένας ακέραιος αριθμός.

Εάν αυτή την συνθήκη της περιοδικότητας την εξετάσουμε για ένα ημιτονοειδές διακριτού χρόνου, τότε:

$$A \cos(\omega_0 n + \phi) = A \cos(\omega_0 n + \omega_0 N + \phi),$$

το οποίο απαιτεί:

$$\omega_0 N = 2\pi k,$$

όπου το k είναι ένας ακέραιος. Κάτι παρόμοιο ισχύει και για την μιγαδική εκθετική ακολουθία $Ce^{j\omega_0 n}$ η οποία είναι περιοδική με περίοδο N και απαιτεί:

$$e^{j\omega_0(n+N)} = e^{j\omega_0 n},$$

κάτι που ισχύει μόνο για $\omega_0 N = 2\pi k$. Κατά συνέπεια, μιγαδικές εκθετικές ακολουθίες και ημιτονοειδής ακολουθίες δεν είναι απαραίτητα περιοδικές στον χρόνο με περίοδο $(2\pi/\omega_0)$ και ανάλογα με την τιμή του ω_0 , μπορεί να μην είναι καθόλου περιοδικές.

Παράδειγμα

Για να καταλάβουμε καλύτερα τα περιοδικά και μη-περιοδικά ημιτονοειδή διακριτού χρόνου ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα. Αρχικά ας δούμε το σήμα $x_1[n] = \cos(\pi n/4)$. Αυτό το σήμα έχει περίοδο $N = 8$ και για να το εξακριβώσουμε αυτό βρίσκουμε πως $x_1[n+8] = \cos(\pi(n+8)/4) = \cos(\pi n/4 + 2\pi) = \cos(\pi n/4) = x_1[n]$, οπότε και ικανοποιείτε ο ορισμός των σημάτων διακριτού χρόνου. Σε αντίθεση με τα ημιτονοειδή συνεχούς χρόνου, η αύξηση του ω_0 , σε ένα ημιτονοειδές διακριτού χρόνου, δεν μειώνει απαραίτητα και την περίοδο του σήματος. Παραδείγματος χάριν για το ημιτονοειδές $x_2[n] = \cos(3\pi n/8)$ το οποίο έχει μεγαλύτερη συχνότητα από ότι το $x_1[n]$. Ωστόσο το σήμα, που είδαμε τώρα, το $x_2[n]$ δεν είναι περιοδικό με την περίοδο ίση με 8 , καθώς $x_2[n+8] = \cos(3\pi(n+8)/8) = \cos(3\pi n/8 + 3\pi) = -x_2[n]$. Εάν κάνουμε ότι κάναμε για το σήμα $x_1[n]$ θα δούμε πως το $x_2[n]$ έχει περίοδο $N = 16$. Επομένως η αύξηση της τιμής του $\omega_0 = 2\pi/8$ προς $\omega_0 = 3\pi/8$ αυξάνει επίσης και την

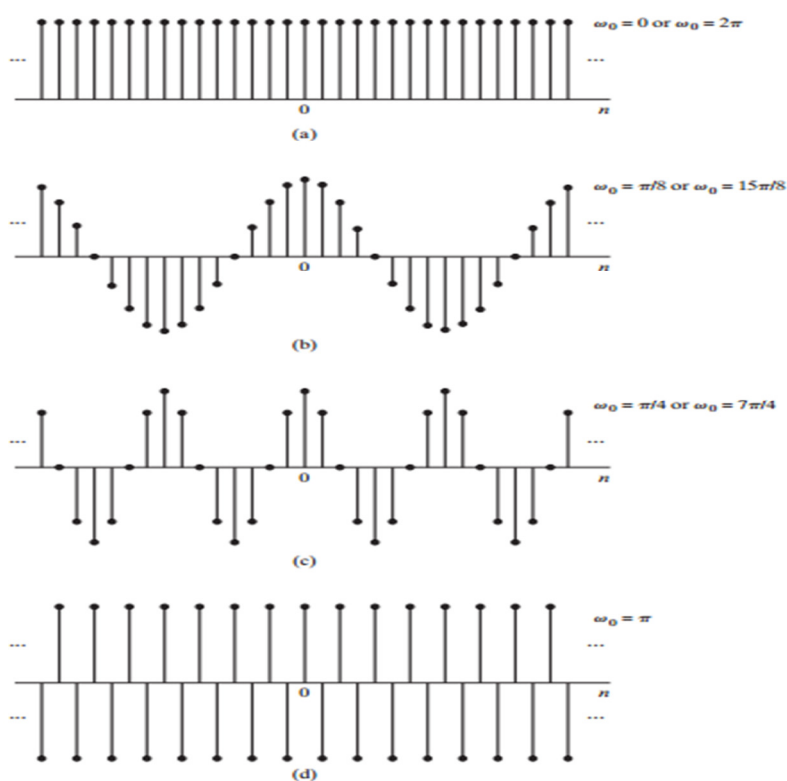
περίοδο του σήματος Αυτό συμβαίνει επειδή τα σήματα διακριτού χρόνου ορίζονται μόνο για ακέραιους δείκτες n .

Ο περιορισμός του ακεραίου στον χρόνο οδηγεί σε κάποια ημιτονοειδή σήματα τα οποία δεν είναι καθόλου περιοδικά. Για παράδειγμα δεν υπάρχει κανένας ακέραιος N ούτως ώστε το σήμα $x_3[n]=\cos(n)$ να πληροί την συνθήκη $x_3[n+N]=x_3[n]$ για όλα τα n .

Αν συνδυάσουμε την κατάσταση της εξίσωσης $\omega_0 N=2\pi k$ με την προηγούμενη παρατήρηση μας ότι η ω_0 και η $(\omega_0+2\pi r)$ είναι δυσδιάκριτες μεταξύ τους συχνότητες, αντιλαμβανόμαστε σαφώς πως υπάρχουν N διακριτές συχνότητες για τις οποίες οι αντίστοιχες συχνότητες είναι περιοδικές με περίοδο N . Ένα σύνολο από συχνότητες είναι το $\omega_k=2\pi k/N, k=0,1,\dots,N-1$.

Σχετικά με τα προηγούμενα που έχουμε πει, είναι γεγονός ότι η ερμηνεία των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων είναι κάπως διαφορετική για ημιτονοειδή και μιγαδικά εκθετικά σήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου.

Έτσι για ένα ημιτονοειδές σήμα συνεχούς χρόνου $x(t)=A\cos(\Omega_0 t + \varphi)$, όσο το Ω_0 αυξάνεται, το $x(t)$ ταλαντεύεται προοδευτικά ταχύτερα. Για ένα ημιτονοειδές σήμα διακριτού χρόνου $x[n]=A\cos(\omega_0 n + \varphi)$, όσο το ω_0 αυξάνεται από $\omega_0=0$ προς $\omega_0=\pi$, το $x[n]$ ταλαντεύεται σταδιακά όλο και πιο γρήγορα. Ωστόσο, όσο το ω_0 αυξάνει από $\omega_0=\pi$ σε $\omega_0=2\pi$, οι ταλαντώσεις γίνονται πιο αργές. Όλα τα αυτά μπορούμε να τα δούμε σχηματικά στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.2.4: Διακρίνεται το $\cos\omega_0 n$ για πολλές διαφορετικές τιμές του ω_0 . 1) Όσο το ω_0 αυξάνετε από το μηδέν προς το π η ακολουθία ταλαντώνεται γρηγορότερα (από το σχήμα a στο σχήμα d). 2) Όσο το ω_0 αυξάνει από το π στο 2π οι ταλαντώσεις της ακολουθίας γίνονται πιο αργές (από το σχήμα d στο σχήμα a).

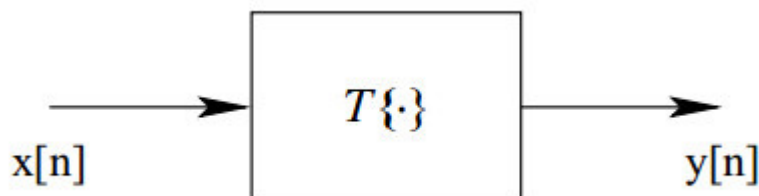
Στην πραγματικότητα, λόγω της περιοδικότητας στο ω_0 των ημιτονοειδών και μιγαδικών εκθετικών ακολουθιών, οι συχνότητες γύρω από $\omega_0=2\pi$ είναι δυσδιάκριτες σε σχέση με τις συχνότητες γύρω από $\omega_0=0$. Κατά συνέπεια, για τα ημιτονοειδή και μιγαδικά εκθετικά σήματα οι τιμές του ω_0 πλησίον του $\omega_0=2\pi k$ για κάθε ακέραια τιμή του k συνήθως αναφερόμαστε σε χαμηλές συχνότητες (σχετικά αργές ταλαντώσεις), ενώ όταν οι τιμές του ω_0 είναι πλησίον του $\omega_0=(\pi+2\pi k)$ για κάθε ακέραια τιμή του k συνήθως αναφερόμαστε σε υψηλές συχνότητες (σχετικά γρήγορες ταλαντώσεις).

2.3 Συστήματα διακριτού χρόνου

Συστήματα διακριτού χρόνου λέγονται τα συστήματα στα οποία τα σήματα εισόδου και εξόδου μεταβάλλονται μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές και ενδιάμεσα είτε δεν ορίζονται είτε παραμένουν σταθερά.

Επομένως όταν αναφερόμαστε στα συστήματα διακριτού χρόνου στην ουσία είναι τα συστήματα τα οποία ορίζονται μαθηματικά σαν ένα μετασχηματισμό ή ένα φορέα ο οποίος απεικονίζει μια ακολουθία εισόδου με τιμές $x[n]$ σε μια ακολουθία εξόδου με τιμές $y[n]$. Ουσιαστικά είναι η οντότητα εκείνη η οποία δρα ή αλλιώς επηρεάζει ένα σήμα, το μετασχηματίζει και έχει σαν αποτέλεσμα ένα άλλο καινούριο πλέον σήμα και μαθηματικά απεικονίζεται ως εξής:

$$y[n] = T\{x[n]\}$$



Εικόνα 2.3.1: Γραφική απεικόνιση ενός τυπικού συστήματος διακριτού χρόνου

Η παραπάνω εξίσωση αντιπροσωπεύει έναν κανόνα ή τύπο για τον υπολογισμό των τιμών της ακολουθίας εξόδου από τις τιμές της ακολουθίας εισόδου. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι η τιμή της ακολουθίας εξόδου σε κάθε τιμή του δείκτη n μπορεί να εξαρτάται από τα δείγματα εισόδου $x[n]$ για όλες τις τιμές του n , για παράδειγμα τη χρονική στιγμή y , το n μπορεί να εξαρτάται από το σύνολο ή ενός τμήματος αυτού της πλήρους αλληλουχίας x .

Όπως θα δούμε και στην συνέχεια τα συστήματα διακριτού χρόνου έχουν κάποιες ιδιότητες και με αυτές χωρίζονται σε ειδικές κατηγορίες. Είναι οι εξής:

- Γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα
- Στατικά συστήματα
- Δυναμικά συστήματα
- Αιτιατά συστήματα
- Μη αιτιατά συστήματα
- Χρονικά αμετάβλητα συστήματα
- Χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα
- Ευσταθή και ασταθή συστήματα
- Γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα συστήματα (LTI Systems)

2.3.1 Γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα

Ένα σύστημα που βρίσκεται σε αρχική ηρεμία ονομάζεται γραμμικό, όταν και μόνον όταν δοθέντων δύο σημάτων εισόδου $x_1(t)$ και $x_2(t)$, ισχύει η σχέση:

$$S[a_1x_1(t) + a_2x_2(t)] = a_1S[x_1(t)] + a_2S[x_2(t)]$$

Δηλαδή, η απόκριση του συστήματος σε είσοδο που είναι ο γραμμικός συνδυασμός δύο σημάτων, ισούται με τον αντίστοιχο γραμμικό συνδυασμό των αποκρίσεων του συστήματος σε καθένα από τα σήματα αυτά. Αυτή είναι η αρχή της υπέρθεσης (επαλληλίας - superposition) και επεκτείνεται για οποιοδήποτε πεπερασμένο γραμμικό συνδυασμό σημάτων:

$$x_k(t) \xrightarrow{S} y_k(t), \quad k = 1, 2, \dots, M$$

τότε για βαθμωτά $a_k, k = 1, 2, \dots, M$, έχουμε:

$$x(t) = \sum_{k=1}^M a_k x_k(t) \xrightarrow{S} y(t) = \sum_{k=1}^M a_k y_k(t)$$

2.3.2 Στατικά συστήματα

Ένα σύστημα καλείται στατικό ή σύστημα χωρίς μνήμη, εάν για κάθε σήμα εισόδου η αντίστοιχη έξοδος για κάθε χρονική στιγμή εξαρτάται μόνο από την τιμή της εισόδου την ίδια χρονική στιγμή και όχι από προηγούμενες ή μελλοντικές τιμές της. Ως παράδειγμα στατικού συστήματος (χωρίς μνήμη) έχουμε την ωμική αντίσταση που είναι σύστημα χωρίς μνήμη, αφού η τάση στα άκρα της $u_R(t)$ (έξοδος) σε κάθε χρονική στιγμή εξαρτάται από το ρεύμα $i(t)$ (είσοδος), που την διαρρέει κατά την ίδια χρονική στιγμή, δηλαδή ισχύει:

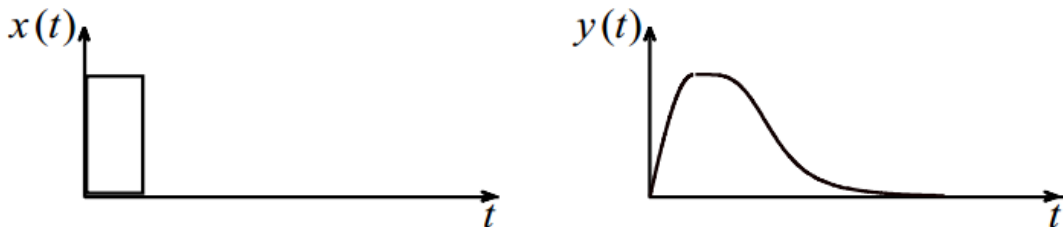
$$u_R(t) = R i(t)$$

2.3.3 Δυναμικά συστήματα

- Εάν ένα σύστημα δεν είναι στατικό, τότε καλείται δυναμικό ή σύστημα με μνήμη.
- Η έξοδος ενός δυναμικού συστήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή εξαρτάται όχι μόνο από την τιμή της εισόδου την ίδια χρονική στιγμή, αλλά επίσης και από (μερικές τουλάχιστον) προηγούμενες τιμές της εισόδου (και σε αιτιατά συστήματα και από μελλοντικές τιμές).
- Ένα σύστημα που η έξοδος του τη χρονική στιγμή t προσδιορίζεται πλήρως από τις τιμές της εισόδου στο διάστημα $t - T$ έως t (ισχύει $T \geq 0$), λέμε ότι έχει μνήμη μήκους T .
- Εάν το T έχει μία πεπερασμένη τιμή, το σύστημα χαρακτηρίζεται ως σύστημα πεπερασμένης μνήμης, ενώ αν $T \rightarrow \infty$ το σύστημα είναι γνωστό ως σύστημα άπειρης μνήμης.
- Ένα στατικό σύστημα έχει μηδενική μνήμη ($T = 0$).

Ως παράδειγμα ενός δυναμικού συστήματος (με μνήμη) είναι ο πυκνωτής αφού η τάση $u_c(t)$ στα άκρα του σε κάθε χρονική στιγμή είναι αποτέλεσμα όλου του ιστορικού του ρεύματος $i(t)$ που τον διαρρέει:

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$$



2.3.4 Αιτιατά συστήματα

Ένα σύστημα είναι αιτιατό (causal) όταν η παρούσα τιμή της εξόδου του δεν εξαρτάται από μελλοντικές τιμές της εισόδου. Δηλαδή, για κάθε σήμα εισόδου $x(t)$ η αντίστοιχη έξοδος $y(t)$ εξαρτάται μόνο από την παρούσα ή/και τις προηγούμενες τιμές της εισόδου.

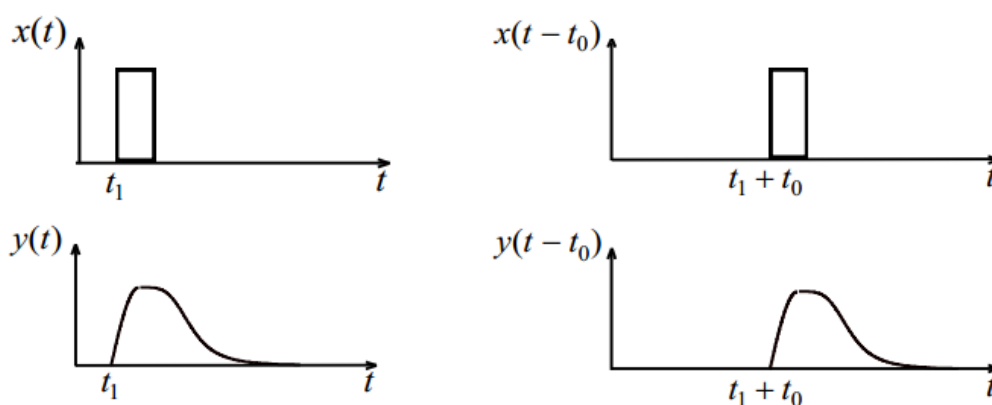
2.3.5 Μη αιτιατά συστήματα

Αντίστροφα, αν η έξοδος $y(t_0)$ τη χρονική στιγμή t_0 εξαρτάται από μεταγενέστερες τιμές του σήματος εισόδου $x(t)$, δηλ. για $t \geq t_0$, τότε το

σύστημα είναι μη-αιτιατό. Με άλλα λόγια, ένα σύστημα είναι αιτιατό αν οι μεταβολές στην έξοδο (αποτέλεσμα) του συστήματος, ποτέ δεν προηγούνται των μεταβολών που επιτελούνται στην είσοδο του συστήματος (αιτία). Όλα τα φυσικά παθητικά συστήματα έχουν την ιδιότητα της αιτιότητας.

2.3.6 Χρονικά αμετάβλητα συστήματα

Ένα σύστημα λέγεται χρονικά αμετάβλητο ή χρονικά αναλλοίωτο, όταν και μόνον όταν χρονικές ολισθήσεις του σήματος εισόδου μεταφράζονται σε αντίστοιχες χρονικές ολισθήσεις στο σήμα εξόδου. Σε ένα χρονικά αμετάβλητο σύστημα αν ένα σήμα εισόδου $x(t)$ προκαλεί έξοδο $y(t)$, τότε ένα σήμα εισόδου $x(t - t_0)$ παράγει σήμα εξόδου $y(t - t_0)$.



Εικόνα 2.3.2: Η είσοδος και η έξοδος ενός χρονικά αμετάβλητου συστήματος

2.3.7 Χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα 2.3.2, δίνεται ένα παράδειγμα σημάτων εισόδου – εξόδου ενός χρονικά αμετάβλητου συστήματος. Για να ελέγξουμε αν ένα σύστημα είναι χρονικά αμετάβλητο, υπολογίζουμε την έξοδο $y(t)$ για είσοδο $x(t)$. Αν ισχύει $y(t) = y(t - t_0)$ για κάθε είσοδο $x(t)$ και κάθε ολίσθηση t_0 τότε το σύστημα είναι χρονικά αμετάβλητο. Σε διαφορετική περίπτωση στο σύστημα είναι χρονικά μεταβαλλόμενο (time varying).

2.3.8 Ευσταθή και ασταθή συστήματα

Ένα σύστημα διαθέτει ευστάθεια Φραγμένης Εισόδου - Φραγμένης Εξόδου και ονομάζεται ΦΕΦΕ ευσταθές όταν και μόνον όταν για κάθε φραγμένη είσοδο η έξοδός του παραμένει φραγμένη. Ένα σύστημα είναι ΦΕΦΕ-ευσταθές (BIBO – bounded input bounded output) όταν για κάθε θετικό αριθμό $M_1 < \infty$ για τον

οποίο ισχύει $|x(t)| \leq M_1$, υπάρχει (θετικός) αριθμός $M_2 < \infty$ για τον οποίο να ισχύει $|y(t)| \leq M_2$. Η έννοια αυτή της ευστάθειας ενός συστήματος ταυτίζεται με την απαίτηση τα σήματα εισόδου και εξόδου να παραμένουν πεπερασμένα (φραγμένα) σε πλάτος.

2.3.9 Γραμμικά και χρονικά αμετάβλητά συστήματα (LTI Systems)

Όπως και στα συστήματα συνεχούς χρόνου, έτσι και συστήματα διακριτού χρόνου υπάρχει μια κατηγορία η οποία αποτελείται από εκείνα τα συστήματα που είναι τόσο γραμμικά όσο και χρονικά αναλλοίωτα. Αυτές οι δύο ιδιότητες συνδυαστικά οδηγούν σε ιδιαίτερα κατάλληλες παραστάσεις για συστήματα αυτού του είδους. Το πιο σημαντικό βέβαια είναι ότι αυτή η κατηγορία συστημάτων έχει ιδιαίτερα χρήσιμες και συνάμα μεγάλης σημαντικότητας εφαρμογές στην επεξεργασία σήματος.

Έστω λοιπόν πως $h(t, \tau)$ είναι η απόκριση ενός γραμμικού και χρονικά αμετάβλητου συστήματος, στην μοναδιαία κρουστική συνάρτηση $\delta(t - \tau)$ κατά τη χρονική στιγμή τ , δηλαδή ισχύει $h(t, \tau) = S[\delta(t - \tau)]$. Καταλήγουμε στο να αποδεικνύουμε ότι η απόκριση $h(t, \tau)$ χαρακτηρίζει πλήρως το σύστημα, επειδή η γνώση της επιτρέπει τον υπολογισμό της εξόδου $y(t)$ για οποιαδήποτε είσοδο $x(t)$.

Η είσοδος $x(t)$ αρχικά εκφράζεται σαν άθροισμα παλμών, ως εξής:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) dt$$

Εξαιτίας όμως της ιδιότητας της γραμμικότητας ισχύει ότι:

$$x(t) = S[x(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \delta(t - \tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t, \tau) dt$$

Στην περίπτωση βέβαια που το γραμμικό σύστημα είναι και χρονικά αμετάβλητο (από τούδε και στο εξής ΓΧΑ) σύστημα τότε ισχύει ότι:

$$h(t, \tau) = S[\delta(t - \tau)] = h(t - \tau)$$

Η σχέση η οποία δίνει την έξοδο $y(t)$ ενός γραμμικού (σε αρχική ηρεμία) και χρονικά αμετάβλητου (ΓΧΑ) συστήματος είναι η εξής:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) dt$$

επεξηγηματικά για την παραπάνω σχέση όπου $x(t)$ είναι η είσοδος που εφαρμόζεται στο σύστημα $h(t)$ είναι η κρουστική απόκριση του συστήματος, η έξοδος δηλαδή του συστήματος όταν στην είσοδο του εφαρμοστεί η κρουστική συνάρτηση $\delta(t)$. Η συνάρτηση $h(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$h(t) = S[\delta(t)].$$

Η συνάρτηση $h(t - \tau)$ στην παραπάνω σχέση αναπαριστά μια χρονικά καθυστερημένη κατά τα, μορφή της $h(t)$.

Το ολοκλήρωμα στην παραπάνω σχέση ονομάζεται συνέλιξη ή συγκερασμός μεταξύ των $x(t)$ και $h(t)$ και συμβολικά γράφεται ως:

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

Στην συνέχεια κάνοντας απλά μια αλλαγή των μεταβλητών στην σχέση

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) dt$$

αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) h(t - \tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) x(t - \tau) dt$$

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι σε ένα ΓΧΑ σύστημα μας είναι αρκετό να γνωρίζουμε μια μόνο συνάρτηση, την κρουστική απόκριση $h(t)$, με σκοπό να περιγράψουμε πλήρως τη σχέση της εισόδου $x(t)$ και της εξόδου $y(t)$ του συστήματος με την βοήθεια του ολοκληρώματος της συνέλιξης. Επιπλέον αν το σύστημα εκτός από γραμμικό και χρονικά αμετάβλητο (ΓΧΑ) είναι και αιτιατό, τότε τα όρια ολοκλήρωσης του συνελικτικού ολοκληρώματος απλοποιούνται σε:

$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) h(t - \tau) dt = \int_{-\infty}^t h(\tau) x(t - \tau) dt$$

Κεφάλαιο 3

3.1 Διαμόρφωση σήματος

Στον τομέα της Ηλεκτρονικής, διαμόρφωση ονομάζουμε την διαδικασία αλλαγής ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών ενός φέροντος σήματος το οποίο δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια περιοδική κυματομορφή με υψηλή συχνότητα, βάσει ενός άλλου αυξομειούμενου σήματος. Οι τρεις βασικές παράμετροι της περιοδικής κυματομορφής είναι το πλάτος, η φάση και η συχνότητά της, που μπορούν να αλλάξουν από ένα σήμα αποτελούμενο από χαμηλές συχνότητες ώστε να προκύψει το διαμορφωμένο σήμα. Η υψηλής συχνότητας διαμορφωμένη κυματομορφή χρησιμοποιείται ως μεταφορέας του αρχικού σήματος.

Στις τηλεπικοινωνίες διαμόρφωση ονομάζουμε την διαδικασία μεταβολής ενός περιοδικού, τις περισσότερες φορές υψίσυχνου, σήματος με στόχο την κωδικοποίηση σε αυτό ενός σήματος χαμηλής συχνότητας το οποίο μεταφέρει κωδικοποιημένη πληροφορία. Το υψίσυχο σήμα τότε καλείται φέρον και συνήθως είναι σήμα απλής συχνότητας (π.χ. ο φορέας είναι συνήθως μία ημιτονοειδής κυματομορφή (ημιτονοειδές σήμα), ενώ το σήμα πληροφορίας μπορεί να έχει οποιαδήποτε μορφή). Η διαμόρφωση απαιτείται για να μπορέσει να διέλθει ένα σήμα από κάποιο τηλεπικοινωνιακό κανάλι:

- καλώδιο – κυματοδηγός (στις ενσύρματες επικοινωνίες) ή
- ο ελεύθερος χώρος - αέρας (στις ασύρματες επικοινωνίες)

το εύρος ζώνης του οποίου δεν επικαλύπτεται με το εύρος ζώνης του σήματος. Στο άλλο άκρο της επικοινωνίας, στον παραλήπτη, διενεργείται η ανάστροφη διαδικασία προκειμένου να ανακτηθεί το αρχικό σήμα, γνωστή και ως αποδιαμόρφωση. Μία συσκευή η οποία μπορεί να επιτελεί και τις δύο διεργασίες, έτσι ώστε να λειτουργεί και ως αποστολέας και ως παραλήπτης είναι ο διαποδιαμορφωτής (Modulator-Demodulator).

Υπάρχουν δύο κατηγορίες διαμορφώσεων σήματος, οι αναλογικές και οι ψηφιακές.

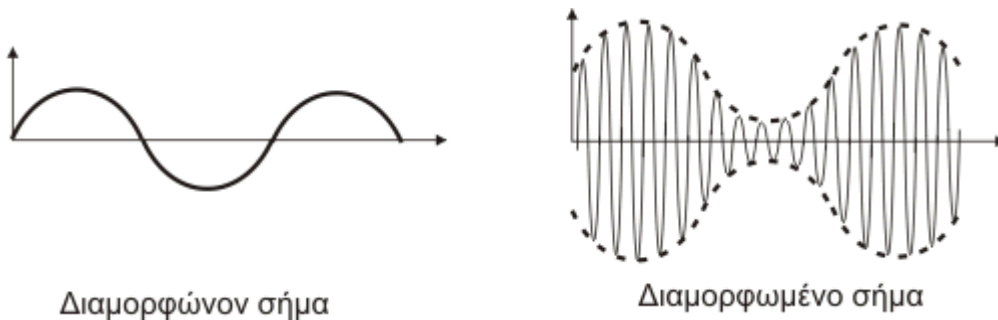
Τεχνικές διαμόρφωσης	
Αναλογικές τεχνικές	AM · SSB · DSB · QAM · FM · PM · SM
Ψηφιακές τεχνικές	FSK · ASK · OOK · PSK · QAM MSK · CPM · PPM · TCM · OFDM

3.2 Αναλογικές διαμορφώσεις

3.2.1 Διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Modulation – AM)

Ο πιο απλός και πιο παλιός τύπος διαμόρφωσης είναι η διαμόρφωση κατά πλάτος (AM). Στην AM το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει το πλάτος του ημιτονοειδούς φορέα, δηλαδή το στιγμιαίο πλάτος του φορέα μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του διαμορφώνοντος σήματος.

Στο παρακάτω σχήμα διακρίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα που διαμορφώνει ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας. Η διακεκομμένη γραμμή που ενώνει τις θετικές και αρνητικές κορυφές της κυματομορφής του φορέα αναπαράγει το ακριβές σχήμα του διαμορφώνοντος σήματος πληροφορίας και ονομάζεται περιβάλλουσα.



Τα σήματα στο παραπάνω σχήμα δείχνουν τη μεταβολή του φορέα με το χρόνο. Τέτοια σήματα που παριστάνονται σαν την μεταβολή της τάσης ή του ρεύματος με το χρόνο λέμε ότι είναι σήματα που εκφράζονται στο χώρο του χρόνου.

❖ Δείκτης διαμόρφωσης

Όταν ένα σήμα πληροφορίας πλάτους V_m διαμορφώνει ένα φορέα πλάτους V_c , για να έχουμε ορθή διαμόρφωση AM, η τάση V_m του διαμορφώνοντος σήματος πρέπει να είναι μικρότερη από την τάση V_c του φορέα. Αυτή η σχέση είναι ο λόγος τάση διαμορφώνοντος σήματος προς τάση φορέα και ονομάζεται βαθμός διαμόρφωσης m . Δηλαδή: $m = V_m / V_c$.

Οι τιμές του δείκτη διαμόρφωσης κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 1. Ο δείκτης διαμόρφωσης γίνεται μεγαλύτερος του 1 μόνο όταν το πλάτος της διαμορφώνουσας τάσης υπερβαίνει την τάση του φορέα και σε αυτή τη περίπτωση παρατηρείται υπερδιαμόρφωση της διαμορφωμένης κυματομορφής.

Όταν πολλαπλασιάζουμε τον δείκτη διαμόρφωσης με 100 μας επιστρέφεται ο βαθμός διαμόρφωσης ως ποσοστό επί τοις εκατό (%). Στην πράξη θέλουμε διαμόρφωση κοντά στο 100% γιατί τότε πετυχαίνουμε μετάδοση του μέγιστου πλάτους της πληροφορίας και ως αποτέλεσμα έχουμε την μετάδοση περισσότερης ισχύς του σήματος πληροφορίας.

❖ Πλευρικές ζώνες

Όταν ο φορέας συχνότητας f_c και πλάτους V_c , ο οποίος περιγράφεται με τη μαθηματική εξίσωση: $v_c = V_c \sin 2\pi f_c t$ διαμορφώνεται από ένα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας f_m και πλάτους V_m το οποίο περιγράφεται με την εξίσωση $v_m = V_m \sin 2\pi f_m t$ με ένα διαμορφωτή AM, στην έξοδο του παίρνουμε το διαμορφωμένο σήμα, που εκτελώντας τις μαθηματικές πράξεις μπορεί να γραφεί ως εξής:

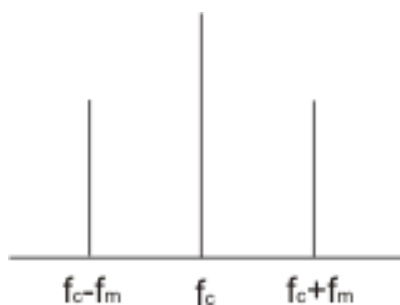
$$V_a = V_c \sin 2\pi f_c t + (V_m/2) \cos 2\pi t(f_c - f_m) - (V_m/2) \cos 2\pi t(f_c + f_m)$$

Το άθροισμα της συχνότητας του φορέα καθώς και δυο νέων ημιτονοειδών σημάτων τα οποία αποκαλούνται και πλευρικές συχνότητες ή αλλιώς πλευρικές ζώνες, περιγράφουν ένα διαμορφωμένο σήμα AM. Οι συγκεκριμένες πλευρικές ζώνες βρίσκονται στο φάσμα πάνω και κάτω από τη συχνότητα του φορέα. Επομένως οι συγκεκριμένες πλευρικές ζώνες αποτελούν το άθροισμα και τη διαφορά των συχνοτήτων φορέα και πληροφορίας. Δηλαδή η άνω πλευρική f_{USB} και η κάτω πλευρική ζώνη f_{LSB} είναι:

$$f_{USB} = f_c + f_m \quad f_{LSB} = f_c - f_m$$

Η λήψη ενός AM σήματος πραγματοποιείται όταν προστίθενται αλγεβρικά ο φορέας και τα δυο σήματα πλευρικών ζωνών μαζί.

Η αναπαράσταση ενός διαμορφωμένου σήματος AM στο πεδίο της συχνότητας ορίζεται με την σχεδίαση των πλατών του φορέα και των πλευρικών ζωνών ως προς την συχνότητα. Στην περίπτωση που διαμορφώσουμε τον φορέα με ένα ημιτονοειδές σήμα, το διαμορφωμένο σήμα AM που θα προκύψει παριστάνεται στο πεδίο συχνότητας με τον παρακάτω τρόπο:



Όταν ο φορέας διαμορφώνεται από ένα σύνθετο σήμα όπως για παράδειγμα ένα σήμα φωνής (το οποίο αποτελείται από πολλές ημιτονοειδής συνιστώσες συχνοτήτων που κυμαίνονται από 300 έως 3000Hz) τότε το AM κύμα που προκύπτει θα αποτελείται από το φορέα και τις πλευρικές συχνοτήτες πάνω και κάτω από το φορέα. Αυτές οι πλευρικές συχνοτήτες καταλαμβάνουν φασματικό χώρο.

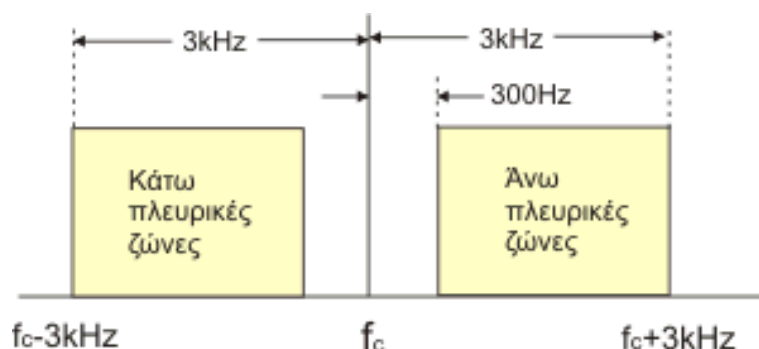
Το εύρος ζώνης του AM σήματος είναι η απόσταση της ελάχιστης και μέγιστης πλευρικής συχνοτήτας.

Έτσι αν για παράδειγμα, ο φορέας έχει συχνότητα 14,7MHz και διαμορφώνεται από σήμα φωνής περιοχής συχνοτήτων μέχρι 3kHz τότε η μέγιστη και η ελάχιστη από τις πλευρικές ζώνες είναι:

$$f_{USB}=14700+3=14703\text{kHz}$$

$$f_{LSB}=14700-3=14697\text{kHz}$$

Το συνολικό εύρος ζώνης του AM σήματος είναι η διαφορά άνω και κάτω πλευρικής συχνοτήτας $BW=f_{USB}-f_{LSB}$. Δηλαδή $BW=14703\text{kHz}-14697\text{kHz}=6\text{kHz}$.



❖ Κατανομή ισχύος στη διαμόρφωση AM

Κατά την εκπομπή ενός διαμορφωμένου σήματος AM από ένα ραδιοπομπό, η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς P_T είναι το άθροισμα της ισχύος του φορέα P_C και της ισχύος των δυο πλευρικών ζωνών P_{USB} και P_{LSB} , δηλαδή:

$$P_T=P_C+P_{LSB}+P_{USB}$$

Η ισχύς σε κάθε πλευρική ζώνη εξαρτάται από τον βαθμό διαμόρφωσης και δίνεται από τη σχέση:

$$P_S=P_{LSB}=P_{USB}=P_C m^2/4$$

❖ Μονοπλευρικές επικοινωνίες

Ο φορέας AM δεν περιέχει πληροφορία, η πληροφορία βρίσκεται στις πλευρικές ζώνες, επομένως πάνω από τα 2/3 της ολικής εκπεμπόμενης ισχύος

είναι η ισχύς του φορέα και μένει ανεκμετάλλευτη. Επομένως είναι φανερό ότι η διαμόρφωση AM είναι ακατάλληλη μέθοδος διαμόρφωσης και μια μέθοδος βελτιστοποίησης είναι η συμπίεση του φορέα.

Με την συμπίεση, το προκύπτον σήμα είναι μόνο οι δυο πλευρικές ζώνες που περιέχουν την ίδια πληροφορία (διπλοπλευρικό σήμα συμπιεσμένου φορέα DSB). Έτσι η ισχύς που εξοικονομείται από το φορέα εκπέμπεται από τις πλευρικές.

Σε ένα DSB σήμα, βλέπουμε ότι η βασική πληροφορία εκπέμπεται διπλά μια σε κάθε πλευρική ζώνη, έτσι δεν υπάρχει κανένας λόγος για την εκπομπή και των δυο πλευρικών ζωνών. Η μια πλευρική ζώνη μπορεί να συμπιεστεί και η παραμένουσα ζώνη καλείται SSB σήμα.

Τα πλεονεκτήματα της SSB εκπομπής σήματος είναι τα εξής:

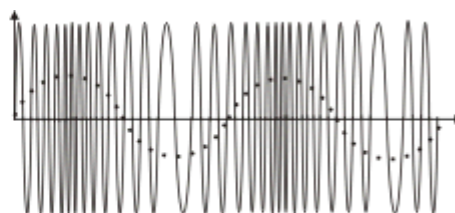
- Ο φασματικός χώρος που καταλαμβάνει είναι περιορισμένος αφού είναι ο μισός εκείνου AM ή DSB σήματος. Έτσι μπορούμε να εκπέμπουμε περισσότερα σήματα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων.
- Η περισσότερη ισχύς στο στάδιο εκπομπής διοχετεύεται στη μοναδική πλευρική ζώνη, άρα το σήμα είναι ισχυρότερο και μεταδίδεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Ο θόρυβος σαν τυχαία τάση αποτελείται από ένα ευρύ αριθμό συχνοτήτων, έτσι το SSB σήμα αφού έχει περιορισμένο εύρος ζώνης, θα περιέχει λιγότερο θόρυβο.

3.2.2 Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation – FM)

Στη διαμόρφωση FM, το σήμα πληροφορίας (υψηλόσυχο ημιτονοειδές με σταθερό πλάτος) μεταβάλλει τη συχνότητα του φορέα. Όσο το πλάτος του σήματος πληροφορίας μεταβάλλεται, η συχνότητα του φορέα ολισθαίνει ανάλογα. Επομένως όσο το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος αυξάνει, η συχνότητα του φορέα θα αυξάνει ανάλογα και ισχύει το ακριβώς αντίθετο όταν το πλάτος του σήματος μειώνεται. Κατά την διαμόρφωση FM, η συχνότητα του φορέα μεταβάλλεται πάνω και κάτω από την κεντρική συχνότητα του αδιαμορφωτού φορέα. Το ποσό της μεταβολής της συχνότητας του φορέα που παράγεται από το διαμορφώνον είναι γνωστό σαν απόκλιση συχνότητας.



Διαμορφώνον σήμα

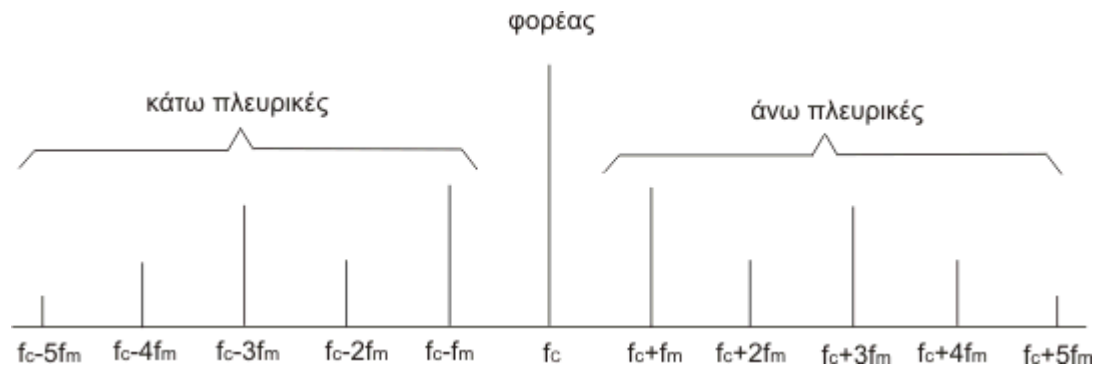


Διαμορφωμένο σήμα FM

Σύμφωνα με τα παραπάνω βλέπουμε και σχηματικά πως όταν το σήμα αυξάνει προς τα θετικά (μέγιστο πλάτος), η συχνότητα του φορέα αυξάνεται και αυτή, ενώ όταν το σήμα ελαττώνεται προς τα αρνητικά (μέγιστο αρνητικό πλάτος), η συχνότητα του φορέα ελαττώνεται.

❖ Πλευρικές ζώνες και ο δείκτης διαμόρφωσης.

Οποιαδήποτε επεξεργασία διαμόρφωσης παράγει πλευρικές ζώνες. Έτσι και για την FM παράγονται άνω και κάτω πλευρικές συχνότητες. Επιπλέον, παράγεται ένας θεωρητικά άπειρος αριθμός ζευγών άνω και κάτω πλευρικών ζωνών. Το φάσμα ενός FM σήματος είναι συνήθως ευρύτερο από ένα ισοδύναμο AM σήμα. Στην επεξεργασία FM τα μεγαλύτερα πλάτη των πλευρικών ζωνών είναι σημαντικά για την μεταφορά πληροφορίας. Ως εκ τούτου πλευρικές ζώνες των οποίων το πλάτος είναι μικρότερο του 1% του αδιαμόρφωτου φορέα θεωρούνται ασήμαντες.



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα φάσματος ενός φορέα συχνότητας f_c που διαμορφώνεται κατά FM από ένα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας f_m .

Σε συστήματα που χρησιμοποιούν διαμόρφωση FM ορίζονται μέγιστα όρια και στην

- απόκλιση συχνότητας και τη
- διαμορφώνουσα συχνότητα

Στις ραδιοφωνικές εκπομπές στην μπάντα των FM, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση συχνότητας είναι της τάξης των 75KHz, ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη διαμορφώνουσα συχνότητα είναι της τάξης των 15KHz.

Το φάσμα ενός σήματος FM μεταβάλλεται σημαντικά σε εύρος ζώνης ανάλογα με το δείκτη διαμόρφωσης. Το εύρος ζώνης ενός σήματος FM είναι ανάλογο του δείκτη διαμόρφωσης. Όταν θέλουμε περιορισμένο εύρος ζώνης αρκεί να τεθεί ένα ανώτερο όριο στο δείκτη διαμόρφωσης.

3.2.3 Η FM σε σύγκριση με την AM

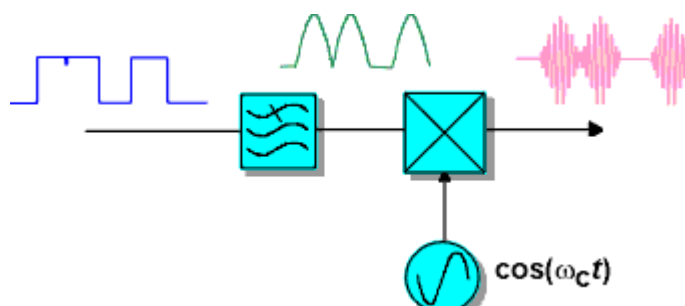
Το κύριο πλεονέκτημα της FM ως προς την AM είναι η καλή συμπεριφορά της ως προς τον θόρυβο. Ο θόρυβος προέρχεται από το περιβάλλον και είναι ακμές τάσης που παρεμβάλλονται στο σήμα ως διακυμάνσεις πλάτους αλλά δεν επηρεάζεται το σήμα πληροφορίας που περιέχεται στο διαμορφωμένο σήμα FM καθώς αυτό έχει σταθερό πλάτος όταν εξέρχεται από τον περιοριστή του δέκτη FM, και όλο αυτό γιατί η πληροφορία περιέχεται αποκλειστικά μέσα στις μεταβολές συχνότητας του φορέα.

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα της FM είναι το φαινόμενο σύλληψης που σημαίνει πως όταν δυο ή περισσότερα σήματα εκπέμπονται στην ίδια συχνότητα ο δέκτης θα «συλλάβει» το ισχυρότερο σήμα και θα εξαλείψει το ή τα ασθενέστερα σήματα, ενώ όταν δυο AM σήματα εκπέμπονται στην ίδια συχνότητα θα ακούγονται και τα δυο σήματα στον δέκτη και όταν η ισχύς τους είναι περίπου η ίδια, θα παρεμβάλλουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην ακούγεται καθαρά κανένα από τα δυο.

3.3 Ψηφιακές διαμορφώσεις

3.3.1 Ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Shift Keying – ASK)

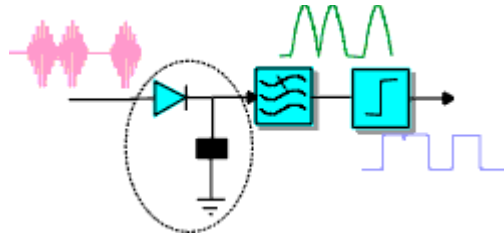
Κατά την εκπομπή ενός σήματος ASK κύριο μέλημα είναι ο περιορισμός του εύρους ζώνης που καταλαμβάνεται. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται φιλτράρισμα ή μορφοποίηση των παλμών είτε πριν είτε μετά τη διαμόρφωση του φέροντος. Για το φιλτράρισμα (της ακολουθίας) των δεδομένων βασικής ζώνης χρειάζονται φίλτρα υψηλής ποιότητας, επομένως ιδανικό είναι το φιλτράρισμα (για τον περιορισμό του εύρους ζώνης) να εφαρμόζεται στο αδιαμόρφωτο σήμα:



Εικόνα 3.3.1: Φιλτράρισμα δεδομένων για τον περιορισμό του καταλαμβανομένου εύρους ζώνης

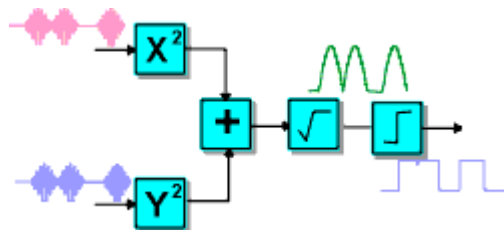
❖ Ασύγχρονη ανίχνευση

Η πληροφορία που εκπέμπεται είναι αποθηκευμένη στο πλάτος γνωστό όπως έχουμε ξαναπεί και ως περιβάλλουσα (envelope) του διαμορφωμένου φέροντος. Επομένως στην πλευρά του δέκτη τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν με την χρήση ενός ανιχνευτή περιβάλλουσας.



Εικόνα 3.3.2: Ανιχνευτής διόδου για αποδιαμόρφωση ASK με ανίχνευση περιβάλλουσας

Εάν πάλι το διαμορφωμένο φέρον είναι σε ορθογωνική (quadrature) μορφή, στην πλευρά του δέκτη ο ανιχνευτής που χρησιμοποιείται είναι όπως ο παρακάτω:



Εικόνα 3.3.3: Ασύγχρονη ανίχνευση με την ορθογωνική μέθοδο

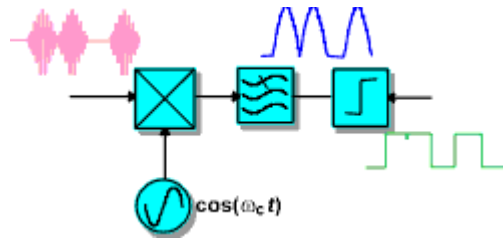
Με την ορθογωνική μέθοδο, τα τετράγωνα της συμφασικής και της ορθογωνικής συνιστώσας προστίθενται στον αθροιστή και η έξοδος του αθροιστή είναι της μορφής:

$$y^{quadr}(t) = a^2(t) \cdot \cos^2(\omega_c t + \theta) + a^2(t) \cdot \sin^2(\omega_c t + \theta) = a^2(t)$$

Μετά τον αθροιστή η έξοδος αυτού διέρχεται από μια διάταξη που υπολογίζει τη ρίζα και τέλος η έξοδος αυτής της διάταξης περνάει από τον ολοκληρωτή για να προκύψει η αρχική ακολουθία δεδομένων $a(t)$.

❖ Σύγχρονη ανίχνευση

Στην σύγχρονη ανίχνευση χρησιμοποιούμε ανιχνευτή (coherent detector) ο οποίος λειτουργεί αναμιγνύοντας το εισερχόμενο στο δέκτη διαμορφωμένο σήμα δεδομένων με ένα φέρον αναφοράς που παράγεται τοπικά επιλέγοντας τη συνιστώσα διαφοράς από τον έξοδο του μίκτη.



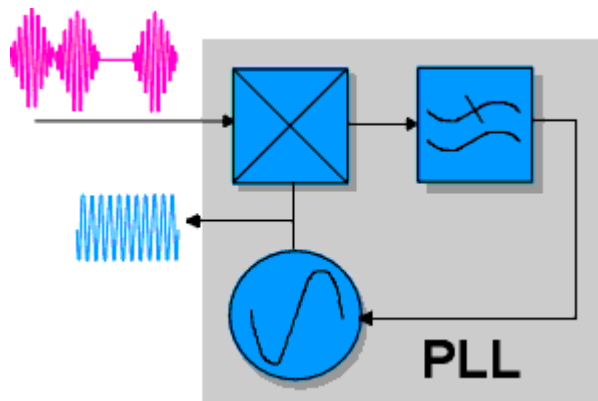
Εικόνα 3.3.4: Κύκλωμα σύγχρονης ανίχνευσης

Τη διαδικασία της σύγχρονης ανίχνευσης την περιγράφουμε μαθηματικά ως:

$$y(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_c t + \theta) \cdot \cos(\omega_c t) = 0.5 \cdot a(t) \cdot [\cos(\theta) + \cos(2\omega_c t + \theta)]$$

Αν ο φορέας είναι σύμφωνος σε φάση (phase coherent) με το εισερχόμενο διαμορφωμένο σήμα, (αν δηλαδή δεν υπάρχει διαφορά συχνότητας ή φάσης ανάμεσα στα δύο σήματα και $\theta=0$), τότε η έξοδος είναι ανάλογη της κυματομορφής $a(t)$ και επιτυγχάνεται τέλεια ανίχνευση.

Είναι φανερό ότι για να προκύψει η ιδανική σύγχρονη ανίχνευση κατά την ανάκτηση του φορέα θα πρέπει η διαφορά φάσης ανάμεσα στην λαμβανόμενη κυματομορφή και την κυματομορφή του τοπικά παραγόμενου φέροντος να είναι μηδενική. Για να ικανοποιηθεί ο περιορισμός αυτός χρησιμοποιείται ο βρόχος κλειδωμένης φάσης (phase locked loop-PLL):



Εικόνα 3.3.5: Βρόχος κλειδωμένης φάσης σε κύκλωμα σύγχρονης ανίχνευσης ASK

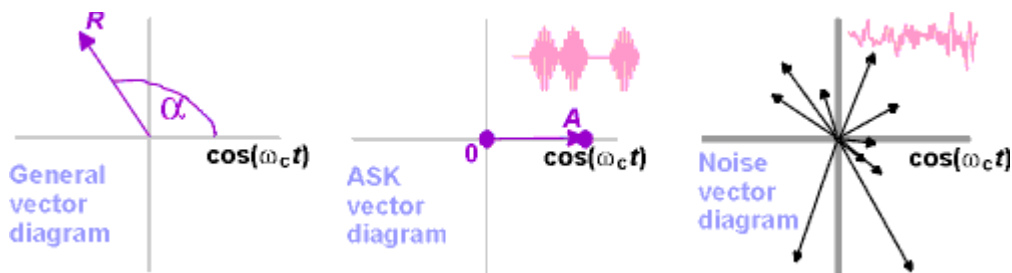
Το κύκλωμα του βρόχου κλειδωμένης φάσης αποτελείται από τρία βασικά δομικά στοιχεία:

- έναν ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση (voltage controlled oscillator-VCO) η συχνότητα εξόδου του οποίου είναι ανάλογη της τάσεως στην είσοδό του,
- έναν ανιχνευτή φάσης ο οποίος παράγει στην έξοδό του μια τάση που είναι ανάλογη της διαφοράς φάσης των δύο εισόδων του. Και
- ένα φίλτρο βρόχου το οποίο χρησιμοποιείται για να ελέγχει τη δυναμική συμπεριφορά της διαδικασίας ανάδρασης.

Η αρχή λειτουργίας του PLL βασίζεται στη σύγκριση της φάσης μεταξύ του σήματος εισόδου και του τοπικού ταλαντωτή ελεγχόμενου από τάση. Εάν υφίσταται μια διαφορά φάσης ή/και συχνότητας μεταξύ των σημάτων, τότε η παραγόμενη τάση στην έξοδο του φίλτρου βρόχου ρυθμίζει κατάλληλα την συχνότητα/φάση του VCO, με σκοπό τον μηδενισμό της διαφοράς αυτής. Όταν η διαφορά μηδενιστεί η παραγόμενη τάση στην έξοδο του φίλτρου βρόχου είναι μηδέν και ο VCO λέγεται ότι έχει «κλειδώσει» στο σήμα εισόδου.

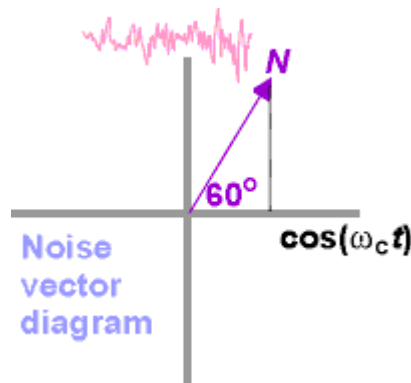
❖ Σύγκριση ασύγχρονης και σύγχρονης ανίχνευσης

Προκειμένου να συγκρίνουμε τις δύο μορφές ανίχνευσης είναι αναγκαίο να παρατηρήσουμε το διανυσματικό διάγραμμα (ή διάγραμμα αστερισμού) της ASK. Για την δυαδική ASK διακρίνουμε δύο συμβολικές καταστάσεις, η μία αναπαριστώμενη από ένα διάνυσμα μηδενικού πλάτους (αντιστοιχούσα στο λογικό '0') και η άλλη από διάνυσμα πλάτους A (αντιστοιχούσα στο λογικό '1'). Επίσης στο ίδιο διάγραμμα μπορεί να αναπαρασταθεί και ο ηλεκτρικός θόρυβος στη συχνότητα του φορέα, ο οποίος είναι της μορφής $Noise = n(t) \cdot \cos[\omega_c t + \phi(t)]$. Το διανυσματικό διάγραμμα της δυαδικής ASK και του θορύβου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.6.



Εικόνα 3.3.6: Διάγραμμα αστερισμού δυαδικής ASK και ηλεκτρικού θορύβου

Θεωρούμε τώρα την περίπτωση που επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε το διαμορφωμένο ASK σήμα παρουσία θορύβου. Ας υποθέσουμε ότι ο φορέας είναι στη θέση ON (λογικό '1') και ότι το διάνυσμα του ηλεκτρικού θορύβου τη δεδομένη χρονική στιγμή ανίχνευσης έχει μέτρο N και φάση $\varphi=60^\circ$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3.7.



Εικόνα 3.3.7: Διανυσματικό διάγραμμα ηλεκτρικού θορύβου

Στην ασύγχρονη ανίχνευση, -η οποία διενεργεί ανίχνευση πλάτους-, μετριέται απλά το πλάτος του διανύσματος $\sqrt{ASK} + \sqrt{Noise}$, αγνοώντας τη φάση του. Στην περίπτωση αυτή, ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι

$$SNR_{\text{ασύγχρονη}} = \frac{ASK}{Noise}$$

Στη σύγχρονη ανίχνευση, όπου η πληροφορία της φάσης διατηρείται, το συνιστάμενο διάνυσμα είναι $\sqrt{ASK} + \sqrt{Noise}$ και ο λόγος σήματος προς θόρυβο

$$SNR_{\text{σύγχρονη}} = \frac{ASK}{Noise} = \frac{ASK}{Noise \cdot \cos(\phi)} = SNR_{\text{ασύγχρονη}} \cdot \frac{1}{\cos(\phi)}$$

είναι

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα $SNR_{\text{σύγχρονη}} = SNR_{\text{ασύγχρονη}} \times 2$. Αυτός είναι και ο λόγος που η επίδοση της σύγχρονης μετάδοσης είναι καλύτερη από αυτή της ασύγχρονης μετάδοσης.

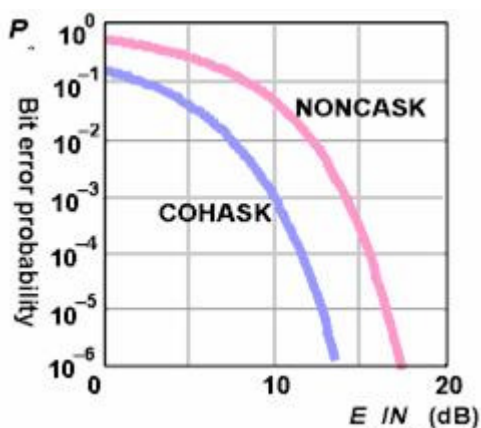
Η πιθανότητα σφάλματος για την περίπτωση της σύμφωνης ASK δίδεται από:

$$P_e^{COHASK} = Q\left(\sqrt{E_b / N_0}\right)$$

ενώ, στην περίπτωση της ασύμφωνης ASK ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit είναι:

$$P_e^{NONCOHASK} = 0.5 e^{-E_b / N_0} \cdot Q\left(\sqrt{E_b / N_0}\right)$$

Οι σχετικές γραφικές παραστάσεις του BER συναρτήσει του λόγου E_b/N_0 για την σύμφωνη και ασύμφωνη ASK παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3.8.



Εικόνα 3.3.8: Επίδοση σύγχρονης και ασύγχρονης ανίχνευσης ASK

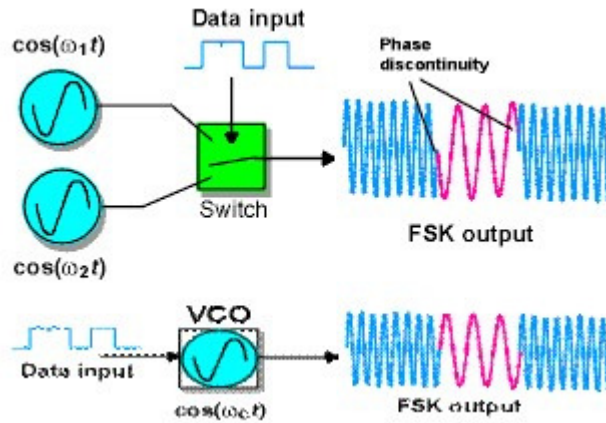
3.3.2 Ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Shift Keying – FSK)

Για την δημιουργία ψηφιακών σημάτων συνήθως προτιμάμε την FSK γιατί είναι εύκολη στην δημιουργία της αλλά και στην ανίχνευση ενώ παράλληλα είναι ανθεκτική στις διακυμάνσεις πλάτους που επιφέρει το κανάλι. Η μέθοδος FSK για την μεταφορά των δεδομένων χρησιμοποιεί φορείς διακριτών συχνοτήτων με σκοπό την αναπαράσταση των καταστάσεων συμβόλων. Μια σημαντική ιδιότητα της FSK είναι ότι το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος είναι σταθερό, καθώς μεταβαίνουμε από μία συμβολική σε άλλη συμβολική κατάσταση.

❖ Δημιουργία της διαμόρφωσης FSK

Η διαμόρφωση FSK μπορεί να δημιουργηθεί με μεταγωγή μεταξύ διαφορετικών πηγών συχνοτήτων χρησιμοποιώντας ένα διακόπτη, αλλά τότε είναι πιθανόν να συμβαίνουν άλματα φάσης μεταξύ των καταστάσεων συμβόλων κατά τις στιγμές μετακίνησης του διακόπτη. Κάθε ασυνέχεια φάσης στα όρια των συμβόλων ενισχύει την εμφάνιση υψίσυχων όρων στο φάσμα που προκύπτει και επομένως αυξάνει το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση.

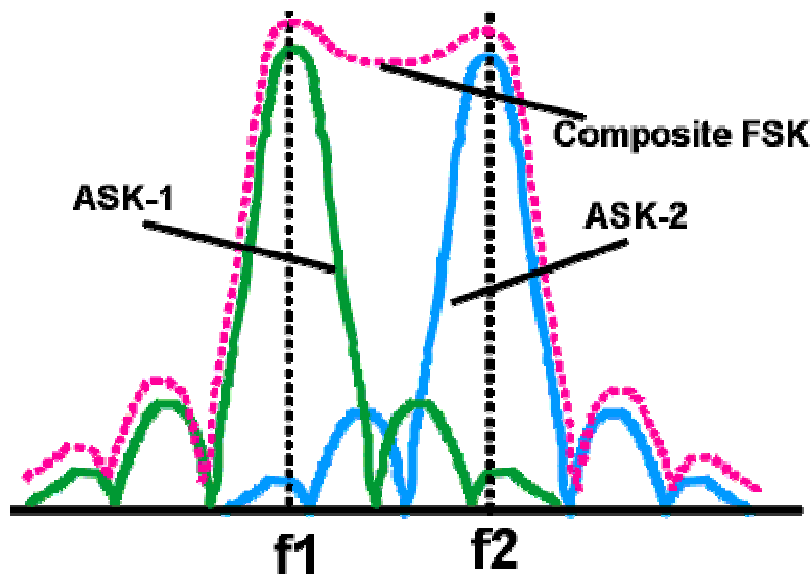
Το πρόβλημα της αύξησης του εύρους ζώνης στην παραγωγή της FSK μπορεί να καταπολεμηθεί εάν το σήμα των δεδομένων εφαρμοστεί ως τάση ελέγχου σε έναν ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση (VCO). Εδώ η μετάβαση από την μία κατάσταση συμβόλων στην επόμενη γίνεται ομαλά, χωρίς ασυνέχεια φάσης. Η διαμόρφωση FSK αυτού του είδους ονομάζεται FSK συνεχούς φάσης (Continuous Phase FSK, CPFSK).



Εικόνα 3.3.9: Δημιουργία FSK

❖ Καταλαμβάνόμενο εύρος ζώνης στη διαμόρφωση FSK

Ο προσδιορισμός του καταλαμβάνόμενου εύρους ζώνης είναι δύσκολο να υπολογιστεί για FSK λόγω της μη γραμμικότητας κατά την παραγωγή της. Προσεγγιστικά όμως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το συνολικά καταλαμβάνόμενο εύρος διέλευσης ζώνης της FSK ισούται με την επικάλυψη του εύρους ζώνης δύο ακολουθιών ASK αναπτυγμένων εκατέρωθεν των φερουσών συχνοτήτων που αντιστοιχούν στα FSK σύμβολα.



Εικόνα 3.3.10: Εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε διαμόρφωση FSK

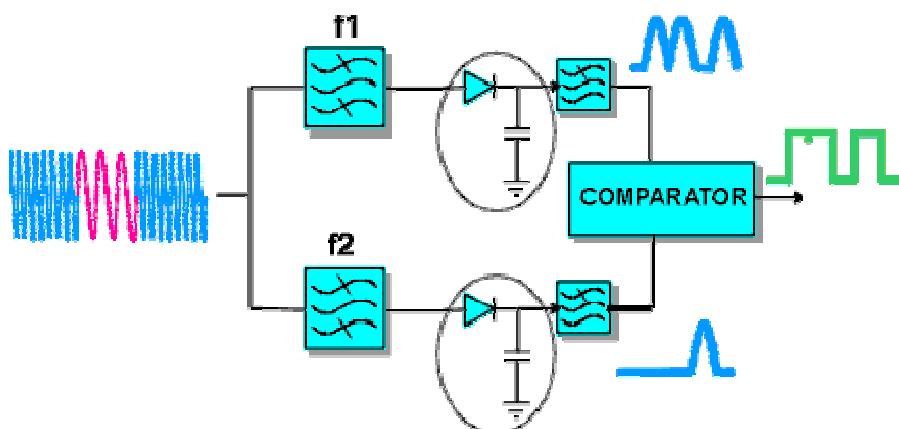
Η ασυνέχεια φάσης στην FSK επηρεάζει σημαντικά το καταλαμβάνόμενο εύρος ζώνης. Έτσι:

- Στην CPFSK, σημαντικά περισσότερη ενέργεια είναι συγκεντρωμένη στον κύριο λοβό, ενώ
- Στην FSK με ασυνέχειες φάσης παρατηρείται σημαντική διασπορά ενέργειας στους πλευρικούς λοβούς.

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε πως δύο ειδικές περιπτώσεις της διαμόρφωσης FSK που χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε πρακτικά υλοποιήσιμα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, προκύπτουν όταν η απόσταση των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται είναι ακριβώς ίση με το ρυθμό ή με το ήμισυ του ρυθμού εκπομπής συμβόλων. Οι ειδικές αυτές περιπτώσεις αντιστοιχούν στην FSK κατά Sunde και την διαμόρφωση Minimum Shift Keying (MSK), αντίστοιχα.

❖ Ασύμφωνη ανίχνευση της διαμόρφωσης FSK

Για να απλουστεύσουμε τον τρόπο ανίχνευσης της δυαδικής FSK, αυτό που κάνουμε είναι να διαβιβάσουμε το συνολικό σήμα σε δύο συντονισμένα κατά συχνότητα σηματοδοσίας φίλτρα διέλευσης ζώνης, καθώς και να ανιχνεύσουμε την έξοδο με τη μεγαλύτερη μέση τιμή κατά τη διάρκεια κάθε συμβόλου.



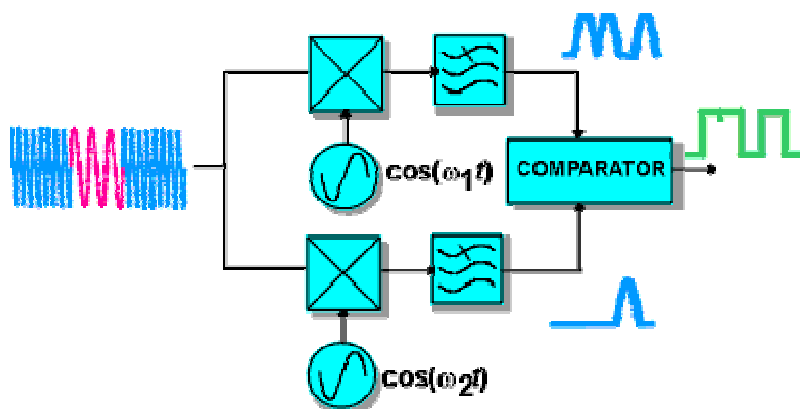
Εικόνα 3.3.11: Ασύγχρονη ανίχνευση της διαμόρφωσης FSK

Αυτός ο τρόπος συνιστά στην ουσία ένα ασύμφωνο ανιχνευτή περιβάλλουσας που εφαρμόζεται σε δύο ακολουθίες ASK, και οι δύο έξοδοι που προκύπτουν συγκρίνονται σε έναν συγκριτή. Η μέθοδος δε λαμβάνει υπόψη τη φάση των αντίστοιχων συμβόλων και έτσι, κατ' αναλογία με τη ASK, δεν αποδίδει τόσο καλά όσο ένα σύστημα ανίχνευσης της διαμόρφωσης FSK.

❖ Σύμφωνη ανίχνευση της διαμόρφωσης FSK

Η σύμφωνη ανίχνευση της διαμόρφωσης FSK έχει πολλές ομοιότητες με αυτή της ASK, αλλά στην περίπτωση αυτή υπάρχουν δύο ανιχνευτές συντονισμένοι στις δύο συχνότητες φορέα. Όπως και στην ASK, η σύμφωνη ανίχνευση και η χρήση προσαρμοσμένων φίλτρων ελαχιστοποιούν την επίδραση του θορύβου στο δέκτη. Η ανάκτηση των φερόντων αναφοράς στο σύμφωνο ανιχνευτή γίνεται εύκολα εάν η απόσταση συχνότητας των συμβόλων καταστεί ίση με το

ρυθμό εκπομπής συμβόλων, καθώς τότε το διαμορφωμένο φάσμα θα περιέχει δύο διακριτές φασματικές γραμμές στις συχνότητες των φορέων.

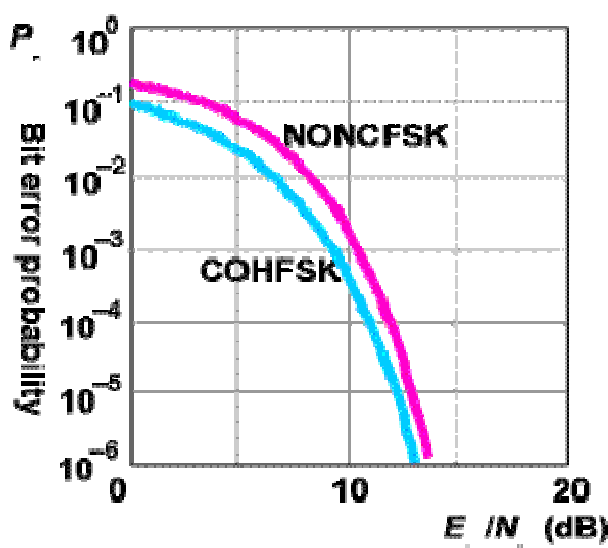


Εικόνα 3.3.12: Σύγχρονη ανίχνευση της διαμόρφωσης FSK

❖ Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων στη διαμόρφωση FSK

Η θεωρητικά προσδιορισμένη απόδοση της σύμφωνης και ασύμφωνης FSK παρουσιάζεται παρακάτω γράφημα. Για ορθογωνική επιλογή των συχνοτήτων που αναπαριστούν τα σύμβολα αποδεικνύεται ότι ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit ισούται με τον αντίστοιχο της σύμφωνης ASK,

δηλαδή $P_e^{COHFSK} = Q(\sqrt{E_b/N_0})$. Στην περίπτωση της ασύμφωνης FSK ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit δίδεται από τη σχέση $P_e^{NONCFsk} = 0.5 \exp(-E_b/2N_0)$.



Εικόνα 3.3.13: Ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit στην διαμόρφωση FSK

❖ Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της διαμόρφωσης FSK

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της FSK είναι:

- Η διαμόρφωση FSK αποτελεί μια διαμόρφωση σταθερής περιβάλλουσας και επομένως είναι αναισθητή στις μεταβολές πλάτους (δηλαδή απολαβής) που συμβαίνουν στο κανάλι και συμβατή με συστήματα μη γραμμικών πομπών και δεκτών.
- Η ανίχνευση της FSK μπορεί να στηριχτεί στις σχετικές μεταβολές συχνότητες μεταξύ των καταστάσεων συμβόλων και επομένως δεν απαιτεί απόλυτη ακρίβεια των τιμών συχνοτήτων που διαδίδονται στο κανάλι. Άρα η FSK είναι σχετικά ανεκτική στην ολίσθηση συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή και τη μετατόπιση Doppler.

Στα μειονεκτήματα της FSK συγκαταλέγονται:

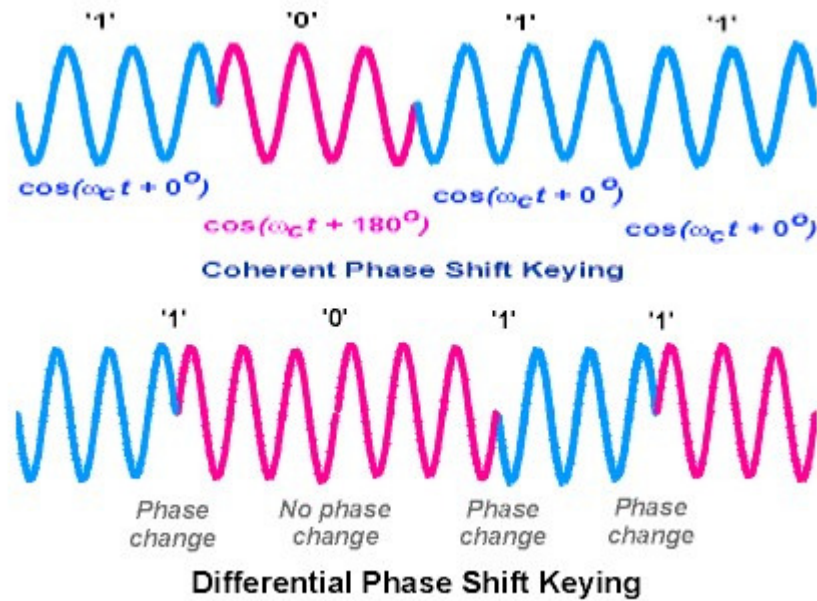
- Η FSK έχει σχετικά μικρότερη απόδοση εύρους ζώνης από τις ASK και PSK.
- Ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit και συμβόλων της FSK είναι χειρότερος από της PSK.

3.3.3 Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης (Phase Shift Keying – PSK)

Η Διαμόρφωση Φάσης ενσωματώνει την πληροφορία στη στιγμιαία φάση του διαμορφωμένου φέροντος. Η στιγμιαία αυτή φάση συνήθως ενσωματώνεται στο φέρον και εκτιμάται ως προς ένα σταθερό φέρον αναφοράς γνωστής φάσης, και γι' αυτό ονομάζεται σύμφωνη PSK (coherent PSK).

Στη δυαδική διαμόρφωση PSK (Binary PSK, BPSK) χρησιμοποιούνται οι καταστάσεις φάσης 0° και 180° .

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μετάδοσης κωδικοποιημένων δεδομένων με μορφή μεταβολών φάσης (διαφορά φάσης) ανάμεσα σε διαδοχικά σύμβολα και την διαδικασία αυτή την ονομάζουμε Διαφορικά Σύμφωνη Ψηφιακή Διαμόρφωση Φάσης (Differentially Coherent PSK).



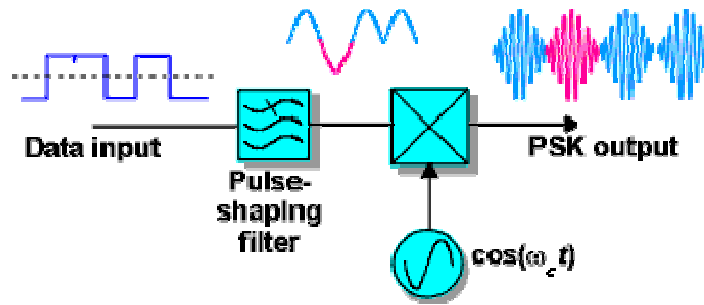
Εικόνα 3.3.14: α) Σύμφωνη ψηφιακή διαμόρφωση φάσης β) Διαφορική ψηφιακή διαμόρφωση φάσης

Το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει η BPSK είναι το ίδιο με αυτό της ASK, με την παραδοχή πάντα πως χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία για την μορφοποίηση των παλμών. Έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε για λόγους εύκολης παρατήρησης και μόνο, ότι η BPSK είναι ένα σήμα ASK με πλάτη $+A$ και $-A$ έναντι των $+A$ και 0 που υπάρχουν στην ASK.

Όπως στην FSK έτσι κι εδώ αν εάν θέλουμε να πετύχουμε μείωση του εύρους ζώνης τότε η μετάβαση από μια συμβολική κατάσταση φάσης στην επόμενη πρέπει να γίνεται χωρίς ασυνέχειες προκειμένου το παραγόμενο φάσμα να είναι συγκεντρωμένο στον κύριο λοβό. Στην αντίθετη περίπτωση θα παρατηρηθεί σημαντική διασπορά ενέργειας στους δευτερεύοντες λοβούς με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του καταλαμβανόμενου εύρους ζώνης.

❖ Δημιουργία της PSK

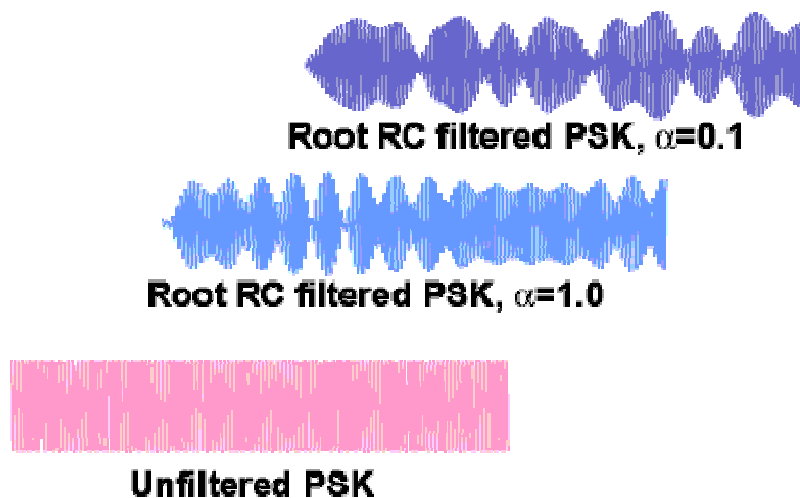
Σύμφωνα με την γενική μέθοδο παραγωγής PSK. Τα δεδομένα μορφοποιούνται κατάλληλα στην βασική ζώνη, πριν την διαδικασία της διαμόρφωσης του υψίσυχνου φορέα. Η διαδικασία διαμόρφωσης είναι γραμμική, κάτι που μας διασφαλίζει την έδραση της μορφής του φίλτρου βασικής ζώνης ακριβώς επάνω στο διαμορφωμένο σήμα διέλευσης ζώνης.



Εικόνα 3.3.15: Τυπική διαδικασία παραγωγής κυματομορφής PSK

Σε ένα αφιλτράριστο σήμα PSK η περιβάλλουσα είναι σταθερή. Η εισαγωγή όμως φιλτραρίσματος με σκοπό τον περιορισμό του εύρους ζώνης του διαμορφωμένου σήματος επιφέρει την εμφάνιση περιβάλλουσας. Ο βαθμός διαμόρφωσης της περιβάλλουσας είναι συνάρτηση του βαθμού μορφοποίησης που έχει δοθεί στους παλμούς.

Στο παρακάτω σχήμα 3.3.16 εικονίζονται διάφορες περιπτώσεις κυματομορφών PSK μετά από φιλτράρισμα με φίλτρο ρίζας υψωμένου συνημιτόνου (RRC). Όπως αναμένεται, όσο μικρότερος είναι ο παράγοντας κλίσης α , τόσο πιο απότομο είναι το φίλτρο και υψηλότερες οι τιμές κορυφής του σήματος PSK.

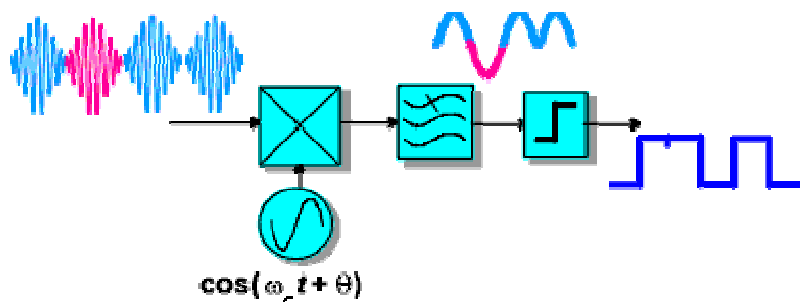


Εικόνα 3.3.16: Επίδραση του φιλτραρίσματος στις κυματομορφές PSK

❖ Ανίχνευση της διαμόρφωσης PSK

Για την διαμόρφωση PSK και την ανίχνευση αυτής απαιτείται η χρήση ενός ανιχνευτή και μάλιστα ιδανικού, καθώς δεν υπάρχει ασύμφωνός τρόπος ανίχνευσης, με σκοπό να προσδιορίσουμε επακριβώς τη φάση του αδιαμόρφωτου φορέα στη πλευρά του δέκτη.

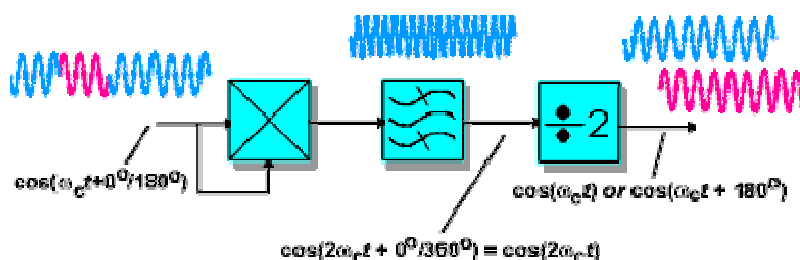
Όπως και στη διαμόρφωση ASK, στην περίπτωση ύπαρξης σφάλματος με φάσης θ στο τοπικά δημιουργούμενο φέρον, τότε έχουμε την μείωση της τάσης του σήματος στην έξοδο του δέκτη κατά έναν παράγοντα $\cos(\theta)$. Κατά συνέπεια μειώνεται ο λόγος E_b/N_0 του ανιχνευτή κατά έναν παράγοντα $\cos^2(\theta)$. Επομένως για να έχουμε την βέλτιστη ανίχνευση πρέπει το σφάλμα φάσης να είναι μηδενικό. Εάν η διαφορά φάσης φθάσει τις 90° , η έξοδος γίνεται μηδέν.



Εικόνα 3.3.17: Ανίχνευση διαμόρφωσης PSK

❖ Ανάκτηση φέροντος για τη σύμφωνη διαμόρφωση PSK

Για να διασφαλίσουμε ότι η φάση του ανακτημένου φέροντος είναι σχεδόν 0° , είναι αναγκαίο είτε να εκπέμπουμε ένα σήμα αναφοράς φάσης φέροντος μαζί με το σήμα των δεδομένων, είτε να δημιουργήσουμε τη στάθμη αναφοράς από το εισερχόμενο σήμα των δεδομένων.



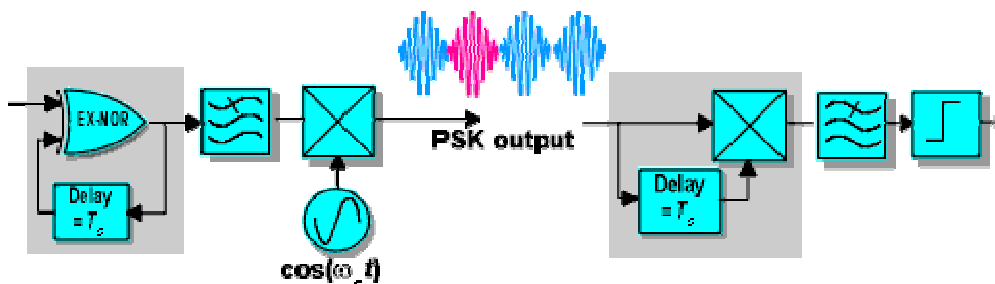
Εικόνα 3.3.18: Ανάκτηση φέροντος για τη σύμφωνη διαμόρφωση PSK

❖ Διαφορική διαμόρφωση PSK

Η διαφορική διαμόρφωση PSK (DPSK) βασίζεται στην λογική της αλλαγής κατάστασης για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση, ωστόσο δεν σταματάει εκεί καθώς την βελτιώνει κάνοντας ενσωμάτωση της λειτουργίας της διαφορικής αποκωδικοποίησης στη λειτουργία της αποδιαμόρφωσης των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχει η ανάγκη μηχανισμού ανάκτησης φέροντος. Αξίζει να αναφέρουμε ότι την λογική της αλλαγής κατάστασης την συναντάμε και στην DEPSK.

Στις μεθόδους DPSK και DEPSK, το κοινό στοιχείο είναι το τμήμα διαφορικής κωδικοποίησης και ο διαμορφωτής PSK. Ωστόσο στη πλευρά του δέκτη

πραγματοποιείται η ταυτόχρονη εκτέλεση της σύμφωνης ανίχνευσης καθώς και της διαφορικής κωδικοποίησης ως μια λειτουργία. Επομένως ο δέκτης κάνει σύγκριση της φάσης του τρέχοντος εισερχόμενου συμβόλου του φορέα με αυτήν του προηγούμενου.



Εικόνα 3.3.19: Διαφορική διαμόρφωση PSK

Γίνεται άμεσα αντιληπτό πως η συγκεκριμένη διαδικασία ανίχνευσης είναι πολύ απλούστερη από αυτή της αυθεντικής σύμφωνης PSK. Όμως στην DPSK, η ανοχή στο θόρυβο είναι ελαφρώς χειρότερη από ότι στην PSK, καθώς πλέον η φάση αναφοράς της DPSK αποτελεί μια θορυβώδη και καθυστερημένη εκδοχή του σήματος εισόδου παρά μία καλά φιλτραρισμένη (απαλλαγμένη από το θόρυβο) στάθμη αναφοράς που προκύπτει από μία διαδικασία ανάκτησης φέροντος.

❖ Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων στη διαμόρφωση PSK

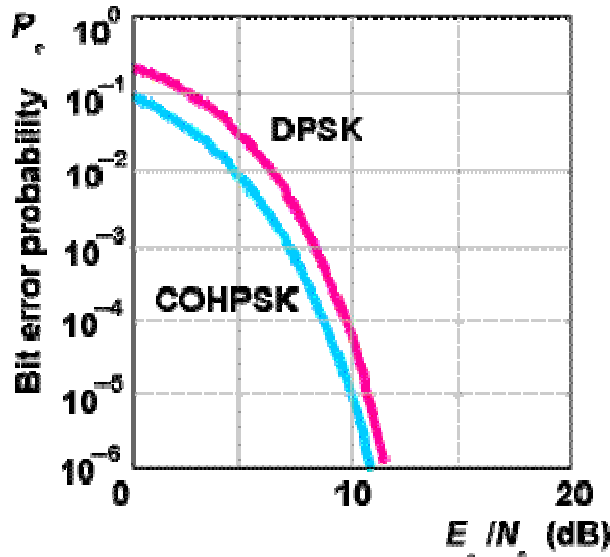
Η πιθανότητα σφάλματος για την περίπτωση της PSK είναι ακριβώς ίση με την πιθανότητα σφάλματος που προσδιορίζεται για την περίπτωση διπολικής σηματοδοσίας βασικής ζώνης, δηλαδή:

$$P_e^{PSK} = Q\left(\sqrt{2E_b/N_0}\right)$$

Στην περίπτωση της DPSK ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit είναι κατά τι χειρότερος από αυτόν της PSK και δίδεται από τη σχέση:

$$P_e^{DPSK} = 0.5 \exp\left(-E_b/N_0\right)$$

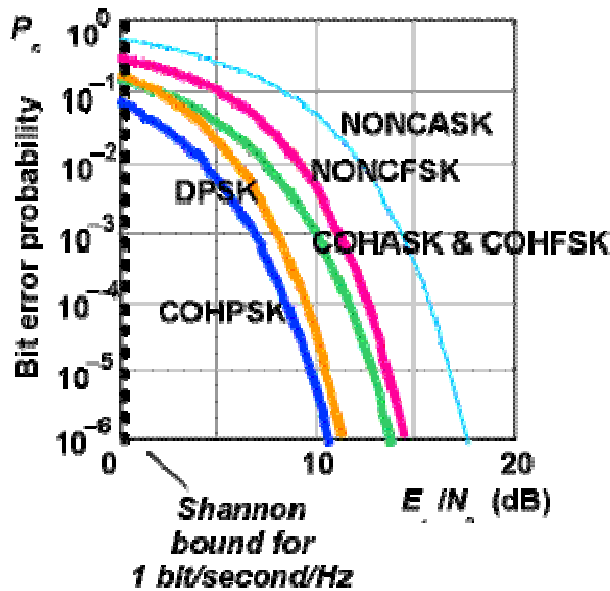
Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων είναι ο ίδιος τόσο στη βασική ζώνη όσο και στη διέλευση ζώνης για την PSK, δυστυχώς η φασματική απόδοση μειώνεται στο ήμισυ κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης. Έτσι, ενώ η φασματική απόδοση είναι 2bits/s/Hz για δυαδική σηματοδοσία στη βασική ζώνη, μειώνεται στο 1/bit/s/Hz τόσο για την PSK, όσο και για τις υπόλοιπες δυαδικές μορφές ψηφιακές διαμόρφωσης ASK και FSK. Η ανάκτηση της φασματικής απόδοσης των 2bits/s/Hz, καθίσταται δυνατή με τη χρήση τεχνικών ψηφιακής διαμόρφωσης τεσσάρων επιπέδων.



Εικόνα 3.3.20: Θεωρητικός προσδιορισμός της απόδοσης της PSK και της DPSK για ρυθμό εμφάνισης εσφαλμένων bit στην περίπτωση λευκού προσθετικού θορύβου που ακολουθεί την κανονική κατανομή στην διαμόρφωση PSK

❖ Σύγκριση δυαδικών μεθόδων ψηφιακής διαμόρφωσης

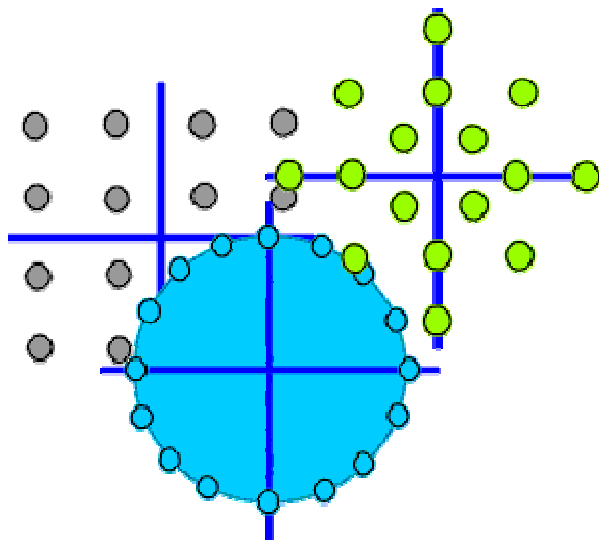
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων των κυριότερων μεθόδων δυαδικής ψηφιακής διαμόρφωσης. Όπως είναι αναμενόμενο η PSK παρουσιάζει την καλύτερη επίδοση, ακολουθούμενη από τη σύμφωνη ορθογωνική FSK και τη σύμφωνη ASK.



Εικόνα 3.3.21: Σύγκριση του ρυθμού εμφάνισης σφαλμάτων για τις περισσότερες δυαδικές διαμορφώσεις αναφορικά στην ίδια ενέργεια ανά σύμβολο.

Ένα μεγάλο πρόβλημα που συναντάμε είναι η φασματική απόδοση της εκπομπής διέλευσης ζώνης η οποία θέλουμε κάθε φορά να είναι η βέλτιστη. Μια λύση που μπορούμε να εφαρμόσουμε είναι το να αυξήσουμε τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων καταστάσεων συμβόλων, πλην της περίπτωσης της FSK όπου η αύξηση του αριθμού των συχνοτήτων θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του καταλαμβανόμενου εύρους ζώνης. Κατά γενικό κανόνα όμως η αύξηση του αριθμού των καταστάσεων συμβόλων προκαλεί μείωση της ανοχής στο θόρυβο.

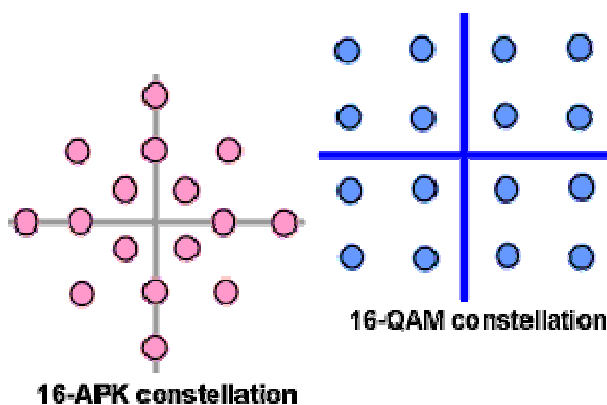
Επομένως οι μέθοδοι Μ-αδικής (M-ary) διαμόρφωσης διέλευσης ζώνης, και ειδικότερα η Μ-αδική διαμόρφωση πλάτους με ορθογωνισμό φάσης (QAM), χρησιμοποιούνται ευρέως στις ενσύρματες, αλλά και τις ασύρματες ψηφιακές επικοινωνίες.



Εικόνα 3.3.22: Μ-αδική διαμόρφωση

3.3.4 Συνδυασμένη ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους και φάσης (Quadrature Amplitude Modulation – QAM)

Αυτό το είδος σύνθετης διαμόρφωσης που άλλοτε αποκαλείται Μ-αδική σηματοδοσία APK (Amplitude and Phase Keying) και άλλοτε Μ-αδική σηματοδοσία QAM (Quadrature Amplitude Modulation), προκύπτει από τον συνδυασμό του πλάτους και της φάσης συμβόλων και η ονομασία είναι ανάλογη των περιορισμών που τίθενται στη σχέση πλάτους και φάσης των συμβόλων.

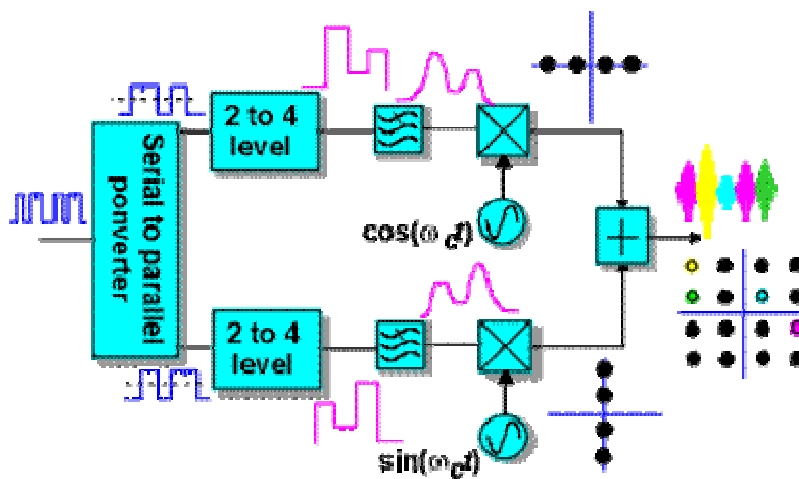


Εικόνα 3.3.23: Διάγραμμα αστερισμού διαμορφώσεων 16-APK και 16-QAM

❖ Δημιουργία της διαμόρφωσης QAM

Η QAM στην απλή της μορφή δεν είναι τίποτα παραπάνω από το σύνολο των συμβόλων της διαμόρφωσης QPSK, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως δύο ορθογώνιοι φορείς διαμορφωμένοι κατά πλάτος με διαφορά φάσης 90° , με τις στάθμες πλάτους να είναι $+A$ και $-A$.

Αυξάνοντας τον αριθμό των σταθμών πλάτους κάθε φορέα σε τέσσερις, για παράδειγμα $\pm A$ και $\pm 3A$, προκύπτουν 16 δυνατοί συνδυασμοί συμβόλων στην έξοδο του πομπού, οι οποίοι απέχουν εξίσου στο διάγραμμα αστερισμού και αντιπροσωπεύονται από συγκεκριμένο πλάτος και φάση ο καθένας.



Εικόνα 3.3.24: Δημιουργία της διαμόρφωσης 16-QAM

Μια επιπλέον βασική δυνατότητα που μας δίνεται είναι να μορφοποιήσουμε τους παλμούς συμβόλων εισόδου (βασικής ζώνης) με τη μέθοδο του φιλτραρίσματος, ακριβώς όπως έχουμε δει και στην ASK. Ο διαμορφωτής κάνει χρήση της ορθογωνικότητας μεταξύ ημιτονικού και συνημιτονικού φέροντος έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα την ανεξάρτητη ανίχνευση δύο Μ-αδικών ακολουθιών δεδομένων ASK που εισέρχονται στο δέκτη.

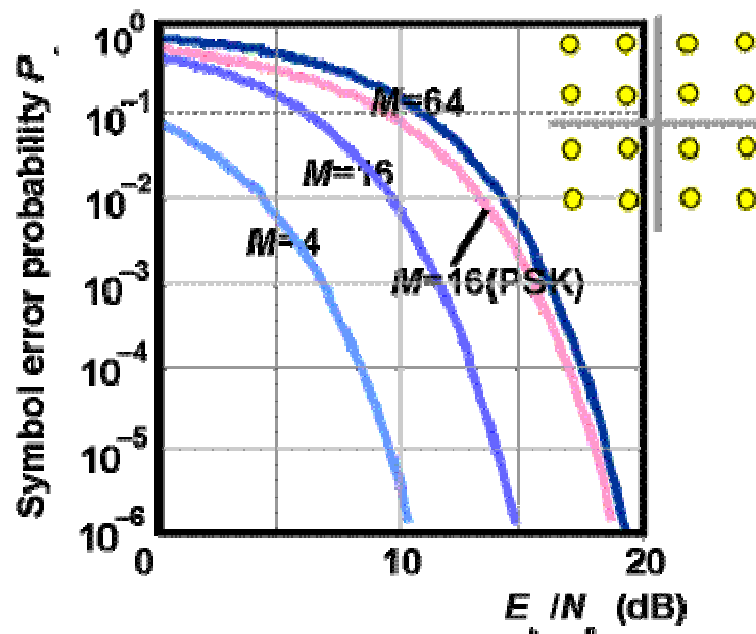
❖ Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων στη διαμόρφωση QAM

Η μαθηματική έκφραση που μας δίνει τον ρυθμό εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων στη διαμόρφωση QAM είναι η εξής:

$$P_s^{QAM} = 1 - (1 - P_m)^2$$

όπου:

$$P_m = \left(2 - \frac{2}{\sqrt{M}} \right) \cdot Q \left(\sqrt{\frac{3k \cdot E_b/N_0}{(M-1)}} \right)$$



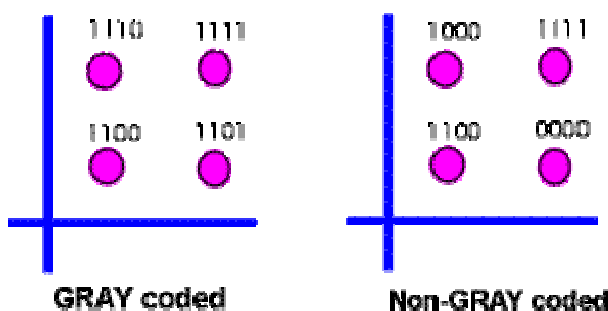
Εικόνα 3.3.25: Ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων για διάφορες τάξης M-αδικής QAM

Τέλος, ο ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit στη διαμόρφωση QAM, δίδεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$P_b^{QAM} \approx P_s^{QAM} / \log_2 M$$

Κωδικοποίηση Gray

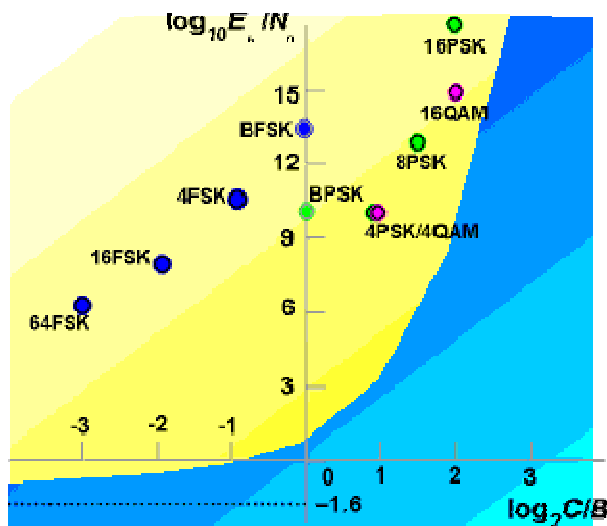
Η ιδέα της κωδικοποίησης Gray, δηλαδή η μέθοδος αντιστοίχισης των bit σύμφωνα με την οποία οι μορφές των διαδοχικών συμβόλων (δηλαδή αυτά που είναι πιθανότερο να ανιχνευθούν εσφαλμένα το ένα αντί του άλλου) διαφέρουν μόνο κατά ένα bit, μπορεί να εφαρμοστεί και στα πλαίσια της Μ-αδικής σηματοδοσίας ζώνης διέλευσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.3.26: Κωδικοποίηση συμβόλων της 16-QAM κατά Gray

Το όριο Shannon

Το όριο Shannon ορίζει κατά τον βέλτιστο τρόπο την απαιτούμενη σηματοθωρυβική σχέση για την επίτευξη της χωρητικότητας, δοσμένης ως μέγιστης φασματικής αποδοτικότητας (η_{max}). Ποιο είναι, δηλαδή, το ελάχιστο σηματοθωρυβικό όριο για την αλάνθαστη (error free) αποστολή η_{max} bits/s/Hz.



Εικόνα 3.3.27: Σημεία λειτουργίας διαφόρων μεθόδων διαμόρφωσης δυαδικής και Μ-αδικής σηματοδοσίας στο επίπεδο Shannon

Μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί, ότι κανένα από τα συστήματα Μ-αδικής διαμόρφωσης δεν μπορεί να πλησιάσει αρκετά κοντά στο προβλεπόμενο όριο Shannon, και ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη των 4dB. Για να πλησιάσουμε κοντύτερα στο όριο Shannon, πρέπει

να εισάγουμε επιπλέον κωδικοποίηση στα δεδομένα, η οποία θα μας επιτρέψει αρχικά να ανιχνεύσουμε και στη συνέχεια να διορθώσουμε τα σφάλματα.

Στα σύγχρονα συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούνται ευρύτατα τεχνικές κωδικοποίησης:

- καναλιού FEC (Forward Error Correction) υιοθετώντας κατά περίπτωση κωδικοποίηση block (π.χ. Reed-Solomon σε εφαρμογές κινητών επικοινωνιών) ή
- συνελικτική κωδικοποίηση (π.χ. Viterbi στην ψηφιακή τηλεόραση).

Τέλος, η χρήση τεχνικών συνδυασμένης κωδικοποίησης και διαμόρφωσης (π.χ. Trellis Coded Modulation – TCM) επιτρέπουν την επίτευξη κερδών κωδικοποίησης που πολλές φορές ξεπερνούν ακόμα και τα 6dB, προσεγγίζοντας πλέον το όριο Shannon.

Κεφάλαιο 4

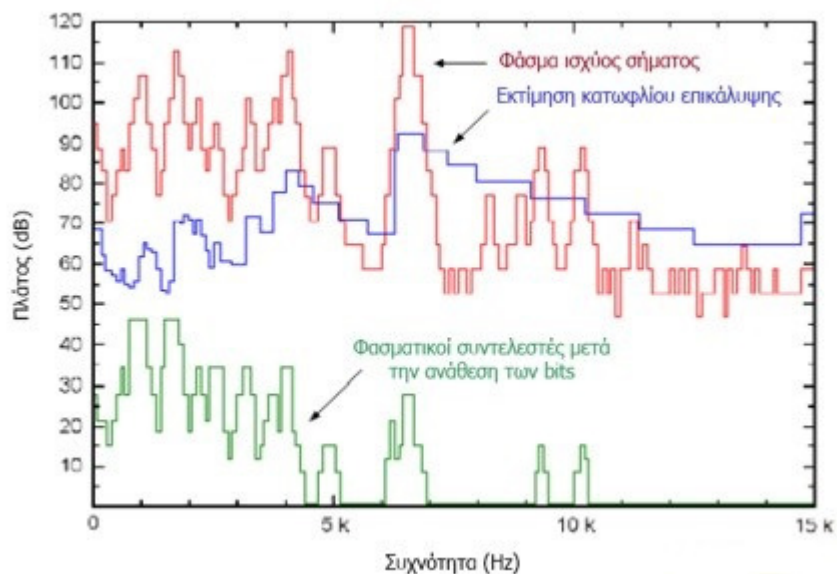
4.1 Πρότυπα ψηφιακού ήχου

Τα τελευταία χρόνια με την ολοένα και αυξανόμενη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας αντικαθιστούμε την αναλογική που παραδοσιακά χρησιμοποιείται, εδώ και δεκαετίες στις τηλεπικοινωνίες αλλά και σε άλλους τομείς ενώ παράλληλα έχει αρχίσει να γίνεται έρευνα προς την κατεύθυνση της συμπίεσης της ψηφιακής πληροφορίας με στόχο τη οικονομία εύρους φάσματος. Κατά την διαδικασία της ψηφιοποίησης ηχητικών δεδομένων παρατηρείται ότι παράγονται αρχεία μεγάλων μεγεθών με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολο να μεταφερθούν ή να υποστούν επεξεργασία αφού προϋποθέτουν πολύ χρόνο, μεγάλους αποθηκευτικούς χώρους και πολύ μνήμη.

Με βάση την έρευνα προς την κατεύθυνση της συμπίεσης της ψηφιακής πληροφορίας έχουν προκύψει τεχνολογίες συμπίεσης του ηχητικού σήματος οι οποίες επιλύουν το τεχνικό πρόβλημα του χώρου και της ανεπάρκειας στην ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων. Οι τεχνολογίες αυτές, χρησιμοποιώντας τεχνικές μείωσης όγκου και ροής δεδομένων για την κωδικοποίηση των ηχητικών σημάτων διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

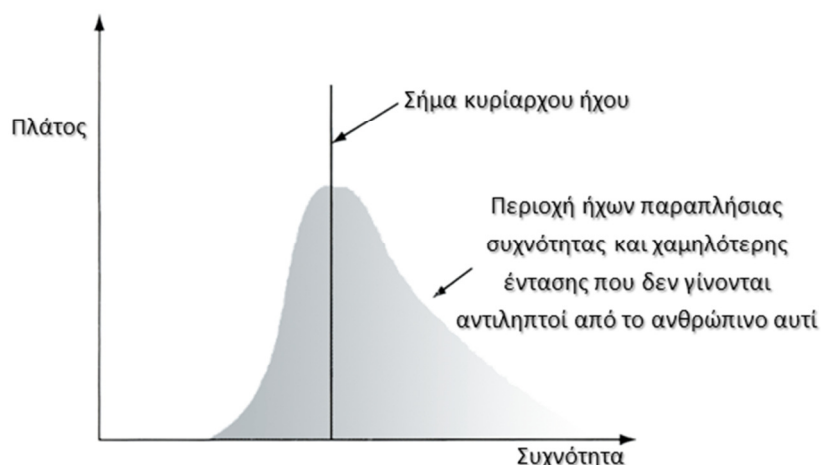
- **τις μη απωλεστικές (lossless)**: Οι μη απωλεστικές τεχνολογίες (τεχνικές) χαρακτηρίζονται απ' το ότι κατά την διαδικασία συμπίεσης δεν αλλοιώνουν καθόλου την πληροφορία. Επομένως μετά το πέρας της αποσυμπίεσης των δεδομένων η πληροφορία επανέρχεται ακριβώς στην αρχική της μορφή. Συνήθως, οι μη απωλεστικοί αλγόριθμοι συμπίεσης, εφαρμόζονται όταν δεν μπορεί να υπάρξει περιθώριο απωλειών. Με τις μη απωλεστικές επιτυγχάνεται συμπίεση που σπανίως ξεπερνά το 4:1.
- **και τις απωλεστικές (lossy)**: Αντίθετα, οι απωλεστικές τεχνολογίες αλλοιώνουν τα δεδομένα, απορρίπτοντας τα μέρη εκείνα που δεν είναι χρήσιμα με βάση κάποιο συγκεκριμένο κριτήριο (irrelevancy). Είναι φανερό, ότι σε τέτοιες περιπτώσεις το σημασιολογικό περιεχόμενο ουσιαστικά δεν μεταβάλλεται αλλά υπεισέρχεται η έννοια της μείωσης της ποιότητας καθώς οι απωλεστικές τεχνικές είναι περισσότερο αποτελεσματικές επιτυγχάνοντας συμπίεση που φθάνει το 24:1 με καλή ποιότητα.

Εντούτοις, στις σύγχρονες μεθόδους συμπίεσης εφαρμόζονται διάφορα ψυχοακουστικά μοντέλα αντίληψης βάση των οποίων απορρίπτονται οι ήχοι που έτσι και αλλιώς δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί.



Εικόνα 4.1.1: Ψυχοακουστικό Μοντέλο Ακοής

Οι πιο σημαντικοί μέθοδοι συμπίεσης ψηφιακών ηχητικών αρχείων στηρίζονται στο φαινόμενο της ηχητικής σκίασης (auditory masking), που αποσκοπεί στην ακουστικότητα των ήχων. Πιο συγκεκριμένα, όταν υπάρχει ένας ήχος συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης οι υπόλοιποι ήχοι σε κοντινές συχνότητες δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί. Επομένως κατά την διάρκεια της συμπίεσης των ψηφιακών ηχητικών δεδομένων απορρίπτονται οι συχνότητες εκείνες που το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να ξεχωρίσει μέσα σε ένα καθορισμένο διάστημα συχνοτήτων, ουσιαστικά λειτουργώντας ως φίλτρο για την μείωση του όγκου, ωστόσο αν και χάνονται ορισμένες ηχητικές πληροφορίες εντούτοις η ποιότητα του ήχου παραμένει σε υψηλά επίπεδα.



Το φαινόμενο της ηχητικής σκίασης, είναι άμεσα συνδεδεμένο τόσο με το πρότυπο AC-3 Dolby Digital (H.Π.Α) όσο και με το Mpeg των οποίων οι διαφορές τους στηρίζονται στο τρόπο υλοποίησής τους. Εντούτοις και τα δύο πρότυπα συμπίεσης, δουλεύουν χωρίζοντας το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων σε υπομπάντες με την βοήθεια περίπλοκων αλγόριθμων και

ψυχοακουστικών μέσων προκειμένου να απορρίψουν τις μη αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί συχνότητες. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των προτύπων AC-3 και Mpeg, φαίνεται να ευνοεί το μοντέλο AC-3 το οποίο όπως φαίνεται πρόκειται να αναδειχθεί ως διεθνές πρότυπο για την συμπίεση ψηφιακών ηχητικών δεδομένων.

Όπως προκύπτει, η υλοποίηση των διαδικασιών συμπίεσης και αποσυμπίεσης πραγματοποιείται με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, όπου ο ρυθμός μετάδοσης των ψηφιακών δεδομένων είναι καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα του ήχου καθώς εξαρτάται τόσο από την συχνότητα δειγματοληψίας όσο και το μέγεθος του δείγματος. Για παράδειγμα, ο ήχος του μουσικού CD χρησιμοποιεί συχνότητες δειγματοληψίας 44.1 kHz με μέγεθος δείγματος 16bits παράγοντας ένα ρυθμό δεδομένων 1.4 Mbit/sec, ενώ στην περίπτωση μείωσης των συχνοτήτων δειγματοληψίας χάνονται οι υψηλές συχνότητες του ήχου. Έτσι λοιπόν, στους σύγχρονους αλγόριθμους συμπίεσης χρησιμοποιούνται ψυχοακουστικά μοντέλα, στηριζόμενα στη μεταβολή των bit με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης συμπίεσης διατηρώντας παράλληλα την υψηλή ποιότητα του αναπαραγόμενου ήχου.

4.1.1 Πρότυπο MPEG

Στην Ευρώπη του 1987 ξεκίνησε το πρόγραμμα Eureka με σκοπό την μετάδοση ψηφιακού ήχου (Digital Audio Broadcasting), στο πρόγραμμα Eureka, συμμετείχαν ερευνητές από το Ινστιτούτο Fraunhofer, με επικεφαλής τους Karlheinz Brandenburg, αλλά και τα μέλη της ομάδας Moving Picture Expert Group (MPEG). Η ομάδα MPEG, αποτελεί μια συνεργασία Πανεπιστημίων, ερευνητών και ερευνητικών Ινστιτούτων και εταιριών που λειτουργεί στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO/IEC) με στόχο την ανάπτυξη διεθνών προτύπων για την συμπίεση και αποσυμπίεση, την επεξεργασία και την κωδικοποιημένη αντιπροσώπευση της κίνησης των εικόνων, του ήχου και τους συνδυασμούς αυτών.

Στην οικογένεια Mpeg, εντάσσονται τα standards:

- **Mpeg-1**: το οποίο αφορά την συμπίεση ήχου και εικόνας
- **Mpeg-2**: το οποίο δημιουργήθηκε για εφαρμογή στην ψηφιακή τηλεόραση
- **Mpeg-4**: δημιουργήθηκε ως standard για εφαρμογές επικοινωνίας πολυμέσων.

Επίσης, στα σχέδια για το μέλλον είναι και το Mpeg-7 του οποίου στόχος είναι η αναπαράσταση περιεχομένου αναζήτησης πληροφοριών σε εφαρμογές (content representation). Επιπλέον καλό θα ήταν να αναφέρουμε ότι τα δύο τελευταία στάδια του Mpeg βρίσκονται υπό ανάπτυξη ενώ το Mpeg 1 και 2 χρησιμοποιούνται ευρέως. Ενδιάμεσα, για αρκετό χρονικό διάστημα σε εξέλιξη

υπήρξε και το Mpeg 3 αλλά εγκαταλείφθηκε γρήγορα και ένα μέρος του ενσωματώθηκε στο Mpeg 2.

Στην δική μας περίπτωση που είναι ο ψηφιακός ήχος, το πρότυπο της οικογένειας MPEG που δημιουργήθηκε για αυτόν είναι το Mpeg-1 Audio, έτσι ως το πρώτο διεθνές πρότυπο για την ψηφιακή συμπίεση ήχου υψηλής πιστότητας, το οποίο αξίζει να αναφέρουμε πως δεν αποτελεί αλγόριθμο συμπίεσης αλλά μια ομάδα τριών διαφορετικών τεχνικών κωδικοποίησης και συμπίεσης. Οι τρεις αυτές τεχνικές στηρίζονται στην ίδια αρχή. Η συμπίεση ολοκληρώνεται με τον συνδυασμό ενός είδους κωδικοποίησης, μετασχηματισμού και sub-band division ενώ οι διαφορές του αναπτύσσονται στο τελικό στάδιο της κβαντοποίησης. Παράλληλα, το πρότυπο Mpeg-1 Audio μπορεί να δώσει ένα ή δύο ηχητικά κανάλια με κωδικοποίηση δειγμάτων στα 16bits, ενώ η συχνότητα δειγματοληψίας του ήχου μπορεί να είναι 32kHz, 44kHz ή 48 kHz.

Όπως προαναφέρθηκε, το πρότυπο Mpeg-1 Audio στηριζόμενο στην κωδικοποίηση ψηφιακού ήχου διακρίνεται σε Mpeg-1 Audio Layer I ,II και III (ή MP3). Συγκεκριμένα:

- **Mpeg-1 Audio Layer I:** Η χρήση του συγκεκριμένου προτύπου πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά από την Philips με σκοπό την συμπίεση της ψηφιακής της κασέτας DCC, προσφέροντας συμπίεση 4:1. Λόγω της παραπάνω συμπίεσης, η ηχητική ποιότητα ήταν μέτρια ενώ το bandwidth που απαιτείτο να είναι αυξημένο κατά 192 ή 256 kbps ανά κανάλι.
- **Mpeg-1 Audio Layer II (ή Mp2):** Δημιουργήθηκε για την χρήση του στο ψηφιακό ραδιόφωνο όπου ο αλγόριθμος αυτή της κατηγορίας βελτιστοποιήθηκε για την υποστήριξη εύρους ζώνης 96 ή 128 kbps ανά μονοφωνικό κανάλι, επομένως η ποιότητα να είναι εφάμιλλη του CD (με συμπίεση 6:1 & 8:1 και με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 256 & 142 kbps για στερεοφωνικό ήχο αντίστοιχα).
- **Mpeg-1 Audio Layer III (ή Mp3):** Παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από τα δύο προαναφερθέντα πρότυπα με συμπίεση περίπου 12:1 η οποία πλησιάζει σε ποιότητα αυτή των CD και αποδίδει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 64 kbps.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε το λόγο συμπίεσης εν συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων που υποστηρίζει το κάθε στρώμα του προτύπου Mpeg-1 Audio.

Στρώμα	Λόγος Συμπίεσης
Mpeg-1 Audio I	4:1 με 384 kbps για στερεοφωνικό ήχο
Mpeg-1 Audio II	6:1 με 256-192 kbps για στερεοφωνικό ήχο
Mpeg-1 Audio III	12:1 με 128-112 kbps για στερεοφωνικό ήχο

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη το πρότυπο Mpeg 1 έχει την δυνατότητα να κωδικοποιήσει μόνο δυο κανάλια ήχου, ενώ για μέσα μετάδοσης που δεν διαθέτουν μεγάλο εύρος ζώνης χρησιμοποιούνται κυρίως τεχνολογίες Mpeg 2.

Το Mpeg 2 Audio, επεκτείνει την κωδικοποίηση μονοφωνικού και στερεοφωνικού ήχου του προτύπου Mpeg 1 και χωρίζεται σε τρία επίπεδα ανάλογα με το bit rate που πρόκειται να υπάρξει. Όσο προχωράμε στα επίπεδα τόσο πιο περίπλοκος γίνεται ο κωδικοποιητής.

Μέχρι στιγμής όσοι ασχολούνταν με την μετάδοση ψηφιακού ήχου αλλά και με την κατασκευή εξοπλισμού για μετάδοση και λήψη χρησιμοποιούσαν το επίπεδο II μιας και το επίπεδο III δεν είχε ακόμη οριστικοποιηθεί. Όμως με τους ολοένα και αυξανόμενους ρυθμούς ανόδου του επιπέδου III, φαίνεται να κερδίζει θέση με πρωταρχικό χώρο το διαδίκτυο. Μιας και για μεγαλύτερη ποιότητα ήχου το Mpeg Layer III απαιτεί μικρότερο bit rate. Συμπερασματικά, το πρότυπο προσφέρει δειγματοληψία ελαττωμένη κατά το ήμισυ (16 kHz, 22kHz και 24kHz), παρέχοντας βελτιωμένη ποιότητα για ρυθμούς μετάδοσης σε 64 Kbit/sec.

4.1.2 Πρότυπο MP3

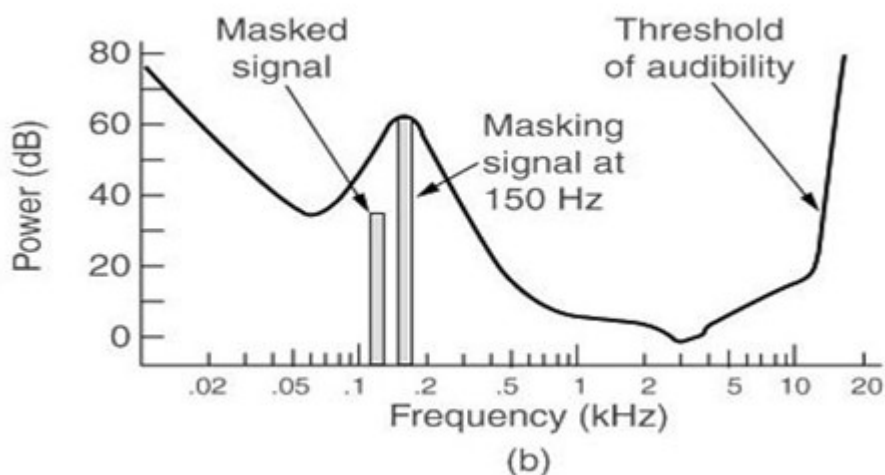
Το MP3 έγραψε Ιστορία και έμεινε σε αυτήν, ως μια από τις πιο σημαντικές καινοτομίες στον χώρο της ψηφιακής μουσικής, καθώς ήρθε αντιμέτωπο με τα δεδομένα της εποχής τα οποία εν τέλει άλλαξαν ριζικά. Η ψηφιακή μουσική είναι πλέον άμεσα συνδεδεμένη με το MP3, αυτό διαπιστώνετε εύκολα από το γεγονός ότι όλες οι συσκευές αναπαραγωγής ψηφιακού ήχου που κυκλοφορούν στην αγορά υποστηρίζουν το πρότυπο αυτό.

Το Mpeg Layer III ή MP3 όπως είναι παγκοσμίως γνωστό, αναπτύχθηκε από τους ερευνητές του Ινστιτούτου Fraunhofer IIS με επικεφαλής, τους Karlheinz Branderburg και Dieter με σκοπό να γίνει το πιο διαδεδομένο πρότυπο συμπίεσης ψηφιακού ήχου καθώς προσφέρει μεγαλύτερη συμπίεση, η οποία αγγίζει το ποσοστό του 85%, και καλύτερη ποιότητα ήχου χωρίς την ύπαρξη αισθητής διαφοράς στην ποιότητα. Αν η συμπίεση γίνει με ρυθμό μετάδοσης άνω των 128 Kbit/sec η διάφορά από το πρωτότυπο CD δεν θα είναι αντιληπτή. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε για αρχεία ήχου διάρκειας 4 έως 6 λεπτών όγκο δεδομένων της τάξης των 3 έως 7 MB που σε κάθε άλλη περίπτωση για την ίδια διάρκεια θα είχαμε αρχεία μεγέθους των 40 μέχρι και 70 MB.

Το MP3, χρησιμοποιεί ως βασικό μοντέλο ακοής αυτό που βασίζεται στις **καμπύλες κατωφλιού ακουστικότητας** (Minimal Audition Threshold), δηλαδή την ελάχιστη ένταση που πρέπει να έχει ένας ήχος προκειμένου να γίνει αισθητός στο ανθρώπινο αυτί. Όσο μικρότερη είναι η ένταση, τόσο μικρότερη η ευαισθησία της ακοής και τόσο μεγαλύτερη στάθμη απαιτείται για να γίνει

ακουστή μία συγκεκριμένη συχνότητα. Για κάθε συχνότητα του ακουστικού φάσματος το κατώφλι ακουστικότητας είναι διαφορετικό.

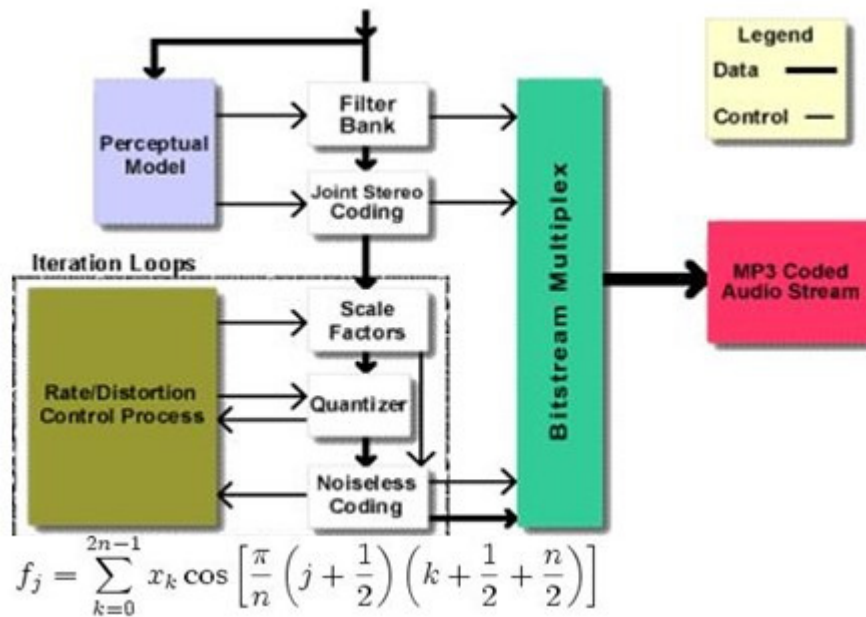
Πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον βέβαια παρουσιάζει το **φαινόμενο την επικάλυψης** (masking), όπου με δεδομένους δυο γειτονικούς ήχους ο ισχυρότερος αλλοιώνει τοπικά την καμπύλη ακουστικότητας, με αποτέλεσμα την επικάλυψη του ασθενέστερου ο οποίος δεν γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί. Έτσι το μοντέλο που χρησιμοποιείται στον codec MP3 υλοποιεί ακριβώς αυτό, δηλαδή υπολογίζει σε κάθε στιγμή το φασματικό περιεχόμενο του σήματος αποφασίζοντας ποιοι ήχοι επικαλύπτονται από ισχυρότερους και έτσι δεν τους κωδικοποιεί. Σε κάθε χρονική στιγμή, ο codec MP3 έχει στη διάθεση του ένα αριθμό ψηφίων ο οποίος εξαρτάται από το βαθμό συμπίεσης που του έχει ζητηθεί, ενώ όσο εξελίσσεται η συμπίεση δεν χρησιμοποιούνται όλα τα ψηφία.



Εικόνα 4.2.1: Φαινόμενο επικάλυψης. Ένας δυνατός ήχος, μεταβάλλεται τοπικά στην καμπύλη του κατωφλίου ακουστικότητας επικαλύπτοντας ένα γειτονικό αδύναμο ήχο

Για την καλύτερη συμπίεση των δεδομένων το MP3 κατά την κωδικοποίηση των κβαντισμένων δειγμάτων χρησιμοποιεί την εντροπική κωδικοποίηση (entropy encoding ή Huffman Coding), με την οποία κωδικοποιεί τα ψηφία που προκύπτουν από τα προηγούμενα στάδια. Το ψυχοακουστικό μοντέλο για την συμπίεση ψηφιακού ήχου στην περίπτωση του MP3 τρέχει από το πεδίο του χρόνου σε αυτό της συχνότητας. Έτσι για την υλοποίηση του περάσματος αυτού, χρησιμοποιείται μια πολύπλοκη μαθηματική διαδικασία κατά την οποία το υπό κωδικοποίηση μέρος του σήματος επεξεργάζεται από μια τράπεζα φίλτρων (filter bank) η οποία και χωρίζει το φάσμα σε 32 περιοχές και στην συνέχεια ακολουθεί ο μετασχηματισμός MDCT (Modified Discrete Cosine Transform), με στόχο την καλύτερη φασματική διακριτότητα. Η διαδικασία αυτή, στηρίζεται στην αρχή του μετασχηματισμού Fourier όπου και αναλύει

ένα σήμα εξελισσόμενο στο χρόνο σε μια σειρά συνιστωσών στο πεδίο της συχνότητας.



Εικόνα 4.2.2: Διάγραμμα βαθμίδων κωδικοποιητή MP3 και η μαθηματική περιγραφή του MDCT

4.1.3 Άλλα πρότυπα

Παρά το γεγονός της, η ριζική και ραγδαία εξέλιξη του MP3 το οποίο έχει γνωρίσει ευρεία αποδοχή μεταξύ χρηστών, εντούτοις, επικρατεί πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών που ολοένα και εξελίσσονται με πρωταρχικό στόχο την καλύτερη συμπίεση ψηφιακού ήχου. Τέτοιες προσπάθειες, έχουν υλοποιηθεί από την εταιρία Microsoft με το δικό της γνωστό και διαδεδομένο πρότυπο Windows Media Audio (WMA), το AAC (Advanced Audio Coding), το MP3 Pro, το OGG και το AC-3 Dolby Digital.

❖ WMA (Windows Media Audio)

Το πρότυπο Windows Media Audio (WMA) της εταιρία Microsoft, προσφέρει όμοιες δυνατότητες με το MP3, με άριστη ποιότητα τόσο αναπαραγωγής όσο και μεγαλύτερη συμπίεση (64 kbps). Πιο συγκεκριμένα, το WMA αποτελεί ένα σύστημα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης ήχου, επιτρέποντας την συμπίεση ψηφιακών δεδομένων ήχου στο 1/20 του αρχικού τους όγκου και την εγγραφή τους σε ένα μόνο δίσκο CD με επακόλουθο τα αρχεία ήχου που είναι προστατευμένα να μην μπορούν να μεταδοθούν ελεύθερα.

❖ MP3 Pro

Τον Ιανουάριο του 2001 στη CES, η Coding Technologies παρουσίασε την τεχνολογία Mp3 Pro, η οποία αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του Mp3 με σκοπό να προσφέρει όμοια ποιότητα στο μισό μέγεθος των αρχείων, γεγονός που υλοποιείται με μεγαλύτερη συμπίεση των δεδομένων. Συγκεκριμένα, η συμπίεση στα 64kbps και 96kbps, προσφέρει τη ίδια απόδοση ήχου με τα 128kbps και 192kbps του Mp3.

❖ MP3 Surround

Το 2004 το Ινστιτούτο Fraunhofer IIS παρουσίασε μία πολυκαναλική έκδοση του MP3, το MP3 Surround το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία **Binaural Cue Coding της Agere**. Η τεχνολογία αυτή, επιτρέπει την μείξη σημάτων από πολλά κανάλια σε δύο, με στόχο την δημιουργία ενός σήματος συμβατού με το απλό MP3, ενώ κωδικοποιεί μία σειρά από παραμέτρους που περιγράφουν πλήρως το ηχητικό πεδίο surround. Τέτοιες παράμετροι είναι, οι χρονικές διαφορές μεταξύ των καναλιών, οι διαφορές στάθμης μεταξύ των καναλιών και η συσχέτιση μεταξύ των καναλιών.

❖ AAC (Advance Audio Coding)

Το πρότυπο ACC αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1997 από το Ινστιτούτο Fraunhofer IIS και χρησιμοποιεί όπως και το MP3 το ψυχοακουστικό μοντέλο επικάλυψης, με σκοπό να καλύψει τα προβλήματα που υπήρχαν σχετικά με την ποιότητα των αρχείων MP3 στους μικρούς αριθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Το πρότυπο ACC έχει την ικανότητα να αποδίδει εξαιρετικά υψηλή ποιότητα ήχου με bit rate 64Kb/sec, επιτρέποντας τόσο την κωδικοποίηση 48 καναλιών ήχου και 16 καναλιών χαμηλής συχνότητας για εφέ όσο και την υποστήριξη πολλών γλωσσών ταυτόχρονα. Παράλληλα, το ACC διακατέχεται από τρεις διαφορετικές όψεις, την «κύρια», την «χαμηλής πολυπλοκότητα» και την «κλιμακούμενη συχνότητα δειγματοληψίας». Η «κύρια» όψη αναφέρεται σε εφαρμογές που η υπολογιστική ισχύς και οι εφαρμογές δεν είναι περιορισμένες, η «χαμηλή πολυπλοκότητα» σε εφαρμογές που η ισχύς και η μνήμη βρίσκονται σε μεγάλη ζήτηση, ενώ η τελευταία, είναι φτιαγμένη έτσι ώστε οι αποκωδικοποιητές να έχουν ελάχιστες απαιτήσεις σε μνήμη και ισχύ. Διάφορα τεστ έδειξαν ότι η συγκεκριμένη κωδικοποίηση προσφέρει καλύτερη ποιότητα ήχου από οποιαδήποτε άλλη κωδικοποίηση ήχου με το μισό μόνο bit rate. Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να αναφέρουμε ότι το πρότυπο ACC παρέχει καλύτερη απόδοση από το MP3, ενώ το 2003 η έκδοση του παρουσιάζεται συμβατή με τις προδιαγραφές του Mpeg ούτως ώστε το πρότυπο να αναφέρεται και ως Mpeg-4 ACC.

❖ OGG Vorbis

Ο codec Ogg Vorbis αναπτύχθηκε γύρω από το πρότυπο αρχείων Ogg και βασίζεται στη open source εφαρμογή απωλεστικής συμπίεσης με την ονομασία Vorbis. Ως προς τον τρόπο κωδικοποίησης, αυτός μοιάζει με αυτόν του Mp3 ενώ ταυτόχρονα ο Ogg Vorbis χρησιμοποιεί MDCT για τον μετασχηματισμό του σήματος από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας, καθώς και μία εναλλακτική μέθοδο επεξεργασίας του φάσματος, κατά την οποία κωδικοποιείται το φάσμα.

❖ AC3 Dolby Digital

Ένα από τα πιο διαδεδομένα πρότυπα για τον ψηφιακό πολυκάναλο ήχο είναι το AC3, το οποίο έχει αρχίσει να γίνεται το διεθνές πρότυπο για την συμπίεση ηχητικών δεδομένων. Στο ψηφιακό σύστημα ήχου AC3, ο ήχος κωδικοποιείται σε έξι συνολικά κανάλια στηριζόμενο στην μέθοδο 5.1. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τρία κανάλια:

- αριστερό, κεντρικό, δεξί, που αποσκοπούν στο να μεταδώσουν την βασική ηχητική πληροφορία,
- δύο συνοδευτικά κανάλια περιβάλλοντος ήχου και
- ένα κανάλι για τις υπόλοιπες συχνότητες.

Ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, τα πέντε πρώτα κανάλια διαχειρίζονται συχνότητες ήχου στο διάστημα από 3 έως 20000Hz, ενώ το έκτο κανάλι διαχειρίζεται συχνότητες από 3 έως 120Hz. Συμπερασματικά, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι 48KHz δηλαδή μεγαλύτερος από αυτόν των 44KHz που χρησιμοποιείται στα CD, ενώ η συμπίεση των ηχητικών δεδομένων ανέρχεται στην αναλογία 10:1.

Κεφάλαιο 5

5.1 Εισαγωγή στην ψηφιακή μετάδοση ήχου – Digital Audio Broadcasting

Αν και ο όρος Digital Audio Broadcasting αφορά την οποιαδήποτε μετάδοση ψηφιακά διαμορφωμένου ήχου ωστόσο είναι αρκετά συνυφασμένος με το ψηφιακό ραδιόφωνο. Ως ραδιόφωνο αποκαλούμε την συσκευή η οποία έχει την δυνατότητα να λαμβάνει τα σήματα που εκπέμπουν οι ραδιοφωνικοί σταθμοί. Τα ραδιοφωνικά κύματα εκπέμπονται από τον πομπό και φτάνουν στον δέκτη, δηλαδή το γνωστό σε όλους μας ραδιόφωνο. Με τον όρο ραδιοφωνία θεωρούμε όλη τη διαδικασία εκπομπής και λήψης ραδιοκυμάτων.

Μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα είδη ραδιοφώνου:

- Το **αναλογικό ή συμβατικό ραδιόφωνο**. Εδώ ο τρόπος διαμόρφωσης του σήματος έχει ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των συχνοτήτων για χρήση από τα AM και τα FM, ενώ ανάλογα με το σκοπό ορίζονται συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων (π.χ. τα εμπορικά ραδιόφωνα στην Ευρώπη και την Αμερική εκπέμπουν στις συχνοτήτες FM 87.5-108). Άλλες περιοχές συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένους σκοπούς όπως π.χ. από την Αστυνομία και την Πυροσβεστική.
- Το **ραδιόφωνο με υπό-φέρον** (subcarrier) αποτελεί εξειδικευμένη χρήση της τεχνολογίας των ραδιοκυμάτων διαμόρφωσης κατά συχνότητα (FM), κυρίως στις ΗΠΑ, όπου με ειδικούς δέκτες είναι δυνατή η λήψη περισσότερων του ενός σταθμών στην ίδια συχνότητα.
- Το **ψηφιακό ραδιόφωνο ή DAB**, το οποίο λειτουργεί στην περιοχή πολύ υψηλών συχνοτήτων (VHF) και διαθέτει πολλών ειδών πρόσθετες διαδραστικές υπηρεσίες. Είναι αρκετά διαδεδομένο στην Βρετανία, αλλά αναπτύσσεται αργά λόγω του υψηλού κόστους των δεκτών.
- Το **δορυφορικό ραδιόφωνο**, το οποίο χρησιμοποιεί κανάλια στα πλαίσια του προτύπου της δορυφορικής ψηφιακής τηλεόρασης DVB, ούτως ώστε να μεταδίδεται μόνον ήχος.
- Το **Διαδικτυακό ραδιόφωνο** (ραδιόφωνο του Διαδικτύου, που εκπέμπει αρχεία ροής (δηλαδή επιφορτώνεται το αρχείο σε πραγματικό χρόνο, ο ήχος φορτώνεται εκείνη την στιγμή που παίζει) και περιλαμβάνει και το Podcasting, που είναι η εμπορική ονομασία της μεταφόρτωσης ηχογραφημένων εκπομπών. Στην Ελλάδα μια προσπάθεια εγκατάστασης ραδιοφωνικού πομπού άρχισε το 1923.

5.1.1 Ιστορικά στοιχεία του ραδιοφώνου

Πριν προχωρήσουμε βαθύτερα στην ψηφιακή ραδιοφωνία καλό θα ήταν να έχουμε κατά νου κάποια ιστορικά στοιχεία από την εποχή που ξεκίνησε να υπάρχει αυτό που αποκαλούμε «ραδιόφωνο» με σκοπό να μπορούμε να κατανοήσουμε αυτό που υπήρχε κάποτε, αυτό που έχουμε σήμερα αλλά και αυτό στο οποίο οδηγούμαστε τεχνολογικά στο μέλλον.

Γυρίζουμε λοιπόν πίσω στα 1873 όπου ο Maxwell με την θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού μας έκανε γνωστό πως ένα κύμα μπορεί να μεταδοθεί χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιου φυσικού μέσου. Δέκα χρόνια μετά ο Hertz επαληθεύει την θεωρία του Maxwell για τον ηλεκτρομαγνητισμό και ανακαλύπτει τα ραδιοκύματα.

Το 1895, ο Γουλιέλμος Μαρκόνι ο οποίος αποκαλείται και ο εφευρέτης των ραδιοφώνου κατάφερε να μεταδώσει ηχητικά σήματα Μορς μέσω ερτζιανών κυμάτων. Μαζί με τον Μαρκόνι είχαν επιτυχίες και άλλοι ερευνητές όπως είναι ο Reginald Fessenden και ο Lee de Forest οι οποίοι ανέπτυξαν την ραδιοφωνία. Στην ουσία με την ραδιοφωνία πετυχαίνουμε την μετάδοση ομιλίας, μουσικής και λόγου σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς την μεσολάβηση αγωγών αλλά με χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Σε ότι αφορά την λήψη ήρθε ο ντε Φορέ για να εφεύρει την ηλεκτρονική λυχνία, η οποία ήταν η μόνη μορφή ραδιοφώνου για τα επόμενα 50-60 χρόνια. Μέχρι τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο το ραδιόφωνο είναι ένα μέσο χρησιμοποιούμενο σε ερασιτεχνική βάση και δεν είναι καθόλου ανεπτυγμένο ούτε διαδεδομένο. Η λήψη λοιπόν γίνεται από ειδικούς δέκτες που στην ουσία αποτελούν στην πράξη την εφαρμογή της εφεύρεσης των ηλεκτρονικών λυχνιών που άρχισαν να αναπτύσσονται την δεκαετία του 1910 στις ΗΠΑ.

Το 1897, ο Μαρκόνι προχωράει στην επαλήθευση των πειραμάτων του Hertz ή οποία και ισχύει τελικά και καταφέρνει να στείλει ασύρματο σήμα σε απόσταση τριών χιλιομέτρων περίπου. Στην συνέχεια μαζί με αυτή τη συσκευή ο Μαρκόνι πηγαίνει στην Αγγλία και ιδρύει την εταιρεία Marconi Wireless Telegraph η οποία παρέχει τις υπηρεσίες της στην ναυσιπλοΐα. Ωστόσο τα ραδιοκύματα που εξέπεμπε δεν μετέδιδαν φωνή αλλά σήματα Μορς.

Εν έτη 1906 στην Νέα Υόρκη ο Fessenden κατάφερε για πρώτη φορά στην ιστορία της ραδιοφωνίας, να μεταδώσει φωνή και μουσική κάνοντας χρήση των ραδιοκυμάτων.

Το μεγαλύτερο ιστορικό γεγονός στην πορεία του ραδιοφώνου αποτέλεσε η έμπνευση ενός Αμερικανού, του Frank Conrad ο οποίος επαγγελματικά εργαζόταν ως μηχανικός και η ερασιτεχνική του ασχολία ήταν το ραδιόφωνο και ο αθλητισμός. Ο Conrad όπως αναφέρεται φαίνεται να βρήκε τυχαία στον αέρα με το ραδιόφωνό του προκειμένου να μεταδώσει τα αποτελέσματα των αγώνων. Στην ουσία συνδύασε τις δύο ασχολίες του. Μετά από αυτό το γεγονός απέκτησε φανατικό κοινό. Την ίδια εποχή μεταδόθηκε και η πρώτη

ραδιοφωνική διαφήμιση ενός καταστήματος της περιοχής που διέμενε ο Conrad. Λίγο αργότερα την ίδια περίοδο την εκπομπή του Conrad εξαγόρασε η εταιρεία Westinghouse την οποία και υποστήριξε τεχνικά και την ανέπτυξε περαιτέρω.

Στις 20 Νοεμβρίου του 1920 τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος ραδιοφωνικός σταθμός, ο K.D.K.A. οποίος υπάρχει ακόμα και σήμερα και λειτουργεί.

Το 1926 εμφανίζεται στην αγορά ραδιοφωνικός δέκτης ο οποίος αποδείχτηκε αρκετά εύχρηστος, ποιοτικός και φθηνός και τότε είναι που το ραδιόφωνο απέκτησε ευρύ κοινό. Στην πορεία εμφανίζεται και η σύσταση σχετικής νομοθεσίας για την οργάνωση τόσο των σταθμών όσο και των συχνοτήτων εκπομπής. Η εδραίωση, όμως, του ραδιοφώνου έρχεται μετά το 1930. Σε αυτή την περίοδο δημιουργείται το καλά οργανωμένο δίκτυο σταθμών (κρατικών και ιδιωτικών) τόσο στην Αμερική όσο και στην Ευρώπη.

Το χρονικό διάστημα που διήρκησε ο Β΄ παγκόσμιος πόλεμος το ραδιόφωνο και ο τύπος έγιναν δύο πάρα πολύ ανταγωνιστικά μέσα μεταξύ τους και αυτό γιατί το ραδιόφωνο απέκτησε μεγάλο ειδησεογραφικό περιεχόμενο. Μόλις έληξε ο πόλεμος το ραδιόφωνο ήρθε στην αρχική του ιδιότητα και έγινε ξανά ψυχαγωγικό. Στα τέλη της δεκαετίας του 1940 και στις αρχές τις δεκαετίας του 1950 το ραδιόφωνο αποκτά και νέο ανταγωνιστή, την τηλεόραση η οποία έχει στα χέρια της κάτι το οποίο απείλησε ιδιαίτερα το ραδιόφωνο, την εικόνα. Ήταν η εποχή που το ραδιόφωνο πέφτει κατακόρυφα με τους ραδιοφωνικούς σταθμούς να ψάχνουν για λύσεις. Τελικά η λύση έρχεται τις δεκαετίες 1950 – 1960 με την εμφάνιση της τότε δημοφιλέστατης Rock n' Roll μουσικής. Η κρίση που αντιμετώπιζε το ραδιόφωνο ξεπεράστηκε επιτυχώς και το ραδιόφωνο καθιερώνεται αποκλειστικά ως ψυχαγωγικό και μουσικό μέσο.

Ωστόσο έτσι όπως αποδείχτηκε για μια ακόμα φορά τα προβλήματα δεν ξεπεράστηκαν για το ραδιόφωνο καθότι την δεκαετία του 1960 το κρατικό ραδιόφωνο είναι υπό αμφισβήτηση για το λόγο ότι μετέδιδε Ροκ μουσική και απορρίπτεται από την νεολαία της εποχής. Έτσι λοιπόν στη συνέχεια εμφανίζεται η πειρατική ραδιοφωνία με πρωτοπόρο το Radio Caroline στην Αγγλία το οποίο εκπέμπει Ροκ μουσική από ένα μικρό πλοίο έξω από τα χωρικά ύδατα της Αγγλίας. Το BBC τότε βρίσκεται υπό απειλή καθώς η ακροαματικότητα του Radio Caroline είναι ιδιαίτερα υψηλή. Αυτή ήταν και αρχή αυτού του τύπου ραδιοφωνίας που εξαπλώθηκε γρήγορα σε όλη την Ευρώπη.

Τέλος το 1970 το ραδιόφωνο φτάνει στην τελική του μορφή που είναι λίγο – πολύ η εικόνα που έχουμε όλοι σήμερα για το ραδιόφωνο. Τις λυχνίες αντικαθιστούν τα μικρά τρανζίστορ. Ραδιόφωνο και κασετόφωνο συνδυάζονται σε μία συσκευή.

Το συμβατικό ραδιόφωνο περιλαμβάνει δύο κατηγορίες τρόπου μετάδοσης τα AM (διαμόρφωση κατά πλάτος) και τα FM (διαμόρφωση κατά συχνότητα). Στις συχνότητες αυτές χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα μήκη κύματος ανάλογα με

το σκοπό (π.χ. οι κοινοί ραδιοσταθμοί εκπέμπουν στις συχνότητες FM 88-108). Άλλες συχνότητες χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς όπως π.χ. από την Αστυνομία και την Πυροσβεστική Υπηρεσία. Εκτός από το συμβατικό ραδιόφωνο υπάρχει και το ραδιόφωνο του Διαδικτύου, που εκπέμπει "stream audio" (δηλαδή επιφορτώνεται το αρχείο σε πραγματικό χρόνο, ο ήχος φορτώνεται εκείνη την στιγμή που παίζει) και, τέλος, το Podcasting που εκπέμπει μαγνητοφωνημένα.

5.1.2 Ιστορικά στοιχεία του DAB

Για την ιστορία λοιπόν, το πρότυπο DAB ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα την δεκαετία του 1980. Πιο συγκεκριμένα το DAB σχεδιάστηκε το 1981 από το IRT, το 1985 έγιναν οι πρώτες δοκιμές από το WARC-ORB στην Γενεύη και τελικώς οι πρώτες εκπομπές DAB άρχισαν να γίνονται το 1988 στην Γερμανία. Την ανάπτυξη του την γνώρισε το 1990 από το πρότυπο Eureka 147 / DAB. Η Νορβηγική εταιρεία NRK ξεκίνησε για πρώτη φορά στον κόσμο ένα κανάλι DAB στην 1^η Ιουνίου του 1995 με την ονομασία NRK Klassisk. Μετέπειτα ακολούθησαν το BBC και το SR όπου ξεκίνησαν την πρώτη τους DAB εκπομπή τον Σεπτέμβριο του 1995. Πολλοί DAB δέκτες διατίθενται σε πολλές χώρες του πλανήτη από το 1990, στην ουσία δεν αποτελεί κάτι εντελώς καινούριο εν έτη 2015 όσο αφορά το γνωστικό αντικείμενο παρόλα αυτά δεν είναι ευρέως διαδεδομένο ώστε να φτάσουμε σημείο να χρησιμοποιούμε μόνο την DAB τεχνολογία και να εξαλειφθούν οι αναλογικές τεχνολογίες AM και FM από τη ραδιοφωνία που είναι ακόμα εν ενεργεία σε πολλές χώρες του κόσμου.

Το DAB ήταν το πρώτο από τα πρότυπα το οποίο βασίστηκε στην ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM), η οποία από τότε έχει γίνει η πιο δημοφιλής στα σύγχρονα ευρυζωνικά συστήματα ψηφιακής επικοινωνίας. Το 1990 πραγματοποιήθηκε μια επιλογή σε κωδικοποιητές ήχου (audio codecs) με σκοπό την διόρθωση σφαλμάτων κωδικοποίησης και διαμόρφωσης και την ίδια χρονιά προχώρησαν σε μια δοκιμαστική εκπομπή.

Οι δημόσιες επιδείξεις έγιναν το 1993 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η προδιαγραφή του πρωτοκόλλου ολοκληρώθηκε το 1993 και εγκρίθηκε από τον οργανισμό τυποποίησης της ITU-R το 1994, την Ευρωπαϊκή Κοινότητα το 1995 και από το ETSI το 1997. Πιλοτικές μεταδόσεις ξεκίνησαν σε διάφορες χώρες το 1995.

Το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν η πρώτη χώρα που άρχισε να λαμβάνει ένα ευρύ φάσμα ραδιοφωνικών σταθμών με χρήση DAB. Εμπορικοί δέκτες DAB άρχισαν να πωλούνται το 1999 και πάνω από 50 εμπορικές BBC υπηρεσίες ήταν διαθέσιμες στο Λονδίνο από το 2001.

Μέχρι το 2006, 500 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο βρίσκονταν στην περιοχή κάλυψης των DAB εκπομπών αν και αυτή τη φορά οι πωλήσεις είχαν

απογειωθεί μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Δανία. Το 2006 υπήρχαν περίπου 1.000 σταθμοί DAB σε λειτουργία σε παγκόσμια κλίμακα.

Το πρότυπο συντονίζεται από το Ευρωπαϊκό Φόρουμ DAB, σχηματίστηκε το 1995 και ανασυστάθηκε με το Παγκόσμιο Φόρουμ DAB το 1997, που αντιπροσωπεύει πάνω από 30 χώρες. Το 2006 το Παγκόσμιο DAB Φόρουμ έγινε το Παγκόσμιο Φόρουμ DMB που προεδρεύει τώρα πάνω και από το πρότυπο DAB και το πρότυπο DMB.

Τον Οκτώβριο του 2005, το Παγκόσμιο Φόρουμ DMB ανέθεσε στην τεχνική επιτροπή του την εκτέλεση των εργασιών που απαιτούνται για να υιοθετήσουν τον AAC+ κωδικοποιητή ήχου με σκοπό την ισχυρότερη διόρθωση σφαλμάτων κωδικοποίησης. Η εργασία αυτή οδήγησε στην έναρξη του νέου συστήματος **DAB+**.

Ωστόσο το DAB (Digital Audio Broadcasting) ή αλλιώς ψηφιακό ραδιόφωνο όπως είπαμε είναι μια νέα τεχνολογία ραδιοφωνίας η οποία έρχεται να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες AM και FM υπηρεσίες εκπομπής ήχου σε πολλά μέρη του κόσμου και στο μέλλον θα αποτελέσει ένα παγκόσμιο και πολύ καινοτόμο σύστημα εκπομπής για την μετάδοση ραδιοφωνικών σταθμών. Σήμερα χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες σε όλη την Ευρώπη καθώς επίσης και στην περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού.

Τα προγράμματα του ψηφιακού ραδιοφώνου προσφέρουν ένα συγκεκριμένο φάσμα το οποίο είναι πολύ περισσότερο από αυτό της αναλογικής FM ραδιοφωνίας. Το DAB είναι πιο ισχυρό σε ότι αφορά το θόρυβο και την εξασθένιση της πολυόδευσης (multipath effect) για τους εποχούμενους και μη, ακροατές, παρέχει δηλαδή υψηλή ανθεκτικότητα και επιτρέπει τη χρήση δικτύων ενιαίας συχνότητας (SFN) με σκοπό την υψηλή απόδοση της συχνότητας. Ενώ στο DAB η ποιότητα λήψης υποβαθμίζεται αμέσως όταν η ισχύς του σήματος πέσει κάτω από ένα κρίσιμο όριο (κατώφλι), στα FM η ποιότητα λήψης αποδομείται αργά παράλληλα με τη μείωση της ισχύς του σήματος.

Σχετικά με την ποιότητα του ήχου, διαφέρει αναλόγως του ρυθμού δειγματοληψίας (bit rate) καθώς επίσης και του ηχητικού υλικού που χρησιμοποιείται. Ο ρυθμός δειγματοληψίας που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι σταθμοί είναι 128 Kbit / sec ή και λιγότερο αν χρησιμοποιείται ο κωδικοποιητής ήχου MP2 ο οποίος απαιτεί 160 Kbit / sec με σκοπό να επιτευχθεί μια πιο αντιληπτή ή με άλλα λόγια πιο «αληθινή» ποιότητα FM. Τα 128 Kbit / sec μας δίνουν μια καλύτερη περιοχή εύρους και καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR), συγκριτικά με την FM ραδιοφωνία και δίνει μια πιο στερεοφωνική εικόνα και ένα άνω όριο αποκοπής στην συχνότητα των 14 KHz που αντιστοιχεί σε 15 KHz των FM. Ωστόσο το να καταφέρουμε να πετύχουμε την ποιότητα που έχει ο ήχος σε ένα CD με κωδικοποίηση MP2 με ρυθμό δειγματοληψίας στα 256 ή 192 Kbps δεν θεωρείται και δεν καθίσταται αδύνατο, κάθε άλλο, θεωρείται εφικτό.

Σε ότι αφορά την διαχείριση του ραδιοφάσματος, οι μπάντες που έχουν διατεθεί για τις δημόσιες υπηρεσίες DAB, συμβολίζονται με το γράμμα **T** πριν το DAB, δηλαδή σε συντομογραφία έχουμε το **T-DAB**, και συμβολίζει την επίγεια (Terrestrial) μετάδοση. Περισσότερα σχετικά με το DAB, την ιστορία του, καθώς και τις διαφοροποιήσεις του αναλόγως της χρήσης του, αλλά και πιο γενικές αλλά και ειδικές λεπτομέρειες που το αφορούν θα δούμε στα υπόλοιπα και κεφάλαια που ακολουθούν.

5.2 Τι είναι το DAB και η σύγκριση με του με AM/FM

Το ψηφιακό ραδιόφωνο, γνωστό και ως DAB (digital audio broadcasting), πρόκειται για ένα εντελώς νέο σύστημα τόσο για την εκπομπή περιεχομένου ραδιοφωνικών σταθμών όσο και για την λήψη του. Όπως καταδεικνύει και το όνομα της τεχνολογίας αυτής τα εκπεμπόμενα σήματα είναι ψηφιακής μορφής με σκοπό να πετύχουμε την ποιότητα ήχου που έχουμε και στα CD. Πολλοί ακροατές που έχουν ακούσει εκπομπή ψηφιακού ραδιοφώνου έχουν επισημάνει την σημαντικά καλύτερη ποιότητα ήχου. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η τεχνολογία του ψηφιακού ραδιοφώνου δεν υποφέρει του φαινομένου της πολυόδευσης (multipath effect) που συχνά συμβαίνει στις μεταδόσεις FM και ως σύστημα με χρήση SFN δικτύου (Single Frequency Network) δεν δημιουργείται η ανάγκη επανασυντονισμού όταν μετακινούμαστε από την μια περιοχή κάλυψης στην επόμενη.

Πέραν του παρόντος πολλές επιπλέον νέες υπηρεσίες μπορούν να μεταφέρονται (εκπέμπονται) στις ψηφιακές μεταδόσεις φέρνοντας την τεχνολογία του ψηφιακού ραδιοφώνου πιο κοντά στις ανάγκες του 21ου αιώνα. Έτσι τα σήματα του DAB ραδιοφώνου μεταφέρουν και δεδομένα παράλληλα με το ηχητικό περιεχόμενο, τα δεδομένα αυτά πρόκεινται για κείμενο αλλά και εικόνες που σκοπό έχουν την ενίσχυση της εμπειρίας ακρόασης. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η εκπομπή του τίτλου των τραγουδιών καθώς και εικόνες από τα μουσικά άλμπουμ που ανήκουν τα τραγούδια. Είναι επίσης εφικτή, μαζί με όλα τα υπόλοιπα περιεχόμενα, και η εκπομπή κυλιόμενου περιεχομένου ειδήσεων.

Μέχρι πρότινος τα ραδιοφωνικά προγράμματα εκπέμπονταν σε διαφορετικές συχνότητες δια μέσω των AM και FM διαμορφώσεων, κατά συνέπεια η συσκευή λήψης (ραδιόφωνο) έπρεπε να συντονίζεται στην κάθε συχνότητα ξεχωριστά. Όλο αυτό οδηγούσε στην συγκριτικά και σημαντικά μεγάλη χρήση φάσματος συχνοτήτων για έναν σχετικά μικρό αριθμό ραδιοφωνικών σταθμών, περιορίζοντας τις επιλογές ακρόασης. Το ψηφιακό ραδιόφωνο (από τούδε και στο εξής DAB) ως ψηφιακό σύστημα μέσω της διαδικασίας της πολυπλεξίας και της συμπίεσης, συνδυάζει πολλαπλές ροές ήχου σε ένα σχετικά περιορισμένο εύρος (narrow band) επικεντρωμένο σε μια μόνο συχνότητα εκπομπής (DAB ensemble).

Εντός του συνολικού ρυθμού μετάδοσης για το DAB ensemble, ο κάθε σταθμός ξεχωριστά μπορεί να διαθέτει ξεχωριστό ρυθμό μετάδοσης από τους υπόλοιπους. Ο αριθμός των καναλιών στο DAB ensemble μπορεί να αυξηθεί με την διαδικασία μείωσης των μέσων ρυθμών μετάδοσης, σε βάρος πάντα της ποιότητας των ροών (streams). Η τεχνική της διόρθωσης σφαλμάτων σύμφωνα με το DAB standard καθιστά το σήμα περισσότερο ισχυρό αλλά μειώνει τον συνολικό ρυθμό μετάδοσης των ροών.

❖ Κέντρα εκπομπής και χρήση φάσματος συχνοτήτων

Το DAB αποδίδει εξαιρετικά υψηλότερη αποδοτικότητα φάσματος σε σχέση με τις αναλογικές επικοινωνίες, μετρημένη ως προγράμματα ανά MHz και ανά κέντρο εκπομπής. Αυτό οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων σταθμών για τους ακροατές, ειδικότερα για όσους είναι εκτός των αστικών περιοχών.

Παράδειγμα

Το αναλογικό FM απαιτεί 0,2 MHz ανά πρόγραμμα, ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων στις περισσότερες χώρες είναι περίπου 15, που σημαίνει πως μόνο 1 στα 15 κέντρα εκπομπής μπορεί να χρησιμοποιήσει την ίδια συχνότητα καναλιού χωρίς προβλήματα διακαναλικών παρεμβολών (π.χ. παράσιτα). Υποθέτοντας μια συνολική διαθεσιμότητα 102 FM καναλιών με εύρος ζώνης 0.2MHz στο ραδιοφάσμα Band II από 87,5 έως 108,0 MHz, έχουμε ένα σύνολο από $102/15 = 6.8$ ραδιο-κανάλια να είναι δυνατά/εφικτά σε κάθε πομπό (συμπεριλαμβάνοντας τους τοπικούς πομπούς χαμηλής ισχύος να προκαλούν λιγότερες παρεμβολές). Αυτό καταλήγει σε ένα σύστημα φασματικής αποδοτικότητας από $1 / 15 / (0.2 \text{ MHz}) = 0.30$ προγράμματα/πομπός/ MHz.

Το DAB με 192 kbit/s κωδικοποιητή απαιτεί $1.536 \text{ MHz} * 192 \text{ kbit/s} / 1136 \text{ kbit/s} = 0.26 \text{ MHz}$ ανά ηχητικό πρόγραμμα. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων για τοπικές εκπομπές και δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων (MFN) είναι συνήθως 4 ή 5, καταλήγοντας σε $in 1 / 4 / (0.26 \text{ MHz}) = 0.96$ προγράμματα/πομπός/MHz. Αυτό είναι 3.2 φορές αποτελεσματικό όσο κ το αναλογικό FM για τους τοπικούς σταθμούς. Για τη μετάδοση δικτύου μονής συχνότητας (SFN), για παράδειγμα αυτών των εθνικών προγραμμάτων, Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων είναι 1, καταλήγοντας σε $1/1/0.25 \text{ MHz} = 3.85$ προγράμματα/πομπός/MHz, το οποίο είναι 12.7 φορές αποδοτικό όσο τα FM για τα εθνικά και τοπικά δίκτυα.

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε πως οι παραπάνω βελτιώσεις χωρητικότητας δεν μπορούν πάντα να επιτευχθούν σε συχνότητες της μπάντας L (L-band), δεδομένου πως οι συχνότητες αυτές είναι περισσότερο ευαίσθητες στην

παρουσία εμποδίων από αυτές στην μπάντα των FM, κάτι που μπορεί να προκαλέσει εξασθένιση λόγω σκίασης (shadow fading) για λοφώδη εδάφη και εντός κτισμάτων επικοινωνία.

Επίσης ο αριθμός των κέντρων εκπομπής ή η ισχύς εκπομπής σήματος που απαιτείται για την πλήρη κάλυψη μιας χώρας μπορεί να είναι αρκετά υψηλός σε αυτό το χώρο συχνοτήτων για την αποφυγή αυτού το σύστημα γίνεται πιο ανθεκτικό στον θόρυβο από ότι στην ομοκαναλική παρεμβολή.

❖ Ποιότητα ήχου

Οι αρχικοί στόχοι για την μετάβαση στην ψηφιακή μετάδοση ήταν η υψηλή πιστότητα, η ύπαρξη περισσότερων σταθμών καθώς και η μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στον θόρυβο, την ομοκαναλική παρεμβολή και στο φαινόμενο της πολυόδευσης συγκριτικά με την αναλογική FM ραδιοφωνία. Ωστόσο, οι πρωτοπόρες χώρες στην εφαρμογή DAB σε στερεοφωνικούς σταθμούς, χρησιμοποιούν συμπίεση σε τέτοιο βαθμό που η παραγόμενη ποιότητα ήχου είναι χαμηλή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επίπεδα ρυθμού bit είναι πολύ χαμηλά για το MPEG Layer 2 audio codec για την παροχή ποιότητας ήχου υψηλής πιστότητας.

Το κέντρο ανάπτυξης και έρευνας του BBC έχει δηλώσει πως θεωρητικά χρειάζονται 256 kbit/s για την εκπομπή υψηλής πιστότητας στερεοφωνικού περιεχομένου ωστόσο στην πράξη τουλάχιστον 192 kbit/s είναι επαρκή για την υψηλής πιστότητας στερεοφωνική εκπομπή.

❖ FM HD Radio versus DAB

Μερικές χώρες έχουν εφαρμόσει το πρότυπο Eureka-147 DAB. Το DAB εκπέμπει έναν σταθμό ο οποίος κυμαίνεται περίπου στα 1500 KHz σε εύρος (1000 Kbit/s). Ο σταθμός αυτός, είναι υποδιαιρεμένος σε πολλαπλές ψηφιακές ροές μεταξύ 9 και 12 προγραμμάτων. Εν αντιθέσει, το FM HD Radio μοιράζει τις ψηφιακές εκπομπές του με την καθιερωμένη συχνότητα των 200 KHz σε εύρος καναλιών με ρυθμό μετάδοσης στα 300 Kbit/s ανά σταθμό.

Η πρώτη γενιά του DAB χρησιμοποιεί το πρότυπο MPEG-1 Audio Layer II (MP2) ως κωδικοποιητή ήχου ο οποίος πετυχαίνει λιγότερο αποτελεσματική συμπίεση συγκριτικά με τους νεότερους κωδικοποιητές ήχου. Ένας τυπικός ρυθμός μετάδοσης για τα DAB προγράμματα κυμαίνεται στα 128 Kbit/s και σαν αποτέλεσμα οι περισσότεροι ραδιοφωνικοί σταθμοί DAB έχουν συγκριτικά χαμηλότερη ποιότητα ήχου από ότι αυτοί των FM. Ομοίως με το DAB+ ή με το T-DMB στην Ευρώπη έτσι και το FM HD Radio χρησιμοποιεί κωδικοποιητή ήχου βασισμένο στο πρότυπο MPEG-4 HE-AAC.

5.3 DAB ή Internet Radio?

Όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα, το ψηφιακό ραδιόφωνο (DAB), αποτελεί την εξέλιξη της ραδιοφωνίας η οποία αρχίζει σταδιακά να αποσύρει την αναλογική AM/FM τεχνολογία μετάδοσης και να εισέρχεται στην ψηφιακή εποχή.

❖ Internet radio

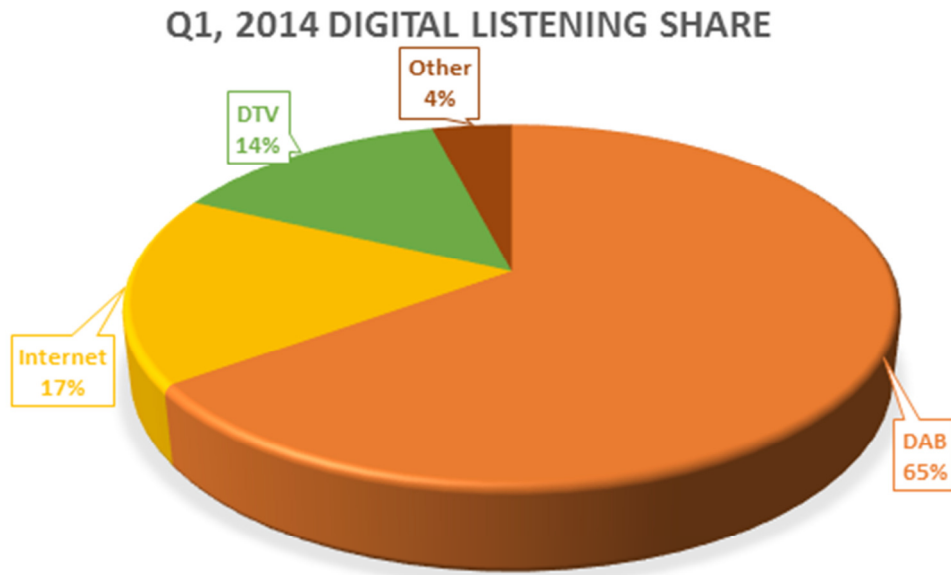
Το ιντερνετικό ραδιόφωνο ή αλλιώς web radio, net radio, streaming radio, e-radio, online radio and webcasting κ.ο.κ αποτελεί μια υπηρεσία μετάδοσης ήχου χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο κάτι το οποίο συνήθως αναφέρεται με διαδικτυακούς όρους ως "webcasting" για το λόγο του ότι δεν μεταδίδεται απευθείας μέσω ασύρματων μέσων. Το internet radio παρέχει συνεχή ροή στους ακροατές που τυπικά δεν μπορούν να σταματήσουν και να συνεχίσουν την αναπαραγωγή της αργότερα ή να την επαναλάβουν όπως στα παραδοσιακά μέσα μετάδοσης.

❖ Σύντομη στατιστική ανάλυση ακρόασης DAB

Σύμφωνα με τις τελευταίες πληροφορίες που υπάρχουν διαθέσιμες από το Rajar η παρακολούθηση ραδιοφωνικών προγραμμάτων μέσω ψηφιακής μορφής σε εβδομαδιαία βάση αυξήθηκε κατά 4% από τον ένα χρόνο στον επόμενο με 27,1 εκατομμύρια ανθρώπους να συντονίζονται στο ραδιόφωνο μέσω ενός ψηφιακού δέκτη (DAB, DTV, Internet) και με 26 εκατομμύρια από αυτούς στο πρώτο τρίμηνο του 2013 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Δηλαδή το 51% του πληθυσμού συντονιζόταν στο ψηφιακό ραδιόφωνο κάθε εβδομάδα.

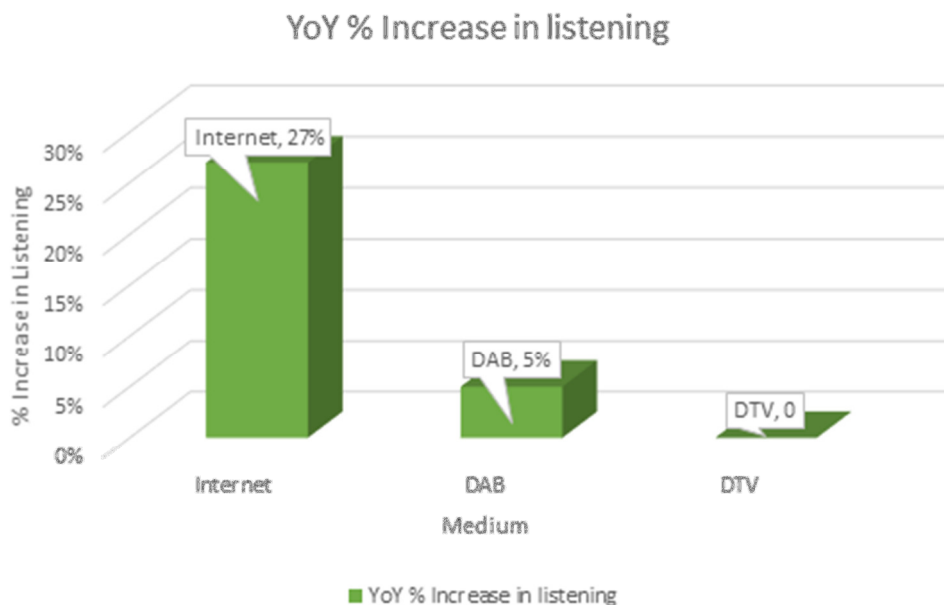
Το μερίδιο των ανθρώπων που ακούν DAB έχει αρχίσει να αυξάνεται κατά 5% σε ετήσια βάση και κατά 23,7% του συνόλου της ακρόασης (22,5% το πρώτο τρίμηνο του 2013). 25 εκατομμύρια του ενήλικου πληθυσμού έχει πρόσβαση σε έναν DAB δέκτη, που ανέρχεται στο ποσοστό του 10% σε ετήσια βάση.

Οι ώρες ακρόασης για το πρώτο τρίμηνο του 2014 αυξήθηκαν κατά 7% από 335 εκατομμύρια ώρες που ήταν το πρώτο τρίμηνο του 2013 σε 379 εκατομμύρια ώρες αυτό το διάστημα. Το ψηφιακό ραδιόφωνο είναι το πιο δημοφιλές ως συσκευή που έρχεται στο μυαλό εκείνων που θέλουν να ακούν ψηφιακά που ανέρχεται στο ποσοστό του 65% όλων των ψηφιακών ορών. Σε ότι αφορά την παρακολούθηση προγραμμάτων μέσω ψηφιακής τηλεόρασης (DTV) αναπαριστά το ποσοστό του 14% (5% συνολικών ορών) και επίσης η παρακολούθηση προγραμμάτων μέσω διαδικτύου ανέρχεται στο ποσοστό του 17% (6% των συνολικών ορών) της ψηφιακής ακρόασης σε ώρες.



❖ Ανάπτυξη του διαδικτυακού ραδιοφώνου

Η ιντερνετική ακρόαση ραδιοφώνου αποτελεί το 17% της συνολικής ψηφιακής ακρόασης και πλησιάζει αρκετά την ακρόαση του DAB. Σύμφωνα με το πρώτο τρίμηνο του 2014 η ιντερνετική ακρόαση έδειξε μια αύξηση κατά 27% σε ετήσια βάση συγκριτικά με το πρώτο τρίμηνο του 2013 όπου το DAB έδειξε μόνο 5% αύξηση καθώς το ίδιο ίσχυε και για την ψηφιακή τηλεόραση που παρέμεινε στα ίδια επίπεδα. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι ο κύριος λόγος της αύξησης στο 7% στις συνολικές ώρες ψηφιακής ακρόασης, προέρχεται από τα ιντερνετικά ραδιόφωνα.

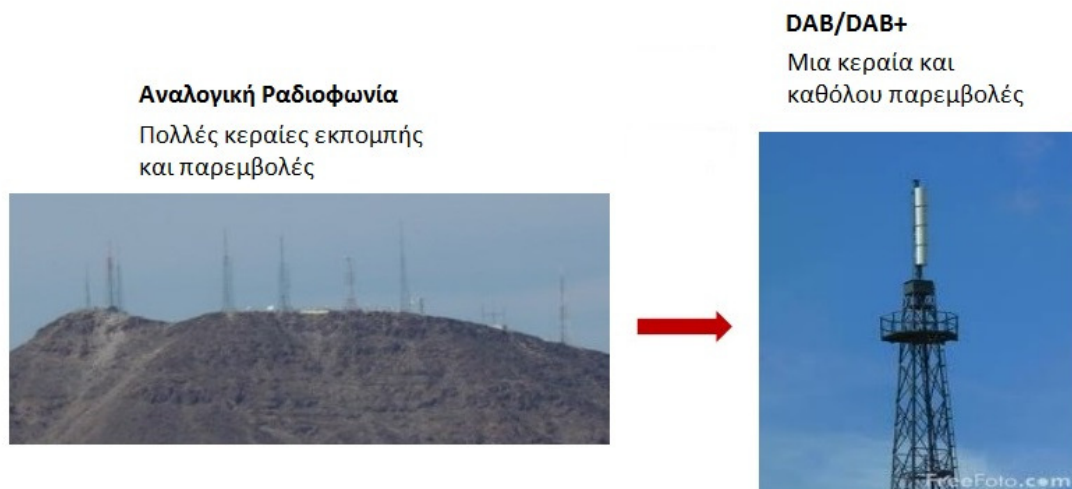


Το 18% των ενηλίκων ισχυρίζεται ότι ακούει ραδιόφωνο μέσω κινητού τηλεφώνου ή ταμπλετ, τουλάχιστον μία φορά το μήνα. Μέχρι 43% σε ετήσια βάση. Το 32% των ατόμων ηλικίας 15-24 ετών ισχυρίζεται ότι ακούει ραδιόφωνο μέσω ενός κινητού τηλεφώνου ή ταμπλετ, τουλάχιστον μία φορά το μήνα. Αυτό δείχνει μια τεράστια αύξηση στην τάση της ακρόασης ραδιοφώνου μέσω Internet κάνοντας χρήση smartphones.

Αφού κάναμε αυτή την μικρή παρένθεση σχετικά με την σύγκριση του DAB με το Internet Radio, επανερχόμαστε στο κύριο θέμα της πτυχιακής μας (αυτό του DAB) και συνεχίζουμε με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής. Τα αναλυτικά ποσοστά χρήσης και η βιωσιμότητα του DAB θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

5.4 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DAB

Η υπάρχουσα αναλογική AM και FM επίγειας εκπομπής υποδομή, είναι καλά εδραιωμένη ακόμη και στις μέρες μας παρόλο που η ψηφιακή τεχνολογία ανθεί, ο λόγος διότι είναι πιο διαδεδομένος τρόπος εκπομπής.



Εικόνα 5.4.1: Υποδομή επίγειας εγκατάστασης AM/FM σε σύγκριση με την υποδομή της επίγειας εγκατάστασης DAB/DAB+

Αυτό βέβαια δεν αλλάζει το γεγονός ότι το DAB έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των αναλογικών συστημάτων, τα οποία είναι:

- **Βελτιωμένα χαρακτηριστικά για τους χρήστες:**

Τα DAB ραδιόφωνα συντονίζονται αυτόματα σε όλους τους διαθέσιμους σταθμούς προσφέροντας μια λίστα στους χρήστες από την οποία μπορούν να επιλέξουν τι θέλουν να ακούσουν.

Με το DAB οι ραδιοφωνικοί σταθμοί μπορούν να μεταδώσουν μαζί με το υπόλοιπο περιεχόμενο τους και radiotext (το οποίο στην ορολογία που διέπει το DAB ονομάζεται αλλιώς και ως ετικέτα δυναμικού τομέα Dynamic Label Segment, ή DLS) με το οποίο δίδονται πληροφορίες πραγματικού χρόνου όπως για παράδειγμα:

- τίτλοι τραγουδιών
- το είδος της μουσικής
- ειδήσεις ή
- ενημερώσεις σχετικά με την κίνηση στους δρόμους

Να πούμε ότι οι πληροφορίες κίνησης είναι εφικτές με την συμβολή της Mediamobile η οποία πρόσφατα έθεσε σε λειτουργία τις πρώτες Premium V-Traffic DAB-TPEG (Transport Protocol Experts Group) υπηρεσίες ενημέρωσης με γεγονότα και ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τις χώρες της Γερμανίας και της Νορβηγίας ενώ οι υπηρεσίες αυτές έχουν δοκιμαστεί και στην Σουηδία και Πολωνία.

Είναι επίσης εφικτό να μεταδοθεί προκαταβολικά πρόγραμμα περιεχομένου και είναι ένα πανομοιότυπο χαρακτηριστικό που επίσης υπάρχει στα FM στην μορφή της τεχνολογίας RDS στην οποία μέσω στατικών ή δυναμικών υπηρεσιών μεταφέρονται και τα ανάλογα μηνύματα.

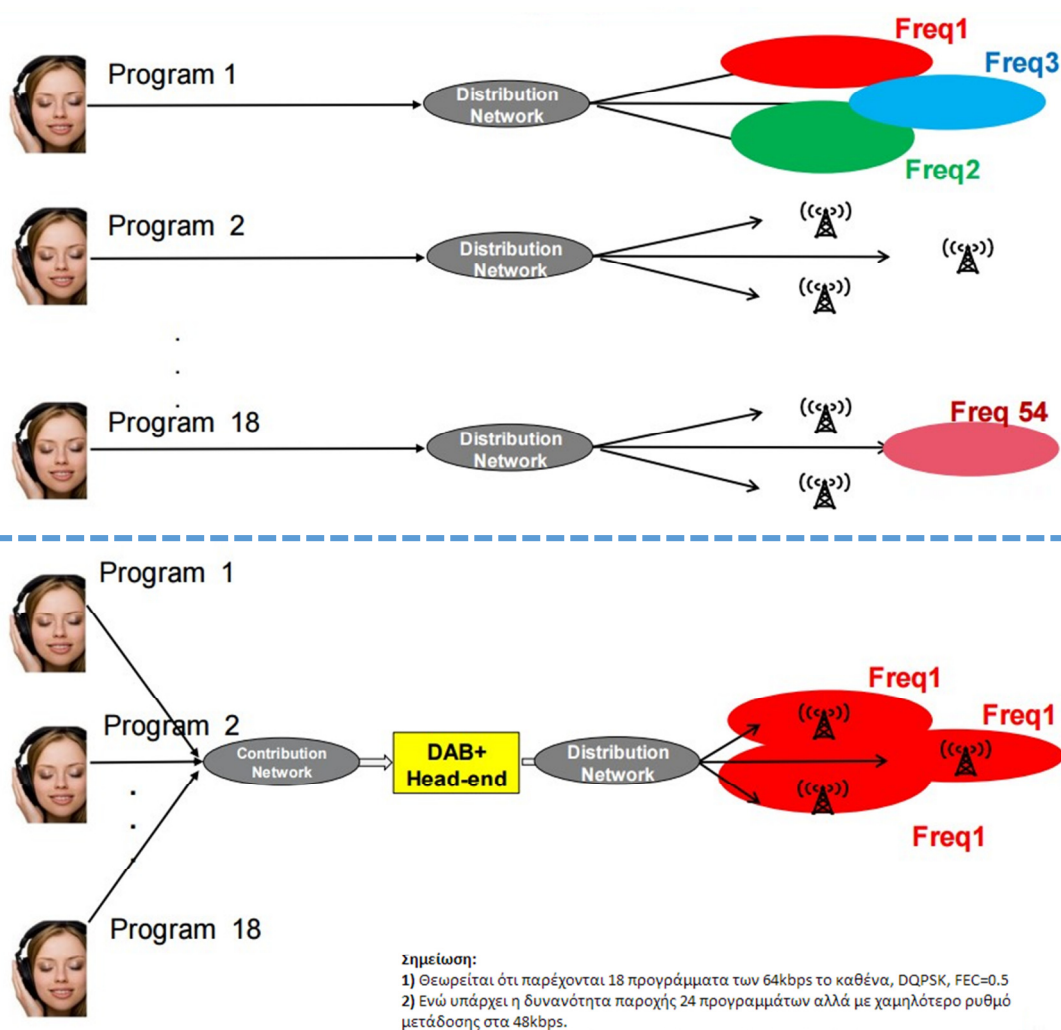
Επίσης ένα άλλο υπέρ της DAB τεχνολογίας έναντι των αναλογικών είναι η αποθήκευση των ραδιοφωνικών σταθμών κατά ονομασία κάτι που δεν επιτρέπουν όλοι οι FM δέκτες.

Οι DAB δέκτες έχουν την δυνατότητα να απεικονίζουν την ώρα, την ημέρα κωδικοποιημένες μέσα στις μεταδόσεις, επομένως διορθώνονται αυτομάτως όταν ταξιδεύουμε σε περιοχές όπου η ζώνη ώρας είναι διαφορετική καθώς επίσης και όταν αλλάζουμε σε ή από την θερινή ώρα. Βέβαια αυτό δεν εφαρμόζεται σε όλους τους δέκτες και σε μερικές περιπτώσεις η απεικόνιση της ώρας πραγματοποιείται όταν ο δέκτης βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

Μερικά ραδιόφωνα προσφέρουν και την δυνατότητα παύσης στις ζωντανές μεταδόσεις, που στην περίπτωση αυτή η μετάδοση αποθηκεύεται σε μια μνήμη προσωρινής αποθήκευσης μέχρι την επανέναρξη της από τον χρήστη – ακροατή. Παρόλα αυτά αυτή η λειτουργία είναι περιορισμένη.

• Περισσότεροι Σταθμοί:

Συγκριτικά με τις αναλογικές τεχνολογίες ως προς το εύρος ζώνης, με βάση τα προγράμματα ανά MHz (το λεγόμενο link spectral efficiency), το DAB δεν είναι περισσότερο αποδοτικό, αλλά καθίσταται λιγότερο επιρρεπές στις ομοκαναλικές παρεμβολές (cross talk), έτσι μπορούμε να επαναχρησιμοποιούμε το ίδιο κανάλι ραδιοσυχνότητας πιο πυκνά - συχνά. Για τα εθνικά και περιφερειακά ραδιοφωνικά δίκτυα, η απόδοση βελτιώνεται περισσότερο λόγω της χρήσης SFN δικτύου. Στην περίπτωση αυτή οι γειτονικοί πομποί χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα.



Σε ορισμένες περιοχές της υπαίθρου, κυρίως αγροτικές, η στροφή προς το DAB δίνει την δυνατότητα περισσότερων επιλογών περιεχομένου στους ακροατές. Τρανό παράδειγμα της δυνατότητας αυτής αποτελεί η εισαγωγή του DAB στην Νότια Νορβηγία τον Νοέμβριο του 2006 όπου οι διαθέσιμοι σταθμοί προς τους ακροατές αυξήθηκαν από τους 6 στους 21.

- **Ποιότητα λήψης**

Το DAB ενσωματώνει χαρακτηριστικά – δυνατότητες για την μείωση των αρνητικών αποτελεσμάτων που προκαλούν: η εξασθένηση λόγω πολυόδευσης και ο θόρυβος που υπεισέρχεται στο σήμα, προβλήματα δηλαδή που πλήττουν τα υπάρχοντα αναλογικά συστήματα.

Βάση της φύσης του DAB, δηλαδή της εκπομπής ψηφιακού ήχου, είναι απαλλαγμένο από το ενοχλητικό "σφύριγμα" που ακούμε στα αδύναμα σήματα των FM. Ωστόσο δέκτες στα όρια του DAB σήματος, μπορεί:

- είτε να αναπαράξουν στα ηχεία τους έναν ήχο, σαν κόχλασμα νερού (στα Αγγλικά "bubbling mud"), διακόπτοντας συχνά τον ήχο.
- Είτε να έχουν εντελώς αποκοπή του ήχου.

Επίσης λόγω της ευαισθησίας του DAB στο φαινόμενο της μετατόπισης Doppler σε συνδυασμό με την πολυόδευση, η εμβέλεια λήψης DAB σήματος μειώνεται όταν ταξιδεύουμε με ταχύτητες άνω των 120 έως 200 χλμ/ώρα, ανάλογα με τη φέρουσα συχνότητα.

- **Λιγότερες παρεμβολές από παράνομες εκπομπές ραδιοφωνικών σταθμών**

Η εξειδικευμένη φύση και το υψηλό κόστος για την αγορά του εξοπλισμού αποτελούν εμπόδια στους παράνομους σταθμούς για την στροφή προς την παροχή ψηφιακής εκπομπής σήματος DAB

Στις πόλεις (όπως το Λονδίνο που έχει μεγάλο αριθμό παράνομων ραδιοφωνικών σταθμών που εκπέμπουν στα FM) αυτό σημαίνει ότι κάποιοι σταθμοί μπορούν να ληφθούν αξιόπιστα μέσω των εκπομπών DAB όπου προηγουμένως ήταν δύσκολο έως αδύνατο να ληφθούν στα FM λόγω όλων των παράνομων ραδιοφωνικών παρεμβολών.

- **Μεταβλητό εύρος ζώνης**

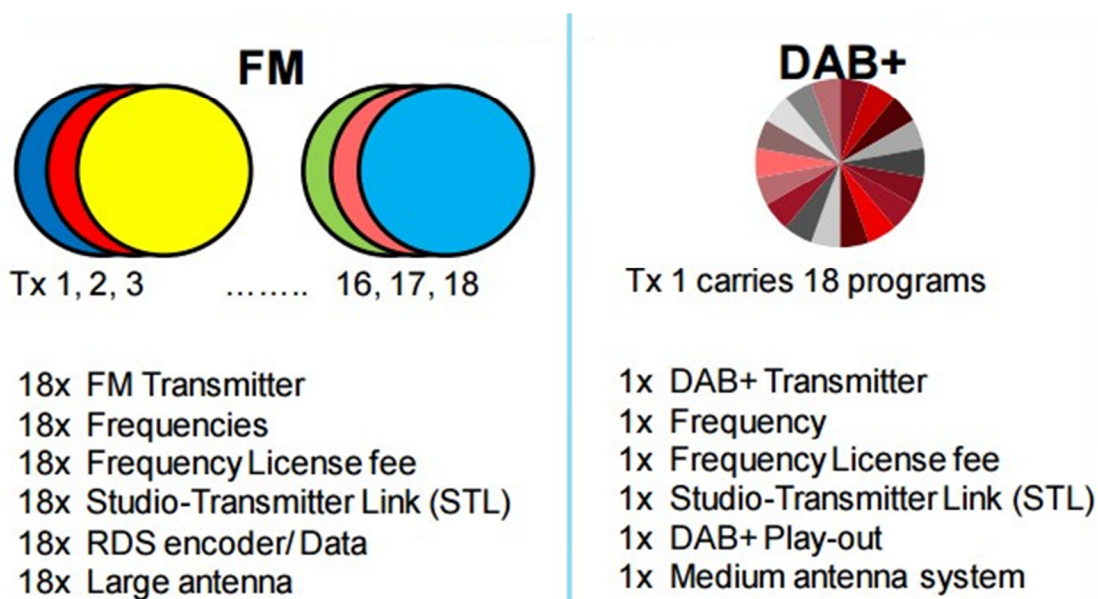
Πολλοί ραδιοφωνικοί σταθμοί με μη-μουσικό περιεχόμενο, όπως:

- μονοφωνικοί ραδιοφωνικών συνεντεύξεων,
- ειδησεογραφικοί
- και σταθμοί καιρού

απαιτούν σημαντικά χαμηλότερο εύρος ζώνης (bandwidth) σε σχέση με τους τυπικούς στερεοφωνικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς, επομένως η τεχνολογία DAB χειρίζεται τα προγράμματα αυτά σε χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (bit rates), αφήνοντας περισσότερο bandwidth για να χρησιμοποιηθεί από άλλα προγράμματα.

- **Κόστος εκπομπής**

Γενικά υπάρχει η πεποίθηση ότι το DAB είναι πιο ακριβό από ό, τι η μετάδοση στα FM και εν μέρει αποτελεί αλήθεια καθώς το DAB χρησιμοποιεί υψηλότερες συχνότητες από τα FM και ως εκ τούτου υπάρχει ανάγκη περισσότερων πομπών ή υψηλότερη ισχύ εκπομπής, ή ένας συνδυασμός ισχύς και πομπών, για να επιτευχθεί η ίδια κάλυψη περιοχής που πριν καλυπτόταν από σήμα FM. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική βελτίωση στην απόδοση της ισχύος των DAB-πομπών.



Η βελτίωση αυτή προέρχεται από την ικανότητα του DAB για μετάδοση περισσότερων καναλιών ανά δίκτυο. Κάθε δίκτυο μπορεί να μεταδώσει:

- 6 έως 10 κανάλια με MPEG audio codec ή
- 10 έως 16 κανάλια με HE AAC codec

Επομένως λόγω του ότι πολλοί σταθμοί (πάροχοι περιεχομένου) μοιράζονται την ίδια πολυπλεξία και το ίδιο κανάλι εκπομπής αυτομάτως το κόστος εκπομπής πέφτει κατακόρυφα για όλους. Μελέτες των Teracom και SSR/SRG μεταξύ άλλων δείχνουν ότι το κόστος εκπομπής είναι τόσο χαμηλό όσο το 1/6 του κόστους εκπομπής στα FM.

Στο σημείο αυτό όμως καθίσταται πρόβλημα να αναφερθούμε λίγο περισσότερο στα πλεονεκτήματα – οικονομικά οφέλη που επιφέρει η τεχνολογία του DAB στους παρόχους περιεχομένου σε σύγκριση με την αναλογική FM ραδιοφωνία. Για πρακτικούς λόγους θα θεωρήσουμε πως και τα δύο είδη δικτύων καλύπτουν την ίδια περιοχή και παρέχουν 18 ραδιοφωνικά προγράμματα

Οι κύριοι παράγοντες του κόστους λειτουργίας ενός ραδιοφώνου είναι:

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΕΙΔΟΣ ΕΞΟΔΩΝ
Κόστος εξοπλισμού	Κεφαλαιακά έξοδα
Ενέργεια	Λειτουργικά έξοδα
Ψύξη	
Απαιτούμενος χώρος	
Επισκευή & συντήρηση	
Τέλος αδείας & κόστος φάσματος	

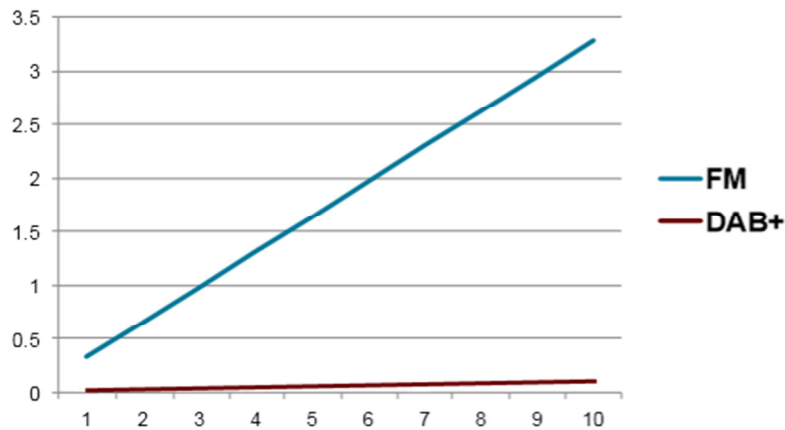
- Κόστος επένδυσης εξοπλισμού (Πομποί)

Transmitter	FM	DAB+
Ισχύς	10 kW peak	2,5 kW rms
Τιμή ανα πομπό	50.000 USD	80.000 USD
Αριθμός απαιτούμενων πομπών	18	1
Κόστος όλων των πομπών	900.000 USD	80.000 USD

από τον παραπάνω πίνακα αντιλαμβανόμαστε ότι η ισχύς που απαιτείτε για την κάλυψη της ίδιας περιοχής από την πλευρά του DAB απαιτείτε 7,5kW λιγότερη ισχύς ενώ το κόστος της επένδυσης στο οποίο θα πρέπει να προβεί ο πάροχος περιεχομένου είναι 11 φορές μικρότερο σε σχέση με την αναλογική FM τεχνολογία.

- Κόστος ενέργειας και κατανάλωση ενέργειας

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται το κόστος της ενέργειας που απαιτείτε για το DAB και το FM σε βάθος δεκαετίας,

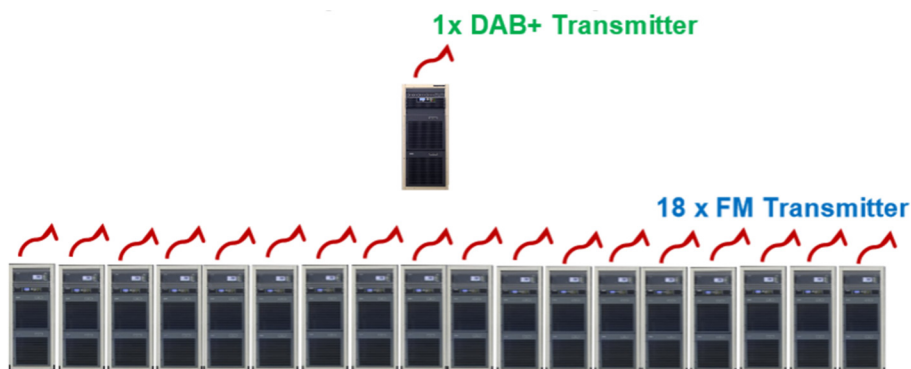


εάν θεωρήσουμε πως η τιμή της kW/h είναι 0,15 USD τότε αντιλαμβανόμαστε ότι με το DAB γίνεται μια εξοικονόμηση ενέργειας της τάξεως των 3.200.000 USD ενώ η κατανάλωση της ισχύος είναι 41 φορές λιγότερη σε σχέση με τα FM. Κάτι που μπορούμε εύκολα να εξάγουμε από τα παρακάτω στοιχεία:

Transmitter	FM	DAB+
Ισχύς	10 kW	2,5 kW rms
Αποδοτικότητα	72%	40%
Κατανάλωση ενέργειας ανά πομπό	13,9 kW	6,25 kW
Πλήθος πομπών	18	1
Απαιτούμενη ενέργ. όλων των πομπών	250 kW	6,25 kW
Ετήσιο κόστος ρεύματος	328.500 USD	8.000 USD

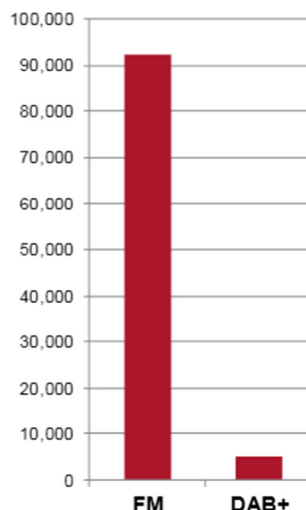
- **Κόστος ψύξης εξοπλισμού**

Το κόστος για την ψύξη του εξοπλισμού στο DAB είναι σαφώς μικρότερο καθώς όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και όπως ήδη έχουμε πει χρησιμοποιείτε 1 μόνο πομπός έναντι 18 πομπών στην αναλογική ραδιοφωνία.



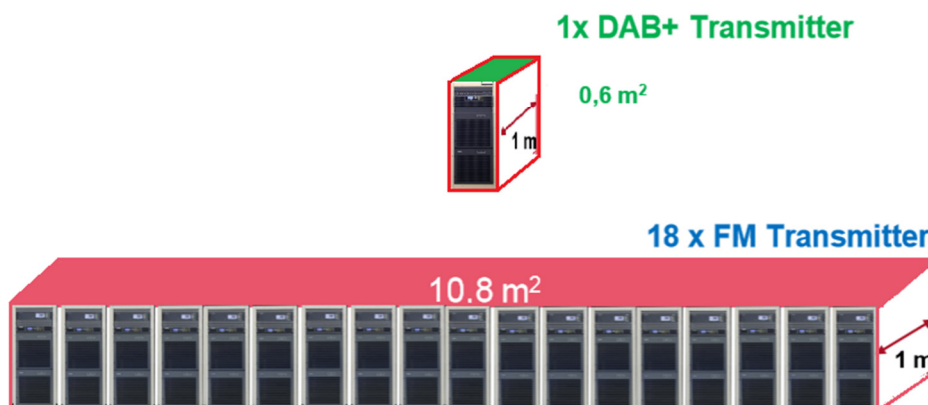
Αυτό σημαίνει πως η παραγόμενη θερμότητα (Διαχεόμενη ενέργεια) από τον εξοπλισμό είναι λιγότερη καθώς από τα 6,25 kW ενέργειας που απαιτούνται για την λειτουργία του DAB πομπού μόλις τα 3,75 kW χάνονται από την εξ' ορισμού μετατροπή τους σε παραγόμενη θερμοκρασία, απόρροια της λειτουργίας του πομπού. Βέβαια αν δούμε μεμονωμένα έναν πομπό FM σε σύγκριση με έναν DAB πομπό ο FM πομπός φαντάζει πιο αποδοτικός άρα και οικονομικότερος σε θέματα ψύξης όμως όπως είπαμε για την FM ραδιοφωνία χρειάζονται 18 πομποί που σημαίνει πως άμα πολλαπλασιάσουμε το ποσό της διαχεόμενης ενέργειας με τον αριθμό του συνόλου των πομπών θα δούμε ότι όχι μόνο δεν είναι πιο αποδοτικοί αλλά είναι και πιο πολυέξοδοι στην ψύξη τους, καθώς το κόστος ψύξης για τους FM πομπούς ανέρχεται στα 92.250 δολάρια τον χρόνο έναντι των 5.000 δολλαρίων που χρειάζεται ο ένας πομπός DAB.

Transmitter	FM	DAB+
Ισχύς	10 kW	2,5 kW rms
Κατανάλωση ενέργειας (rms)	13,9 kW	6,25 kW
Διαχεόμενη ενέργεια	3,9 kW	3,75 kW
Πλήθος Πομπών	18	1
Συνολική διαχεόμενη ενέργεια	70,2 kW	3,75 kW
Ετήσιο Κόστος	92.250 USD	5.000 USD



- Απαιτούμενος χώρος & κόστος χώρου για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Ένας ακόμη βασικός παράγοντας στο κόστος υλοποίησης είναι ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού όπως γίνεται ορατό και από την παρακάτω εικόνα ένας DAB πομπός είναι μόλις 0,6 m² που σημαίνει ότι χρειάζεται έναν πολύ μικρό χώρο για να στεγαστεί ενώ στα FM οι πομποί μονάχα χρειάζονται 10.8 m² έτσι το κόστος συντήρησης ή ενοικίασης ενός χώρου με το DAB καθιστάτε σαφώς μικρότερο.



Βέβαια όπως ο εξοπλισμός δεν σταματάει στους πομπούς συνεχίζει και στις κεραίες που απαιτούνται για την κάλυψη μιας περιοχής επομένως και εδώ γίνεται εξοικονόμηση χώρου καθώς για το DAB χρειαζόμαστε μια μόλις κεραία για να μεταδώσουμε 18 προγράμματα ενώ στα FM θέλουμε ξεχωριστή κεραία για κάθε πρόγραμμα.

Transmitter	FM			DAB+		
	Owned	Region site	Metro site	Owned	Region site	Metro site
Ετήσιο κόστος σε ,000s USD	5	35	75	5	35	75
Πλήθος Πομπών	18	18	18	1	1	1
Συνολικό ετήσιο κόστος σε ,000 USD	90	630	1,350	5	35	75

Επομένως το συγκριτικό κόστος για DAB και FM σε συνδυασμό του χώρου που απαιτείτε για τους πομπούς και της έκτασης που απαιτείτε για τις κεραίες διαμορφώνεται όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα και καθίσταται σαφές ότι για το DAB είναι 18 φορές μικρότερο σε σχέση με τα FM.

- **Επισκευή & συντήρηση**

Για την επισκευή και την συντήρηση του εξοπλισμού υπάρχουν μια σειρά από επιλογές και τρεις από αυτές είναι:

- Την διεξαγωγή των εργασιών μπορεί να την αναλάβει “εσωτερικό” προσωπικό το οποίο και διαθέτει ο πάροχος περιεχομένου και αποτελεί συχνή περίπτωση για τους εμπορικούς ραδιοτηλεοπτικούς φορείς.
- Για την συντήρηση και επισκευή των πολυπλεκτών συχνά χρησιμοποιούνται υπηρεσίες διαχείρισης.
- Ένα μείγμα των δύο παραπάνω επιλογών όπου ζητήματα λειτουργίας του σταθμού διαχειρίζονται από τον ίδιο τον πάροχο, αλλά η συντήρηση ή η επισκευή τους γίνεται από έναν συμβεβλημένο οργανισμό, αυτό συμβαίνει σε μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές εκπομπής, καθώς και απομακρυσμένες περιοχές.

Transmitter	FM			DAB+		
	Owned	Regional site	Metro site	Owned	Regional site	Metro site
Σύνολο εβδομάδων εργασίας ανά έτος	2			12		
Κόστος ανα έτος σε ,000s USD	5	5	5	50	50	50
Πλήθος πομπών	18			1		
Συν. κόστος ανά έτος ,000 USD	90	90	90	50	50	50

5.5 Μειονεκτήματα της τεχνολογίας DAB

- **Ποιότητα λήψης**

Η ποιότητα λήψης στο DAB μπορεί να είναι «φτωχή» ακόμα και για ανθρώπους που βρίσκονται αρκετά εντός της περιοχής κάλυψης. Ο λόγος για τον οποίο αποτελεί μια παλιά εκδοχή του DAB είναι γιατί χρησιμοποιεί μια σχετικά αδύναμη κωδικοποίηση σε ότι αφορά την διόρθωση σφαλμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όταν τα σωστά λαμβανόμενα δεδομένα δεν είναι αρκετά για να διορθώσουν τα λανθασμένα δεδομένα να προκύπτει, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, το ηχητικό φαινόμενο bubbling mud, επίσης σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να προκύψει ολική απώλεια του σήματος. Αυτή η κατάσταση είναι ανατρέψιμη με την νέα εκδοχή του DAB, την DAB+ η οποία

χρησιμοποιεί πολύ πιο ισχυρή κωδικοποίηση για την διόρθωση σφαλμάτων και βάσει αυτού κατασκευάζονται όλοι οι νέες τεχνολογίας πομποί.

- **Ποιότητα ήχου**

Οι πάροχοι περιεχομένου (Broadcasters) έχουν παραπονεθεί για το “στρίμωγμα” περισσότερων σταθμών ανά σύνολο (ensemble) πέραν του προτεινόμενου μειώνοντας τον ρυθμό μετάδοσης στο κατώτατο όριο αποδεκτότητας της ποιότητας του ήχου που οι ακροατές μπορούν να ανεχθούν.

Οι ρυθμοί μετάδοσης σε αυτή την περίπτωση φτάνουν:

- Τα 112 kbit/s για στερεοφωνικό περιεχόμενο
- Και τα 48 kbit/s για μονοφωνικό περιεχόμενο ομιλίας, όπως συμβαίνει στους σταθμούς LBC 1152 και Voice of Russia.

- **Καθυστέρηση σήματος**

Η φύση του SFN είναι τέτοια που απαιτείτε όλοι οι πομποί του δικτύου να μεταδίδουν το ίδιο σήμα την ίδια χρονική στιγμή. Για να επιτευχθεί αυτός ο συγχρονισμός ο πάροχος πρέπει να υπολογίσει – αντιμετωπίσει τις οποιεσδήποτε τυχόν διαφορές στο χρόνο μετάδοσης που προκύπτουν από τις διάφορες μεθόδους και αποστάσεις που εμπλέκονται στην μεταφορά του σήματος από τον πολυπλέκτη προς τους (διαφορετικούς) πομπούς.

Η αντιμετώπιση γίνεται εφικτή εφαρμόζοντας μια τεχνίτη καθυστέρηση, στο εισερχόμενο σήμα του πομπού, βάση μιας χρονικής σήμανσης (timestamp) που παράγεται στον πολυπλέκτη, η οποία δημιουργείται πάντα λαμβάνοντας υπόψη το μέγιστο πιθανό χρόνο διάδοσης με ένα γενναιόδωρο περιθώριο (margin) για λόγους ασφαλείας. Η παραπάνω καθυστέρηση μαζί με την καθυστέρηση της αποδιαμόρφωσης μπορούν να επιφέρουν 2 έως 4 δευτερόλεπτα (ανάλογα το κύκλωμα αποδιαμόρφωσης του δέκτη) συνολικής καθυστέρησης κάτι που γίνεται εύκολα αντιληπτό από τους ακροατές.

Επομένως όλα τα παραπάνω οδηγούν στα εξής επιμέρους μειονεκτήματα:

- Το DAB δεν αποτελεί την ιδανικότερη λύση για ζωντανές μεταδόσεις εκδηλώσεων (live events).
- Οι ακροατές που χρησιμοποιούν συνδυασμό αναλογικών (AM ή FM) και DAB ραδιοφώνων τείνουν στο να ακούν ένα συγκεχυμένο μείγμα του ίδιου περιεχομένου όταν βρίσκονται μεταξύ των διαφορετικών δεκτών.

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε πως η οποιαδήποτε καθυστέρηση του σήματος, δεν αποτελεί πρόβλημα για τα σήματα ώρας που λαμβάνει ο δέκτης, καθώς οι πληροφορίες ώρας δεν είναι ενσωματωμένες στα πλαίσια ήχου. Επομένως είναι απαλλαγμένες από την πιθανώς μεταβαλλόμενη καθυστέρηση της αποκωδικοποίησης του ήχου από τους δέκτες. Έτσι τα ρολόγια των δεκτών είναι πάντα σωστά ενημερωμένα.

- **Συμβατότητα**

Πηγαίνοντας λίγο πίσω στο έτος 2006 έχουμε κάποιες δοκιμές οι οποίες ξεκίνησαν και χρησιμοποιούσαν τον κατά πολύ βελτιωμένο κωδικοποιητή HE-AAC για το DAB+. Στην πραγματικότητα κανένας από τους δέκτες που παρήχθησαν πριν το 2008 δεν υποστήριξε τον καινούριο κωδικοποιητή, ωστόσο αυτό τους καθιστά ξεπερασμένους την στιγμή που οι μεταδόσεις του DAB+ ξεκινούν να ξεπερνούν κατά πολύ τους παλιούς MPEG-1 Layer 2 σταθμούς οι οποίοι είναι ανενεργοί. Οι νέοι δέκτες είναι συμβατοί και με το πρότυπο DAB αλλά και το DAB+, ωστόσο το ζήτημα που προκύπτει από μερικούς κατασκευαστές είναι ότι απενεργοποιούν μερικές από τις δυνατότητες του DAB+ για ραδιοφωνικούς σταθμούς όπου στη χώρα που βρίσκονται δεν υποστηρίζονται ακόμα DAB+ μεταδόσεις με σκοπό την εξοικονόμηση των τελών άδειας αγοράς εξοπλισμού.

- **Ενεργειακές απαιτήσεις**

Όσο το DAB απαιτεί τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας σήματος ώστε να μετατρέψει το ψηφιακά κωδικοποιημένο ληφθέν σήμα σε αναλογική ακουστική μορφή, η πολυπλοκότητα του ηλεκτρονικού κυκλώματος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί επιτυχώς αυτή η λειτουργία είναι αυξημένη. Αυτό με άλλα λόγια σημαίνει ότι χρειάζεται περισσότερη ενέργεια προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η μετατροπή συγκριτικά με την μετατροπή του ήχου σε αναλογικό FM. Αυτό σημαίνει ότι οι κινητές μονάδες λήψης τείνουν να έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας ή να απαιτούν περισσότερη ενέργεια (κατά συνέπεια περισσότερος όγκος). Σαν αποτέλεσμα έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας συγκριτικά με την αναλογική Band II των δεκτών VHF.

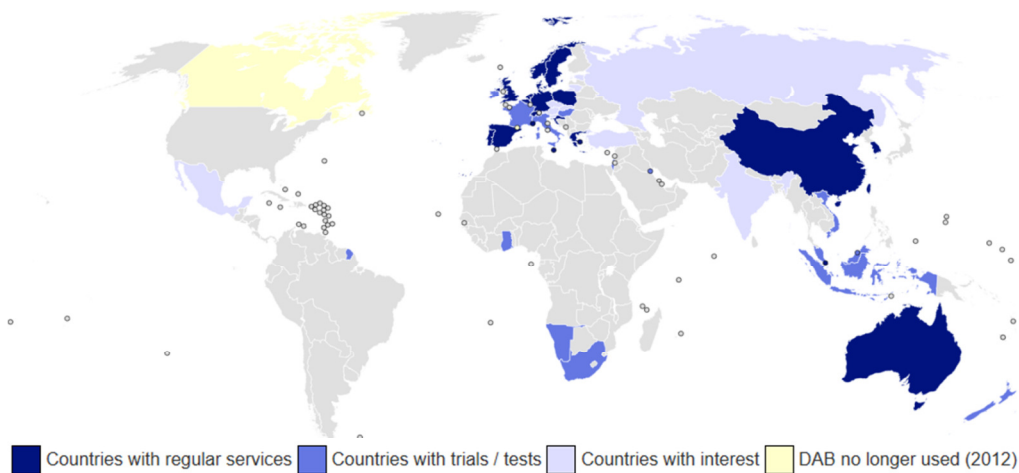
Ως ένδειξη αυτής της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης, μερικοί κατασκευαστές ραδιοφώνων παρατείνουν την διάρκεια που οι δέκτες τους μπορούν να λειτουργούν με μια μόνο φόρτιση. Έχοντας σαν παράδειγμα έναν συνηθισμένο δέκτη FM/DAB από τον κατασκευαστή με την επωνυμία PURE, αναφέρουν ενδεικτικά ότι η διάρκεια

λειτουργίας στους δέκτες τους, για DAB φτάνει τις 10 ώρες ενώ για FM τις 22 ώρες.

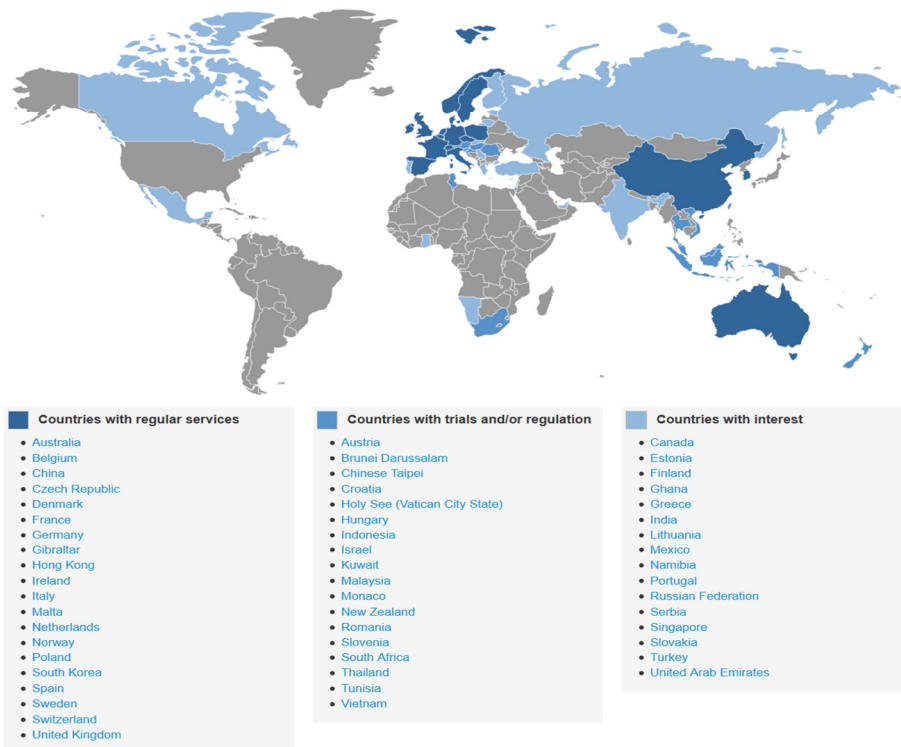
- **Κάλυψη και ποσοστά χρήσης DAB/DAB+**

Καθώς το DAB είναι σε σχετικά ακόμη πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, η κάλυψη με DAB σήμα είναι φτωχή σε όλες σχεδόν τις χώρες σε σύγκριση με την υψηλή πληθυσμιακή κάλυψη που παρέχεται από τα FM.

Μια εξαίρεση αποτελεί η Νορβηγία, καθώς έχει κάλυψη DAB στο 99,5% από τα τέλη του 2014.



Χάρτης παγκόσμιας κάλυψης DAB (2013)



Χάρτης παγκόσμιας κάλυψης DAB (2014)

Κεφάλαιο 6

6.1 Πτυχές του συστήματος DAB

Υπάρχουν δύο πτυχές του συστήματος DAB οι οποίες συνδυάζονται για να σχηματιστεί αυτό το σύστημα μετάδοσης υψηλής ποιότητας, ο ένας είναι ο μηχανισμός με τον οποίο κωδικοποιείται το ψηφιακό περιεχόμενο και ο δεύτερος είναι εκείνος με τον οποίο μεταδίδονται αυτά τα κωδικοποιημένα δεδομένα.

Το σύστημα χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνικές ψηφιακής κωδικοποίησης για να αφαιρεθούν οι περιττές πληροφορίες από τα πηγαία σήματα οι οποίες γίνονται αντιληπτές. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ελεγχόμενος πλεονασμός σε κάθε ένα από τα ψηφιακά πηγαία σήματα υπό τη μορφή κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων και χρησιμοποιείται από το δέκτη. Αρκετά τέτοια σήματα συνδυάζονται σε μια ενιαία πολυπλεξία. Περαιτέρω αξιοπιστία επιτυγχάνεται με τη χρήση παρεμβολής χρόνου (time interleaving).

Οι πληροφορίες που μεταδίδονται διαδίδονται στο πεδίο της συχνότητας, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα διαμόρφωσης πολλαπλού φορέα (COFDM, βλέπε υποενότητα 6.1.2). Η COFDM επιτρέπει στο σύστημα T-DAB να εκμεταλλευτεί τα πολλαπλά λαμβανόμενα σήματα μέσω ενός «διαστήματος προστασίας», το οποίο με την σειρά του επιτρέπει τη λήψη σε ένα περιβάλλον πολυόδευσης και την εφαρμογή των SFN δικτύων.

Με τη χρήση αυτών των τεχνικών, μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα, κινητής, φορητής και σταθερής λήψης σε συνθήκες όπου η διάδοση με χρήση πολυόδευσης γίνεται σε αυστηρά πλαίσια. Επιπλέον η αποτελεσματική χρήση του φάσματος επιτυγχάνεται με την χρήση των δικτύων SFN.

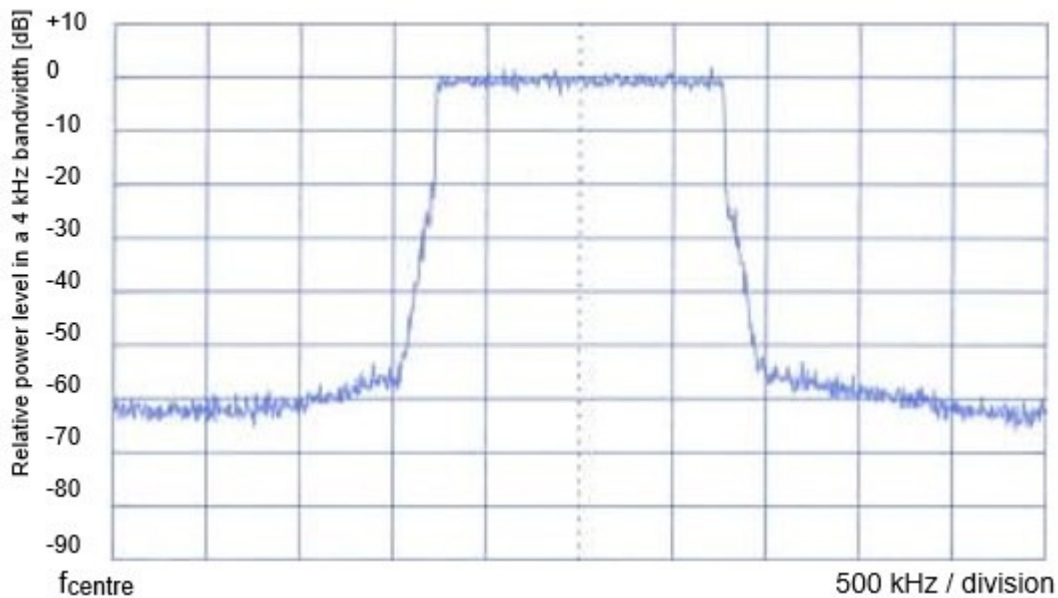
Στις ακόλουθες ενότητες συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος που είναι σημαντικά κατά το σχεδιασμό.

6.1.1 Κωδικοποιημένη ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (COFDM)

Το σύστημα T-DAB έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ανθεκτική ψηφιακή μετάδοση ήχου χρησιμοποιώντας ρυθμούς bit μεταξύ 8 και 320 Kbits/sec. Υπό ακραίες συνθήκες πολυόδευσης όπως περιβάλλον φορητής και κινητής λήψης παρουσιάζεται επιλεκτική εξασθένιση. Ένα σύστημα ευρείας ζώνης χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων που

προκαλούνται από αυτή την εξασθένιση. Στην περίπτωση του T-DAB το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι περίπου 1,5 MHz όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.1.1 παρακάτω.

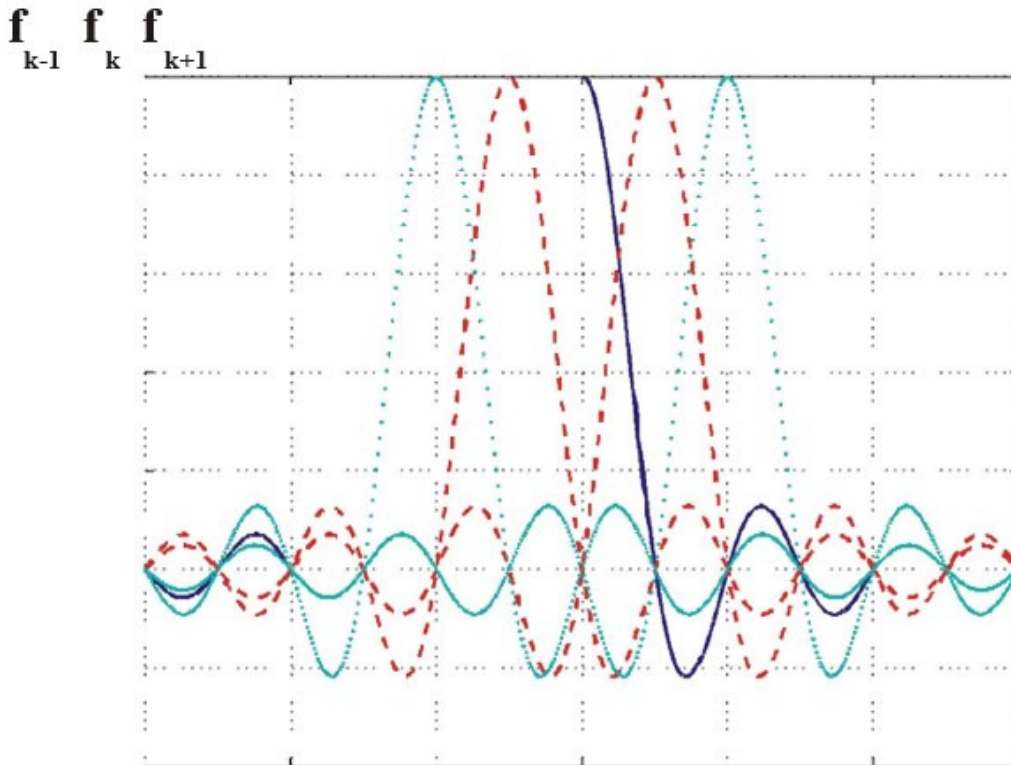
Η ωφέλιμη χωρητικότητα του καναλιού T-DAB είναι περίπου 1,2 Mbits/sec με βάση το επίπεδο προστασίας, όπως αυτό χρησιμοποιείται κατά τον σχεδιασμό. Αυτή η χωρητικότητα χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μιας πολυπλεξίας που περιέχει διάφορες υπηρεσίες.



Εικόνα 6.1.1: Τυπικό φάσμα RF ενός σήματος DAB

Ένας τρόπος για την παροχή ανθεκτικής μετάδοσης είναι η χρήση ενός συστήματος πολλαπλού φορέα όπως η COFDM. Τα βασικά χαρακτηριστικά που κάνουν την COFDM να λειτουργεί με τρόπο κατάλληλο για τα επίγεια κανάλια περιλαμβάνουν τα εξής:

- Χρήση παρεμβολής χρόνου ή συχνότητας (time and frequency interleaving) καθώς και η χρήση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων (το "C" στην COFDM).
- Ορθογωνικότητα φέρουσας (το "O" στην COFDM, βλέπε εικόνα 6.1.2 παρακάτω) που επιτυγχάνεται με την μαθηματική σύνδεση του διαχωρισμού φέρουσας (f) και χρήσιμη διάρκεια συμβόλου (TU), δηλαδή $f = 1/TU$
- Χρήση διαστήματος προστασίας για τη μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI - inter-symbol interference).



Εικόνα 6.1.2: Σχηματική αναπαράσταση ορθογωνιότητας φορέων σε ένα σήμα COFDM

Το T-DAB χρησιμοποιεί QPSK διαμόρφωση των επιμέρους φορέων ακολουθούμενη από διαφορική αποδιαμόρφωση στο δέκτη. Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση επιτυγχάνεται με IFFT και FFT αντίστοιχα.

6.1.2 Τρόποι μετάδοσης

Το σύστημα DAB έχει τέσσερις εναλλακτικούς τρόπους που επιτρέπουν την χρήση ενός εύρους φάσματος μετάδοσης συχνοτήτων έως 3 GHz. Αυτοί οι τρόποι μετάδοσης έχουν σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση του φαινομένου Doppler και την εξάπλωση της καθυστέρησης, κατά την λήψη σήματος από κινητές συσκευές με παρουσία του φαινομένου ηχούς λόγω πολυόδευσης (παθητική πολυόδευση) και της ηχούς που δημιουργείται από τα γειτονικά κανάλια των μηχανισμών πλήρωσης κενών ή από τους πομπούς σε ένα δίκτυο ενιαίας συχνότητας.

Ο πίνακας 2.1 περιέχει μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά για τους τέσσερις τρόπους μετάδοσης (Modes) του DAB.

Mode I Είναι ο πιο κατάλληλος για τα δίκτυα SFN στην περιοχή των VHF συχνοτήτων διότι επιτρέπει τις μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των πομπών όπως επίσης παρέχει και το μεγαλύτερο διάστημα ασφαλείας (guard interval).

Mode II Είναι ο πιο κατάλληλος για τις τοπικές ραδιοφωνικές εφαρμογές που απαιτούν έναν επίγειο πομπό και υβριδική (δορυφορικά / επίγεια) μετάδοση μέχρι 1.5 GHz. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ένα μικρό ή μεσαίο SFN

δίκτυο στην συχνότητα του 1,5 GHz.

Mode III Είναι η πλέον κατάλληλη για τη δορυφορική και επίγεια συμπληρωματική μετάδοση σε όλες τις συχνότητες έως 3 GHz. Το Mode III επίσης προτιμάται για καλωδιακή μετάδοση μέχρι και 3 GHz.

Mode IV, ένα νέο μοντέλο, που γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των Mode I και Mode II, το οποίο έχει βελτιστοποιηθεί κατάλληλα για λειτουργία στην περιοχή του 1,5 GHz, στο οποίο προστέθηκαν τιμές κλειδιά σε δυαδική σχέση με τους προηγούμενους υλοποιημένους τρόπους μετάδοσης. Αυτή η λειτουργία παρέχει για μία περισσότερο εποικοδομητική καθυστέρηση της ηχούς για την ευκολότερη υλοποίηση του SFN, διατηρώντας παράλληλα την επίδραση της εξάπλωσης Doppler εντός λογικών ορίων για οχήματα με υψηλή ταχύτητα κίνησης.

	Mode I	Mode IV	Mode II	Mode III
Τυπική χρήση	Επίγειο VHF	Επίγειο L-Band σε αστική χρήση	Επίγειο L-Band	Δορυφορικό L-Band
Αριθμός φερουσών n	1536	768	384	192
Διάστημα φέρουσας κατα προσέγγιση Δf	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Διάρκεια χρήσιμων συμβόλων T_u	1 msec	500 μ sec	250 μ sec	125 μ sec
Διάστημα προστασίας Δ	246 μ sec	123 μ sec	62 μ sec	31 μ sec
Συνολική διάρκεια συμβόλων $T_s = T_u + \Delta$	1246 μ sec	623 μ sec	312 μ sec	156 μ sec
Μέγ. Ταχύτητα (κινητή λήψη) στα VHF V_{max}	260/390 km/h	520/780 km/h	n.a	n.a
Μέγ. Ταχύτητα (κινητή λήψη) στα L-Band V_{max}	40/60 km/h	80/120 km/h	160/240 km/h	320/480 km/h

Πίνακας 2: Βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων τρόπων στην DAB μετάδοση

Για την μέγιστη ταχύτητα κίνησης δίνονται δύο τιμές: Η πρώτη εφαρμόζεται στις αστικές περιοχές και στις περιοχές των προαστίων, ενώ η δεύτερη εφαρμόζεται στις αγροτικές και υπαίθριες περιοχές.

6.1.3 Επίπεδα προστασίας

Η Συνελικτική κωδικοποίηση εφαρμόζεται σε καθεμιά από τις πηγές δεδομένων που τροφοδοτούν την πολυπλεξία για την διασφάλιση της αξιόπιστης λήψης. Η διαδικασία κωδικοποίησης περιλαμβάνει την σκόπιμη προσθήκη πλεονασμού στις ριπές των πηγαίων δεδομένων. Στην βασική προδιαγραφή του ETSI για το σύστημα DAB υπάρχουν πέντε επίπεδα προστασίας για τον ήχο (με το forward error correction (ρυθμός κώδικα) να

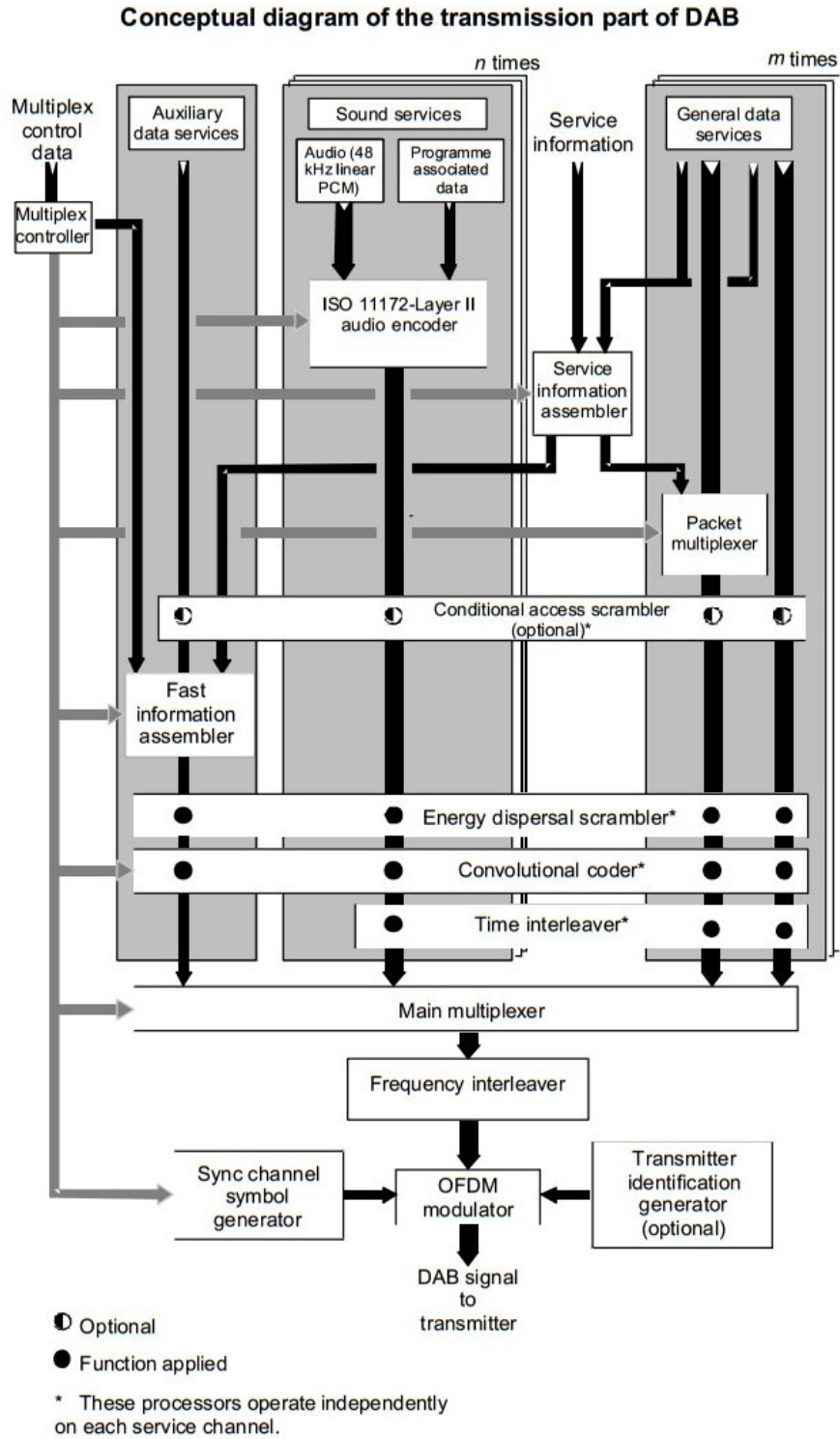
κυμαίνεται από $1/3$ έως $3/4$) και άλλα οκτώ επίπεδα προστασίας είναι διαθέσιμα για τις υπηρεσίες δεδομένων με την χρήση διάτρητης συνελικτικής κωδικοποίησης (punctured convolutional coding).

Στην περίπτωση των ηχητικών σημάτων παρέχεται μεγαλύτερη προστασία σε ορισμένα από τα κωδικοποιημένα πηγαία bits σε σχέση με άλλα.

Ακολουθώντας ένα προεπιλεγμένο μοτίβο γνωστό ως UEP (Unequal Error Protection). Το μέσο ποσοστό του κώδικα που ορίζεται ως ο λόγος των πηγαίων κωδικοποιημένων bits προς τον αριθμό των κωδικοποιημένων bits μετά την συνελικτική κωδικοποίηση, μπορεί να λάβει μια τιμή από το $1/3$ (υψηλότερο επίπεδο προστασίας, δίνοντας έτσι μια λιγότερο ωφέλιμη χωρητικότητα δεδομένων) στα $3/4$ (δηλαδή το χαμηλότερο επίπεδο προστασίας που παρέχεται για την υψηλότερη χωρητικότητα δεδομένων). Διαφορετικοί μέσοι ρυθμοί κώδικα μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές πηγές ήχου, γεγονός όμως που υπόκειται στο απαιτούμενο επίπεδο προστασίας και τον ρυθμό μετάδοσης των bit των κωδικοποιημένων πηγαίων δεδομένων. Για παράδειγμα, το επίπεδο προστασίας των υπηρεσιών ήχου που μεταδίδονται μέσω ενσύρματων δικτύων μπορεί να είναι χαμηλότερο από εκείνο το επίπεδο προστασίας των υπηρεσιών που μεταδίδονται μέσω καναλιών ραδιοσυχνότητας (ασύρματα δίκτυα).

Γενικά οι υπηρεσίες δεδομένων κωδικοποιούνται συνελικτικά χρησιμοποιώντας μια από τις διαθέσιμες επιλογές των ενιαίων συντελεστών. Τα δεδομένα στο FIC (Fast Information Channel) κωδικοποιούνται με ένα σταθερό ρυθμό $1/3$. Στην εικόνα 6.1.3 δίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διαδικασίας κωδικοποίησης.

Λόγω διαφορετικών τμημάτων της ροής δεδομένων για κάθε υπηρεσία προγράμματος υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα προστασίας και ως εκ τούτου απαιτούν διαφορετικούς ρυθμούς κώδικα επομένως δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί με ακρίβεια το συνολικό ποσοστό κώδικα για κάθε υπηρεσία προγράμματος ή για τη συνολική πολυπλεξία των υπηρεσιών προγραμμάτων και δεδομένων. Ο ρυθμός του κώδικα εξαρτάται κατά συνέπεια από το ρυθμό δεδομένων που χρησιμοποιείται για κάθε υπηρεσία προγράμματος (ή υπηρεσία δεδομένων).



Εικόνα 6.1.3: Απλοποιημένο μπλόκ διάγραμμα ενός κωδικοποιητή DAB

6.1.4 Τιμές λόγου σήματος προς θόρυβο και χρήσιμοι ρυθμοί μετάδοσης κατά προσέγγιση

Για ένα Γκαουσιανό κανάλι απαιτείται λόγος σήματος προς θόρυβο (C/N) με τιμή 7.4 dB και για τους τέσσερις τρόπους μετάδοσης με σκοπό να επιτευχθεί BER (Bit Error Rate) του 1×10^{-4} μετά την αποκωδικοποίηση με την χρήση αλγόριθμου Viterbi. Ο συγκεκριμένος λόγος σήματος προς θόρυβο του επιπέδου 3 όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα 3 χρησιμοποιείται στην υποενότητα 6.1.6 για τον υπολογισμό του ελάχιστου σήματος εισόδου στο δέκτη.

Με σκοπό να παρασχεθεί μια επισκόπηση για τις τιμές του λόγου σήματος προς θόρυβο για τα διαφορετικά επίπεδα προστασίας σε διαφορετικά κανάλια μετάδοσης, οι τιμές που εμφανίζονται στον πίνακα 3 έχουν καθοριστεί με βάση τις αντίστοιχες τιμές που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό DVB-T.

Επίπεδο προστασίας	Αντίστοιχος ρυθμός κωδικοποίησης κατά προσέγγιση	C/N (dB) για BER 1×10^{-4} μετά από Viterbi			Ρυθμός μετάδοσης κατά προσέγγιση (MBit/s)
		Κανάλι Gauss	Κανάλι Rice	Κανάλι Rayleigh	
1	0.34	5.9	7.1	12.1	0.78
2	0.43	6.7	8.0	12.6	0.99
3	0.50	7.4	8.8	13.3	1.15
4	0.60	8.4	10.0	14.9	1.38
5	0.75	10.2	12.0	18.6	1.73

Πίνακας 3: Εκτιμώμενες αναλογίες του λόγου σήματος προς θόρυβο (C/N) για την Band III, με βάση τα δεδομένα για σχεδιασμό DVB-T και ένα μεταβλητό περιθώριο υλοποίησης.

Θα πρέπει ωστόσο να τονιστεί ότι οι διαφορές μεταξύ των τιμών του λόγου σήματος προς θόρυβο των διάφορων επιπέδων προστασίας δεν είναι σταθερές. Γίνονται μεγαλύτερες όταν η μετάδοση στο κανάλι γίνεται πιο δύσκολη. Για παράδειγμα το επίπεδο προστασίας 5 δεν αντιπροσωπεύει επακριβώς την περίπτωση χειρότερης κατάστασης (worst case scenario) για την κάλυψη κινητών συσκευών λήψης που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα, που αναφέραμε παραπάνω.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3 υπάρχει ένα μικρό πλεονέκτημα στην επιλογή ενός χαμηλότερου επιπέδου προστασίας από το επίπεδο 3 (προσφέρει υψηλότερη προστασία). Ωστόσο η απαιτούμενη αναλογία του λόγου σήματος προς θόρυβο αυξάνεται σημαντικά εάν επιλεγεί ένα υψηλότερο επίπεδο προστασίας (παρέχεται κατώτερη προστασία).

Αν και το DAB αρχικά σχεδιάστηκε για λειτουργία σε περιβάλλον με

κινητικότητα όπου το Rayleigh channel είναι κατάλληλο, στις περιπτώσεις όμως αυξημένης χρήσης το Ricean κανάλι είναι πιο κατάλληλο όπου απαιτείται η χρήση σταθερών κεραιών. Κατά συνέπεια ο απαιτούμενος λόγος σήματος προς θόρυβο είναι χαμηλότερος για την λήψη από σταθερές κεραιές σε σχέση με την λήψη σήματος από κινητές / φορητές συσκευές.

6.1.5 Ελάχιστη τάση εισόδου στο δέκτη

Η ελάχιστη τάση εισόδου στο δέκτη καθορίζεται από το εύρος και το επίπεδο θορύβου του δέκτη. Το εύρος τείνει να είναι ίσο με το εύρος του σήματος ήτοι 1536 MHz.

Στον πίνακα 4 παρακάτω η ελάχιστη τάση εισόδου προέρχεται από δύο συχνότητες, αντιπροσωπευτικές για την Band III και το εύρος στο 1,5 GHz. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται και στην παράγραφο 5 και 6 και εξάγονται η συνοχή της ελάχιστης ροής ισχύος (minimum power flux densities) και οι τιμές της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης πεδίου αντίστοιχα για τις δυο φασματικές περιοχές (μπάντες) συχνοτήτων.

Παραγωγή της ελάχιστης ισοδύναμης τάσης εισόδου του δέκτη			
Συχνότητα (Band III και 1.5 GHz)	f (MHz)	200	1470
Ισοδύναμο εύρος θορύβου στον δέκτη	B (Hz)	$1.536 \cdot 10^6$	$1.536 \cdot 10^6$
Τιμή θορύβου στο δέκτη	F (dB)	7	6
Ισχύς θορύβου στην είσοδο του δέκτη	P_n (dBW)	-135.1	-136.1
RF S/N ratio (Κανάλι Gauss)	C/N (dB)	7.4	7.4
Ελάχιστη τάση εισόδου στο δέκτη	P_{smin} (dBW)	-127.4	-128.4
Ελάχιστη ισοδύναμη τάση εισόδου στο δέκτη, 75 ohm	U_{smin} (dBμV)	11	10

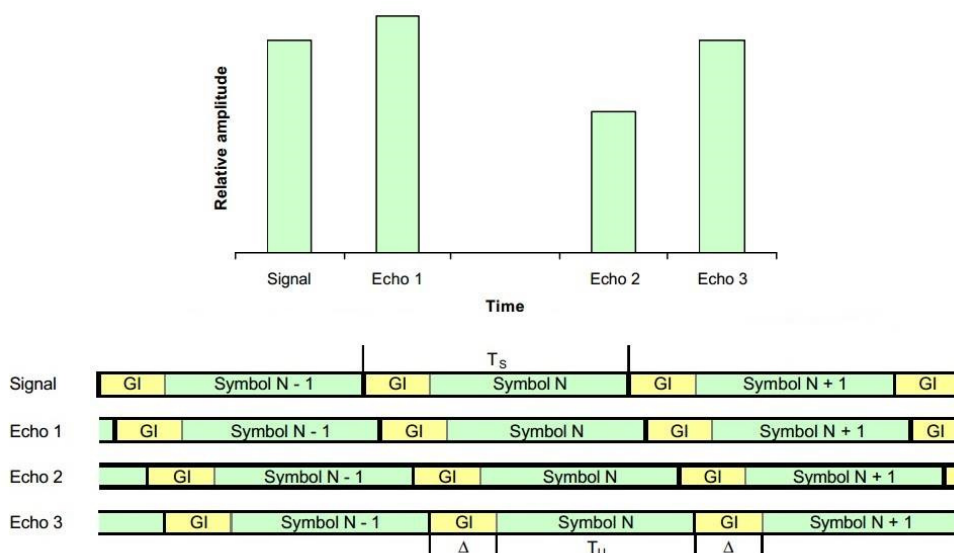
Πίνακας 4: Παραγωγή της ελάχιστης ισοδύναμης τάσης εισόδου στο δέκτη

6.1.6 Πιθανότητα πολυόδευσης, διάστημα προστασίας και διασυμβολική παρεμβολή

Το T-DAB σχεδιάστηκε για την αντιμετώπιση των καθυστερημένων σημάτων σε περιβάλλον πολυόδευσης. Από την οπτική γωνία της επεξεργασίας σήματος στον δέκτη, ένα πολυοδευμένο σήμα είναι δυσδιάκριτο από ένα άλλο επίσης καθυστερημένο σήμα που μεταφέρει ακριβώς την ίδια πληροφορία. Η ικανότητα του DAB συστήματος να διαχειρίζεται καθυστερημένα σήματα,

επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός διαστήματος προστασίας με διάρκεια Δ μs μέσα στο πεδίο του χρόνου. Υπό την προϋπόθεση ότι ο μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης, λόγω της πολυόδευσης, δεν υπερβαίνει σημαντικά το διάστημα προστασίας, επομένως τότε και μόνον τότε όλες οι συνιστώσες του σήματος προστίθενται εποικοδομητικά (βλέπε εικόνα 6.1.4).

Το διάστημα προστασίας αποτελεί μέρος του εκπεμπόμενου σήματος. Ορίζεται ως το πρώτο μέρος ενός συμβόλου και δεν περιέχει πληροφορίες διαφορετικές από το σύμβολο που αποτελεί μέρος αυτού. Από την πλευρά του πομπού το διάστημα προστασίας περιλαμβάνει τον χρόνο που απαιτείται από τις επιμέρους διαμορφωμένες QPSK φέρουσες για τη σταθεροποίηση με τη φάση στην οποία αντιστοιχεί στο νέο εκπεμπόμενο σύμβολο. Επίσης στην πλευρά του δέκτη το διάστημα προστασίας χρησιμοποιείται προκειμένου να μειωθεί η διασυμβολική παρεμβολή (ISI) στην περίπτωση που λαμβάνονται περισσότερα του ενός σήματα.



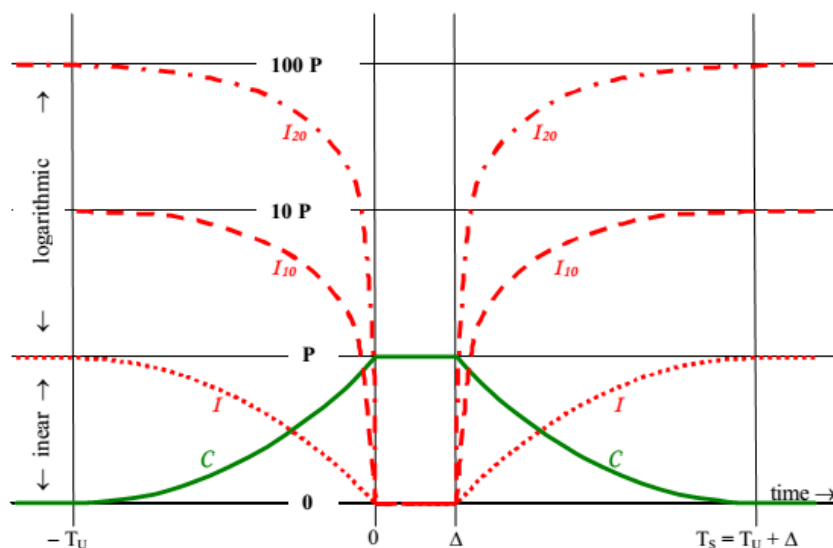
Εικόνα 6.1.4: α) Σχετικός χρόνος και πλάτος των σημάτων που χρησιμοποιούνται και στην συνέχεια β) παράσταση της εποικοδομητικής συμβολής των σημάτων σε ένα περιβάλλον πολλαπλών διαδρομών ή σε ένα SFN

Στην παραπάνω εικόνα 6.1.4 απεικονίζεται μια κατάσταση κατά την οποία λαμβάνονται ένα κύριο και τρία ανακλώμενα σήματα. Στο παράδειγμα αυτό το κύριο σήμα έχει χαμηλότερη στάθμη σε σχέση με το πρώτο ανακλώμενο σήμα ενώ παράλληλα διακρίνονται η διάρκεια ενός OFDM συμβόλου T_s , το χρήσιμο μήκος συμβόλου T_u καθώς και το διάστημα προστασίας.

Καθώς οι χρόνοι καθυστέρησης αυξάνονται πέραν του διαστήματος προστασίας, η εποικοδομητική επίδραση των πολυοδευμένων σημάτων στην απολαβή σήματος μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση των παρεμβολών. Στην πράξη, τα σήματα που φθάνουν στο DAB δέκτη θα συμβάλλουν θετικά ή αρνητικά στη συνολική απόδοση του συστήματος σε

βαθμό ανάλογο ο οποίος καθορίζεται από το πλάτος και την καθυστέρηση τους σε σχέση με την αρχική θέση του παραθύρου FFT στον δέκτη. (βλέπε εικόνα 6.1.5).

Στην εικόνα 6.1.5 απεικονίζονται οι λειτουργίες στάθμισης για τις επιθυμητές και παρεμβαλλόμενες συνιστώσες του σήματος. Το αποτέλεσμα της παρεμβολής ακόμη και των σημάτων που συνεισφέρουν εποικοδομητικά είναι παρόμοιο με την επίδραση του θορύβου ή της παρεμβολής από έναν co-block T-DAB πομπό που μεταδίδει διαφορετικές πληροφορίες.



Εικόνα 6.1.5: Δυο συνιστώσες της επιθυμητής λαμβανόμενης ισχύος (P), (C) είναι η ωφέλιμη ισχύς, (I) είναι η αυτο-παρεμβαλλόμενη ισχύς, I_{10} (I_{20}) είναι η ισοδύναμη δυναμική αυτο-παρεμβολή του (ή 20dB) με λόγο προστασίας 10dB

- $-\infty < t < -T_u$: $f(t) = 0$
- $-T_u < t < 0$: $f(t) = \{(T_u + t) / T_u\}^2$
- $0 < t < ?$: $f(t) = 1$
- $? < t < T_s$: $f(t) = \{(T_s - t) / T_u\}^2$
- $T_s < t < \infty$: $f(t) = 0$
- $C = P \cdot f(t)$
- $I = P - C$
- $I_{10} = 10 \cdot I$ (πχ 10dB αύξηση εξαιτίας λόγου προστασίας στα 10dB)
- $I_{20} = 100 \cdot I$ (πχ 20dB αύξηση εξαιτίας λόγου προστασίας στα 20dB)

Όπου:

- t : Ο χρόνος άφιξης του σήματος
- T_u : Ο χρόνος των χρήσιμων συμβόλων
- T_s : Η συνολική διάρκεια των συμβόλων
- $?$: Το διάστημα προστασίας
- P : Η ισχύς του ληφθέντος σήματος

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο καμπύλες (I_{10} και I_{20}) στην εικόνα 6.1.5 την συνάρτηση του δείκτη προστασίας τις άμεσες και σοβαρές επιπτώσεις –

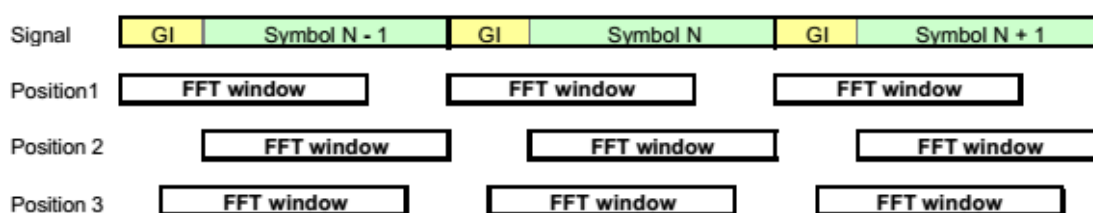
συνέπειες της αυτό-παρεμβολής ως αποτέλεσμα της υπέρβασης του διαστήματος προστασίας σε ένα SFN.

6.1.7 Συγχρονισμός παραθύρου FFT (Fast Fourier Transform)

❖ Γενικά

Το σήμα DAB προσφέρει δύο κύριους μηχανισμούς για τον συγχρονισμό παραθύρου - ένα κενό σύμβολο για “χοντρικό” συγχρονισμό και ένα σύμβολο αναφοράς φάση (PRS) για την εξομάλυνση του συγχρονισμού ως προς την συχνότητα και τον χρόνο. Το PRS επιτρέπει τον υπολογισμό της κρουστικής απόκρισης διαύλου εντός του δέκτη. Αυτή η κρουστική απόκριση εμφανίζει μια σειρά από κορυφές που αντιστοιχούν στους πομπούς και τα πολυδευμένα σήματα που συμβάλλουν θετικά σε διάφορα επίπεδα και χρόνους (βλέπε εικόνα 6.1.4(α)). Οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τον δέκτη καθορίζουν ποια κορυφή της κρουστικής απόκρισης θα χρησιμοποιεί ο δέκτης για τον συγχρονισμό, καθώς και σε ποιο σημείο ο δέκτης θα τοποθετήσει το FFT παράθυρο σε σχέση με αυτή την κορυφή.

Περιβάλλον ενιαίου σήματος (single signal):



Εικόνα 6.1.6: Σύμβολα DAB και πιθανές θέσεις παραθύρου FFT σε περιβάλλον ενιαίου σήματος

Το παράθυρο FFT μπορεί να τοποθετηθεί δίπλα στο προηγούμενο σύμβολο (1), ή δίπλα στο ακόλουθο σύμβολο (2) ή μέσα στο σύμβολο (3). Στην περίπτωση 1 και 3, ορισμένα δειγματοληπτικά στοιχεία του σήματος από το παράθυρο FFT προέρχονται από το διάστημα προστασίας. Στην περίπτωση 2, κανένα στοιχείο του σήματος δεν προέρχεται από το διάστημα προστασίας. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία ευδιάκριτη διαφορά μεταξύ αυτών των στρατηγικών για την περίπτωση ενός μόνο σήματος, σε ένα ανόθευτο περιβάλλον (undistorted environment).

Περιβάλλον πολλαπλών σημάτων (multi-signal):

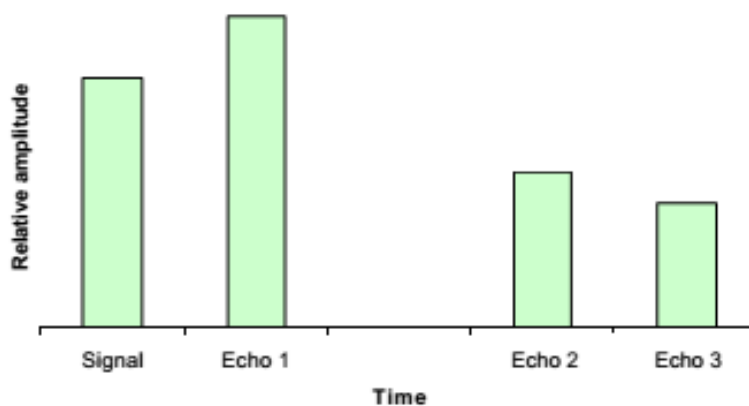
Σε ένα περιβάλλον πολλαπλών σημάτων ο δέκτης λαμβάνει σήματα μέσω ενός αριθμού διαφορετικών διαδρομών, τα οποία φθάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Οι καταστάσεις αυτές εντοπίζονται και σε δίκτυα SFN, αλλά και στις περιπτώσεις που υπάρχει μόνο ένας πομπός.

Σε ένα περιβάλλον πολλαπλών σημάτων, η αποφυγή της παρεμβολής μεταξύ των λαμβανόμενων συμβόλων είναι άκρος σημαντική για την σωστή αποκωδικοποίηση αλλά απαιτεί την στρατηγική τοποθέτηση του παραθύρου FFT. Ο συγχρονισμός του FFT παραθύρου έχει ιδιαίτερη σημασία για τις κινητές και φορητές συσκευές λήψης στην περίπτωση που ο δέκτης πρέπει να είναι σε θέση να συγχρονίζει σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο περιβάλλον με την ταυτόχρονη παρουσία προγενέστερων και μεταγενέστερων ανακλάσεων του σήματος.

Υπάρχουν αρκετές πιθανές στρατηγικές για το συγχρονισμό του παραθύρου FFT στον δέκτη. Ωστόσο, η πραγματική στρατηγική που χρησιμοποιείται σε κάθε δέκτη στην πράξη ορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή. Ορισμένες από τις πιθανές στρατηγικές για την τοποθέτηση του FFT παραθύρου αναλύονται παρακάτω.

❖ Ισχυρότερο Σήμα

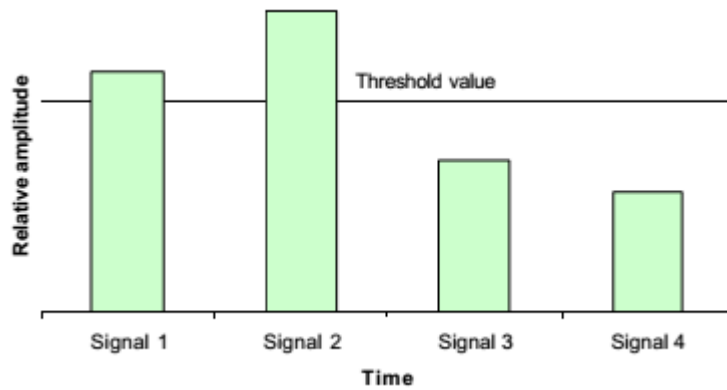
Μία πιθανή προσέγγιση για την τοποθέτηση του παραθύρου FFT είναι ο συγχρονισμός με βάση το ισχυρότερο σήμα, με τρόπο ανάλογο της απεικόνισης στην εικόνα 6.1.6. Το ισχυρότερο σήμα μπορεί, και σε πολλές περιπτώσεις, είναι το πρώτο σήμα στην κρουστική απόκριση. Ωστόσο, σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον πολυοδευμένων σημάτων είναι δυνατόν να συμβεί το αρχικό σήμα να είναι ασθενέστερο σε σχέση με μια ηχώ του και στην περίπτωση αυτή η θέση του παραθύρου FFT χρειάζεται να έχει μια ανοχή. (βλέπε εικόνα 6.1.7).



Εικόνα 6.1.7: Απόκριση καναλιού όπου η πρώτη ηχώ είναι "ισχυρότερη" από το κύριο σήμα

❖ Αρχικό σήμα με στάθμη ισχύος πάνω από μια ορισμένη τιμή

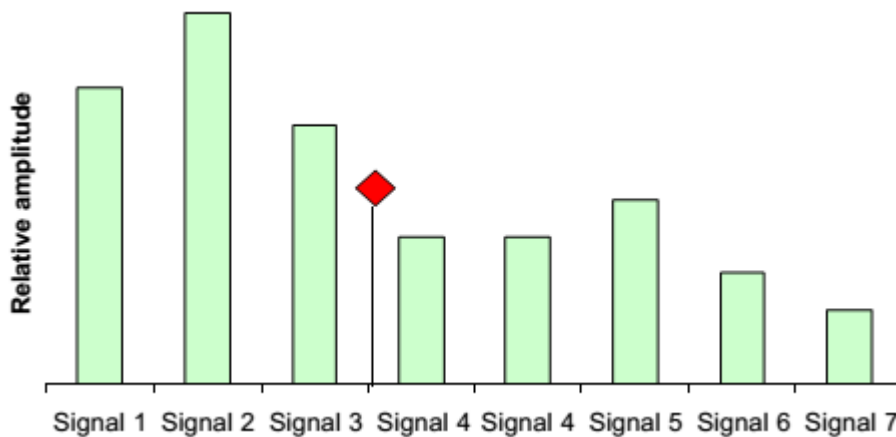
Με τη μέθοδο αυτή, ο δέκτης θα συγχρονίσει προς το νωρίτερα λαμβανόμενο σήμα εντός του εύρους από 6 έως 10 dB κάτω από το ισχυρότερο ληφθέν σήμα, υποθέτοντας πως αυτή η στάθμη είναι πάνω από το ελάχιστο επίπεδο εισόδου του δέκτη.



Εικόνα 6.1.8: Απόκριση καναλιού και κατώφλι

Σε αυτό το παράδειγμα υποθέτουμε ότι η σύνθεση των πολλαπλών σημάτων βρίσκεται σε ένα SFN δίκτυο με αρκετούς πομπούς. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα δύο πρώτα σήματα (με το Σήμα 1 να λαμβάνεται πρώτο) είναι πιθανό να προέρχονται από τον πλησιέστερο πομπό. Όσο για το μικρότερο πλάτος αυτό μπορεί να οφείλεται σε κακή διαδρομή διάδοσης. Το Σήμα 2 μπορεί να αντιστοιχεί σε έναν πιο μακρινό πομπό με καλύτερη διαδρομή διαδόσεως ή μεγαλύτερο ERP (Effective radiated power). Τα σήματα 3 και 4 μπορεί να αντιστοιχούν σε πολύ πιο μακρινούς πομπούς.

❖ Κέντρο βάρους (Centre of gravity)



Εικόνα 6.1.9: Κρουστική απόκριση καναλιού και τοποθέτηση FFT window κατά CoG

Σε αυτή την περίπτωση ο δέκτης εξετάζει την κρουστική απόκριση του διαύλου για να βρει όλες τις κορυφές που αντιστοιχούν στα συμβαλλόμενα σήματα των πομπών και την ηχώ αυτών (πολυοδευμένα σήματα). Με βάση το σύνολο της απόκρισης του καναλιού, ο δέκτης υπολογίζει το "κέντρο βάρους" και κεντράρει το παράθυρο FFT στο σημείο αυτό. Η προσέγγιση του κέντρου βαρύτητας ανταποκρίνεται καλά στα pre-echo και καθυστερημένα

σήματα παρόμοιου πλάτους με το συγχρονισμένο σήμα.

Είναι πιθανό ότι η τελευταία γενιά των δεκτών θα υιοθετήσει μια προσέγγιση που βασίζεται στην έννοια αυτή, ωστόσο, καμία πληροφορία δεν έχει δημοσιευθεί μέχρι σήμερα, δεδομένου ότι θεωρείται εμπορικά ευαίσθητη η προσέγγιση αυτή.

❖ Βέλτιστη θέση

Ενώ οι στρατηγικές που συζητήθηκαν προηγουμένως όλες τους δίνουν μεθόδους πώς να βρίσκουν γρήγορα μια καλή θέση για την τοποθέτηση του παραθύρου FFT, η στρατηγική της βέλτιστης θέσης δίνει την θέση για το FFT παράθυρο εκεί όπου η αποτελεσματική αναλογία φέρουσας προς παρεμβολή (C/I ratio) είναι μέγιστη. Η θέση αυτή, ωστόσο, δεν είναι εύκολο να βρεθεί και σε γενικές γραμμές απαιτεί πάρα πολύ χρόνο για να υπολογιστεί. Ως εκ τούτου, συνήθως μία από τις προαναφερθείσες απλούστερες στρατηγικές εφαρμόζεται, ή ένας συνδυασμός αυτών.

6.2 Επίγειο DAB & δικτυακές έννοιες

6.2.1 Εισαγωγή

Κατά κανόνα ο δικτυακός σχεδιασμός της αναλογικής ραδιοφωνίας (FM radio) γίνεται βασιζόμενος στα δίκτυα πολλαπλών συχνοτήτων (MultiFrequency Networks (MFNs)), έτσι για τις γειτνιάζουσες περιοχές παροχής περιεχομένου (service areas) που εξυπηρετούνται από έναν πομπό χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες για την εκπομπή του ίδιου προγράμματος.

Στον σχεδιασμό T-DAB δικτύων, κάθε περιοχή παροχής περιεχομένου σε MFN μπορεί να αποτελείται είτε από έναν πομπό ("παραδοσιακή" περίπτωση) είτε από ένα δίκτυο πομπών οι οποίοι λειτουργούν στην ίδια συχνότητα (Single Frequency Network (SFN)). Ο συνδυασμός ενός MFN δικτύου αποτελούμενο από SFN δίκτυα (το λεγόμενο MultiSFN) δίνει την δυνατότητα στον σχεδιαστή του δικτύου αλλά και στον δημιουργό προγραμμάτων περιεχομένου να επωφεληθούν στο έπακρο τα οφέλη που ο κάθε τύπος δικτύου μπορεί να προσφέρει. Τα οφέλη αυτά αντίστοιχα είναι:

- Το MFN επιτρέπει την διαίρεση (regionalisation) του περιεχομένου των προγραμμάτων. Κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί εντός SFN δικτύου, όπου όλοι οι πομποί θα πρέπει να φέρουν το ίδιο περιεχόμενο προγράμματος και δεδομένων επομένως περιφερειακές ή τοπικές παραλλαγές του περιεχομένου του προγράμματος δεν μπορούν να φιλοξενηθούν σε επιμέρους πομπούς μέσα σε ένα SFN.

- Κάθε SFN περιλαμβάνει τα οφέλη για το κέρδος εκπομπής (gain) του δικτύου από το MFN.

6.2.2 Τύποι δικτύων για την υλοποίηση του T-DAB

Πρακτικά μόνο δύο είδη δικτύων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υλοποίηση του T-DAB. Το ένα ονομάζεται “ανοιχτό” και το άλλο “κλειστό” δίκτυο.

Στο σημείο αυτό κάνουμε την παραδοχή (θεωρούμε ότι) πως και τα δύο είδη δικτύων έχουν σχεδιαστεί να παρέχουν την ελάχιστη επιθυμητή ένταση πεδίου στο όριο της περιοχής κάλυψης.

Στα ανοικτού τύπου δίκτυα δεν γίνονται μετρήσεις με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπέδων της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας προς περιοχές πέραν του ορίου κάλυψης. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις ένα ανοιχτό δίκτυο δύναται να αποτελείτε από έναν και μόνο πομπό.

Στα κλειστού τύπου δίκτυα τα επίπεδα της ακτινοβολίας προς περιοχές εκτός της περιοχής κάλυψης, εκουσίως μειώνονται χωρίς να υπάρξει συμβιβασμός για μείωση της προβλεπόμενης περιοχής κάλυψης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών στους σταθμούς εκπομπής κοντά στην περιφέρεια της περιοχής κάλυψης.

Για ένα δίκτυο T-DAB στον πραγματικό κόσμο, το οποίο καλύπτει μια μεγάλη περιοχή, εκ των πραγμάτων οι πομποί έχουν σημαντικά μεγάλη απόσταση ο ένας από τον άλλο. Έτσι αν σε ένα τέτοιο δίκτυο εφαρμόσουμε σχεδιασμό κλειστού δικτύου θα προκληθούν λιγότερες παρεμβολές εκτός των ορίων της δεδομένης μεγάλης περιοχής κάλυψης του κάθε πομπού από ό, τι αν εφαρμόσουμε σχεδιασμό ανοικτού δικτύου. Ο κύριος λόγος της παραπάνω ιδιότητας είναι ότι το επίπεδο της παρεμβολής καθορίζεται κυρίως από την ακτινοβολούμενη ισχύ των πομπών που βρίσκονται πλησιέστερα στο όριο της περιοχής κάλυψης στην κατεύθυνση που εξετάζουμε.

Ωστόσο, σε ένα κλειστό δίκτυο το οποίο καλύπτει μια μικρή περιοχή, η ακτινοβολούμενη ισχύς από ποπούς στην πλευρά της περιοχής κάλυψης αντίθετα από την κατεύθυνση που μελετάμε συμβάλλει σχετικά περισσότερο στο επίπεδο της εξερχόμενης παρεμβολής από ό,τι σε ένα κλειστό δίκτυο σχεδιασμένο να καλύπτει μια μεγάλη περιοχή. Επομένως, η χρήση κατευθυντικών κεραιών εκπομπής για ποπούς κοντά στο όριο της περιοχής κάλυψης επιφέρουν λιγότερο πλεονέκτημα σε σχέση με την περίπτωση των δικτύων που καλύπτουν ευρύτερες περιοχές.

6.2.3 Δίκτυα Ενιαίας Συχνότητας (Single Frequency Networks – SFN)

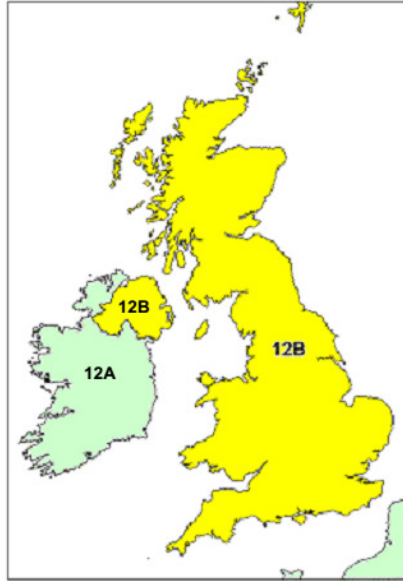
Μέχρι σήμερα, τα SFN δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην υλοποίηση δικτύων T-DAB, και ως εκ τούτου είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα οφέλη που δίνουν αλλά και τους περιορισμούς στη χρήση τους. Σε ένα SFN δίκτυο, όλοι οι πομποί, εντός του δικτύου, είναι ταυτόχρονα συγχρονισμένοι ως προς την συχνότητα και το χρόνο. Κατέχουν μια κοινή περιοχή κάλυψης και δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα.

❖ Επιδόσεις SFN σε περιβάλλον πολυόδευσης

Το T-DAB έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την καλή απόδοση σε περιβάλλον που εμφανίζονται φαινόμενα πολυόδευσης, τυπική περίπτωση για τις φορητές και κινητές συσκευές λήψης.

Γενικά από την πλευρά της ανάλυσης - επεξεργασίας του σήματος σε έναν δέκτη, ένα ανακλώμενο (πολυοδευμένο) σήμα είναι δύσκολο να ξεχωριστεί από ένα άλλο επίσης ανακλώμενο και καθυστερημένο σήμα το οποίο φέρει ακριβώς την ίδια πληροφορία. Η ικανότητα του T-DAB να χειρίζεται καθυστερημένα σήματα οφείλεται στην ενσωμάτωση ενός διαστήματος ασφαλείας (guard interval) στο πεδίο του χρόνου. Υπό την προϋπόθεση όμως ότι ο μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης των πολυοδευμένων σημάτων δεν θα υπερβαίνει σημαντικά το διάστημα ασφαλείας, τότε όλες οι συνιστώσες του αρχικού σήματος προστίθενται.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι αρκετοί πομποί που σχηματίζουν ένα δίκτυο T-DAB σε εκτεταμένη περιοχή μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα μπλοκ ενιαίας συχνότητας αποφεύγοντας με τον τρόπο αυτό την αμοιβαία παρεμβολή και αυτό αποτελεί την γενική αρχή των SFN δικτύων.



Εικόνα 6.2.1: Εθνικό επίπεδο κάλυψης των Βρετανικών νήσων με SFN δίκτυο

❖ Κέρδος εκπομπής – απολαβής σήματος στα SFN

Σε ένα SFN, πολλές από τις επιμέρους περιοχές εντός της συνολικής κάλυψης του δικτύου εξυπηρετούνται με παραπάνω από έναν πομπούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την “εισαγωγή” έως έναν βαθμό πλεονασμού στην λήψη του σήματος και βελτίωση στην διαθεσιμότητα των υπηρεσιών. Λόγο των εμποδίων εντός της διαδρομής διάδοσης του σήματος από ένα μόνο πομπό εμφανίζονται στατιστικές διακυμάνσεις στην ένταση του πεδίου του, ιδιαίτερα στην λήψη του σήματος για φορητές και κινητές συσκευές. Επομένως με την ύπαρξη και άλλων πομπών περιμετρικά του δέκτη επιτυγχάνεται η μείωση των διακυμάνσεων της έντασης του πεδίου, καθώς όποτε μια πηγή σήματος σκιαστεί από ένα εμπόδιο ο δέκτης θα λαμβάνει σήμα από τους υπόλοιπους πομπούς. Τα SFN μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να παρέχουν μια πιο ομοιογενή κατανομή εντάσεως πεδίου σε όλη την περιοχή κάλυψης σε σχέση με την κάλυψη της ίδιας περιοχής από έναν μόνο πομπό.

❖ Περιορισμοί των δικτύων SFN

Για μεγάλης κλίμακας SFN, μπορεί να είναι δύσκολο να σχεδιαστεί το δίκτυο με τρόπο ανάλογο έτσι ώστε τα σήματα από πομπούς σε μεγάλη απόσταση από τον δέκτη να είναι πάντα σε μηδαμινά επίπεδα ισχύος σε σύγκριση με εκείνα των κοντινότερων πομπών ως προς τον δέκτη.

Η δυσκολία αυτή εντείνεται διότι:

- Το ποσοστό του χρόνου που απαιτείται για τον υπολογισμό της ισχύος των σημάτων των απομακρυσμένων πομπών τυπικά αγγίζει μόλις το 1% έναντι του 99% του χρόνου που απαιτείται για τον υπολογισμό της

ισχύος σημάτων των κοντινότερων πομπών με σκοπό την διασφάλιση της λήψης τους. Και διότι

- Η κεραία για τις φορητές και κινητές συσκευές δεν είναι κατευθυντική.

Επομένως σήματα από μακρινούς πομπούς καθυστερούν να ληφθούν σε σχέση με τα σήματα που λαμβάνονται από πομπούς πιο κοντά στον δέκτη επομένως αυτά τα καθυστερημένα σήματα μπορεί να βρεθούν εκτός του χρονικού περιθωρίου κατά το οποίο αν λαμβάνονταν από τον δέκτη θα συνέβαλλαν θετικά στην συνολική ποιότητα λήψης του περιεχομένου.

6.2.4 Δίκτυα Πολλαπλών Συχνοτήτων (Multi-Frequency Networks – MFN)

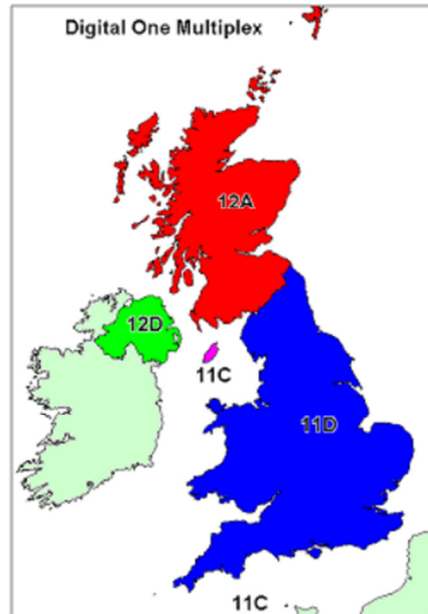
❖ Συμβατικά MFN δίκτυα

Σε ένα συμβατικό MFN, κάθε πομπός είναι ένα αυτόνομο αντικείμενο όσον αφορά τη συχνότητα και την περιοχή κάλυψης. Αυτό ισχύει επίσης και στις πολύ μικρές περιοχές κάλυψης T-DAB όπου το όφελος από μια δομή κλειστού δικτύου είναι είτε μικρό ή ανύπαρκτο, επειδή το επίπεδο της εξερχόμενης παρεμβολής καθορίζεται από τους πομπούς στην απέναντι πλευρά του δικτύου.

❖ Ενιαίο δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων (Multi-SFN)

Μέσα σε μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή ενός ευρύτερου δικτύου, μπορεί να είναι επιθυμητό να ενσωματωθούν μια σειρά από μικρότερα SFN δίκτυα – το λεγόμενο ενιαίο δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων (Multi-SFN) - προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για τα περιφερειακά και τοπικά προγράμματα. Κάθε SFN αποκτά το πλεονέκτημα του κέρδους εκπομπής και μια πιο ομοιογενή κατανομή έντασης του πεδίου σε όλη την περιοχή κάλυψης και το Multi-SFN δίνει τη δυνατότητα διαφοροποίησης των προγραμμάτων.

Σε ένα Multi-SFN, η συνολική περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρότερες περιοχές οι οποίες εξυπηρετούνται η κάθε μια από ένα διαφορετικό μπλοκ συχνοτήτων. Παραδείγματος χάριν για το Ηνωμένο Βασίλειο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 6.2.2, το δίκτυο αποτελείται από πέντε SFN δίκτυα χρησιμοποιώντας τέσσερα διαφορετικά μπλόκ συχνοτήτων για να καλύψει ολόκληρη την περιοχή, επιτρέποντας τον περιφερειακό προγραμματισμό.



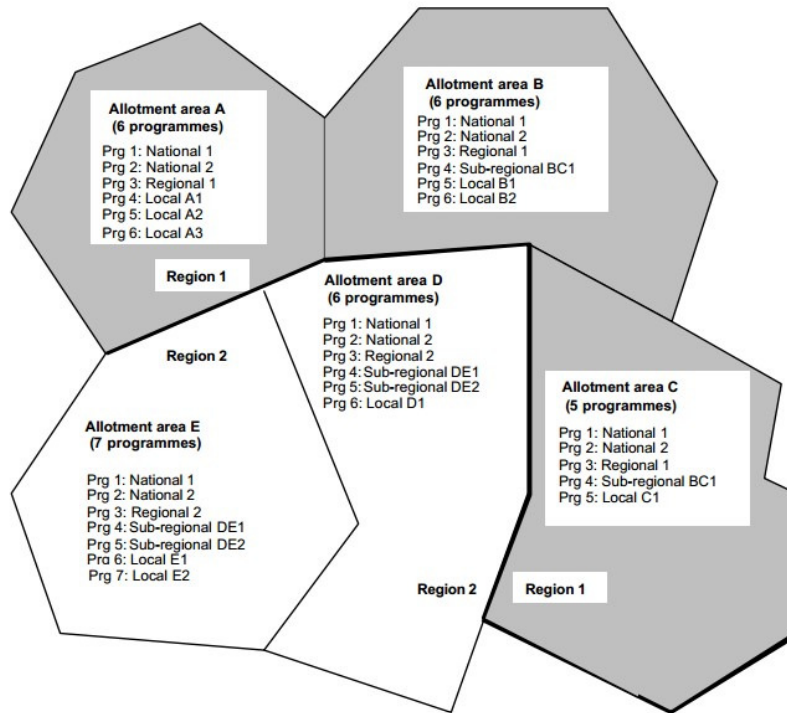
Εικόνα 6.2.2: Ένα εθνικό δίκτυο που αποτελείται από Multi-SFN

Σε ένα Multi-SFN μπορούν να παρέχονται διάφορα επίπεδα της υπηρεσίας του προγράμματος προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις για τα επιμέρους προγράμματα σε διαφορετικές περιφερειακές και τοπικές περιοχές π.χ:

- Επίπεδο 1: ένα εθνικό δίκτυο με περιφερειακές υπηρεσίες προγράμματος
- Επίπεδο 2: ένα περιφερειακό δίκτυο με τις τοπικές υπηρεσίες προγράμματος
- Επίπεδο 3: ένα τοπικό δίκτυο με τις κοινοτικές υπηρεσίες προγράμματος

και ούτω καθεξής μπορεί να συνεχιστεί η δομή των επιπέδων όπως αυτή εξυπηρετεί τους παραγωγούς των προγραμμάτων καθιστώντας τα εμπορικά βιώσιμα.

Χρησιμοποιώντας την πολυεπίπεδη προσέγγιση, ξεπερνιέται ένα από τα προβλήματα των παραγωγών αυτό της δυσκινητικότητας στην παροχή περιεχομένου κάτι που γίνεται άμεσα αντιληπτό από το παρακάτω σχήμα στο οποίο βλέπουμε την λογική πίσω από την πολυεπίπεδη προσέγγιση στην παροχή περιεχομένου.



Εικόνα 6.2.3: Ευελιξία σχεδιασμού προγράμματος χρησιμοποιώντας σχέδιο με βάση ένα Multi-SFN

Βέβαια με τη χρήση Multi-SFN προκειμένου να καλυφθεί μια σειρά από μικρές περιοχές ερχόμαστε αντιμέτωποι με την μειωμένη αποτελεσματικότητα στην χρήση του φάσματος, μολονότι το βασικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα παροχής επιμέρους προγραμμάτων στις διάφορες περιφερειακές και τοπικές περιοχές.

6.2.5 Διαδικασία σχεδιασμού

Η διαδικασία του σχεδιασμού αποτελείται από δύο κύρια χαρακτηριστικά **1)** την εκχώρηση των συχνοτήτων και **2)** την κατανομή των συχνοτήτων.

❖ Σχέδιο Εκχώρησης

Ο τρόπος εκχώρησης ενός καναλιού ραδιοσυχνοτήτων ή της οποιασδήποτε ραδιοσυχνότητας ορίζεται στους κανονισμούς ραδιοεπικοινωνιών της ITU στην παράγραφο S1.18 (έκδοση 1998):

" Η εξουσιοδότηση της εκχώρησης συχνότητας δίδεται από ένα διαχειριστή σε έναν ραδιοσταθμό με σκοπό να κάνει χρήση ραδιοσυχνότητας ή καναλιού ραδιοσυχνοτήτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες – όρους. "

Στο παρελθόν, ο σχεδιασμός της επίγειας τηλεόρασης καθώς και των περισσότερων άλλων δικτύων μετάδοσης στην Ευρώπη, έγινε μέσω αρμόδιων επιτροπών. Δύο συνθήκες, αυτές της Στοκχόλμης, η μία του 1952 και η άλλη του 1961 σχετίζονται με την επίγεια αναλογική μετάδοση και οι Ευρωπαϊκοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς έχουν αποκτήσει μεγάλη εμπειρία στην εκχώρηση

συχνοτήτων κατά τον σχεδιασμό, δεδομένου ότι οι μέθοδοι και τα κριτήρια σχεδιασμού, της συνθήκης ST'61, εξακολουθούν να εφαρμόζονται για την αναλογική τηλεόραση, ακόμη και αν και έχουν ήδη αναπτυχθεί και ενημερωθεί άλλα κριτήρια και μέθοδοι σχεδιασμού. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι τα χαρακτηριστικά των σταθμών εκπομπής μένουν αμετάβλητα σε σχέση με τις ιδιαιτερότητες που μπορεί να προκύψουν κατά τον σχεδιασμό. Για παράδειγμα η συνθήκη ST61 επιτρέπει μερική ευελιξία ακόμη και για σταθμούς με μεγάλη ισχύ εκπομπής, καθώς έχουν γίνει πολλές προσθήκες και τροποποιήσεις σε σχέση με την αρχική της μορφή.

Ο σχεδιασμός εκχώρησης με βάση την παραπάνω συμφωνία είναι επίσης κατάλληλος για επίγεια ψηφιακή μετάδοση όπου όλα τα κέντρα εκπομπής έχουν γνωστά χαρακτηριστικά. Όπως και στην αναλογική τηλεόραση έτσι και για την επίγεια ψηφιακή μετάδοση είναι δυνατό να τροποποιηθούν τα χαρακτηριστικά των σταθμών σε σχέση με τις ιδιαιτερότητες που μπορεί να προκύψουν κατά τον σχεδιασμό.

Το σχέδιο εκχώρησης παρέχει μια συχνότητα ή το σύνολο των συχνοτήτων για κάθε σταθμό και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ανάθεσης του σχεδιασμού οι θέσεις και τα χαρακτηριστικά των πομπών στην περιοχή του σχεδιασμού είναι γνωστά. ***Μετά την ολοκλήρωση οι πομποί μπορούν να τεθούν σε λειτουργία χωρίς περαιτέρω συντονισμό.***

Για πρακτικούς λόγους, μερικές φορές ορίζεται ένα κατώτερο όριο στην εκπεμπόμενη ισχύ κάποιων σταθμών κατά τη διαδικασία σχεδιασμού. Όσοι σταθμοί έχουν εκπεμπόμενη ισχύ κάτω από το όριο αυτό περιλαμβάνονται στο σχέδιο εκχώρησης, για παράδειγμα το 1961 το κατώτερο όριο ορίστηκε στο 1kW για σταθμούς VHF (Very High Frequency) και στα 10kW για σταθμούς UHF (Ultra high frequency).

❖ Σχέδιο Κατανομής Μεριδίων

Ο τρόπος κατανομής μεριδίων ενός καναλιού ραδιοσυχνοτήτων ή της οποιασδήποτε ραδιοσυχνότητας ορίζεται στους κανονισμούς ραδιοεπικοινωνιών της ITU στην παράγραφο S1.17 (έκδοση 1998):

" Η είσοδος καθορισμένου καναλιού συχνοτήτων σε ένα συμφωνημένο σχέδιο που έχει εγκριθεί από την αρμόδια επιτροπή , για χρήση από έναν ή περισσότερους διαχειριστές για επίγεια ή δορυφορική υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας σε μία ή περισσότερες αναγνωρισμένες χώρες ή γεωγραφικές περιοχές γίνεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες και όρους. "

Η δυνατότητα απόκτησης μεριδίων στην μετάδοση περιεχομένου έχει γίνει αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω των ευκαιριών που προσφέρονται από τα SFN δίκτυα. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι στο πλαίσιο της επίγειας μετάδοσης ο παραπάνω ορισμός τείνει να σημαίνει:

" Η είσοδος καθορισμένου καναλιού συχνοτήτων σε ένα συμφωνημένο σχέδιο που έχει εγκριθεί από την αρμόδια επιτροπή , για χρήση από τους διαχειριστές για επίγεια υπηρεσία ραδιοεπικοινωνίας στο εσωτερικό της χώρας τους ή για γεωγραφικές περιοχές της χώρας του γίνεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες και όρους. "

Η χρήση κατανομής μεριδίων για SFN δίκτυα δύναται να είναι κατάλληλη για όλη την κάλυψη μιας χώρας ή για γεωγραφικές περιοχές αυτής, όταν υπάρχει διαθέσιμο φάσμα.

Με τη χρήση κατανομής μεριδίων στον σχεδιασμό MFN δικτύων, το δίκτυο αποκτά μεγαλύτερες πιθανότητες να διαρκέσει μέσα σε μια εποχή ραγδαίας τεχνολογικής εξέλιξης. Επομένως δίδεται η δυνατότητα ευελιξίας στις χώρες αναφορικά με την μελλοντική θέση των πομπών αλλά και τους είδους της κάλυψης που θα παρέχουν.

Κατά το στάδιο του σχεδιασμού κατανομής μεριδίων, σε γενικές γραμμές τίποτα δεν είναι γνωστό σχετικά με την πραγματική θέση των κέντρων εκπομπής ή των ειδικών χαρακτηριστικών των σταθμών μετάδοσης που θα χρησιμοποιηθούν. Οι μόνες παράμετροι που είναι γνωστές σε αυτή την φάση είναι η καθορισμένη περιοχή που χρειάζεται να καλυφθεί, τα τμήματα (blocks) των συχνοτήτων, καθώς και το ανώτερο όριο της εξερχόμενης παρεμβολής. Με σκοπό την εξαγωγή του σχεδίου και την εκτίμηση της εξερχόμενης παρεμβολής καθίσταται αναγκαίο να προσδιοριστούν μερικές κοινά αποδεκτές και ρεαλιστικές σχετικές συνθήκες εκπομπής ούτως ώστε οι όποιοι υπολογισμοί συμβατότητας χρειαστούν να μπορούν να γίνουν.

Το προκύπτον σχέδιο κατανομής μεριδίων περιλαμβάνει τα τμήματα των T-DAB συχνοτήτων που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες περιοχές, χωρίς όμως (όπως είπαμε) να διευκρινίζει τα τεχνικά στοιχεία για τους σταθμούς εκπομπής.

Εάν στον σχεδιασμό του δικτύου μια περιοχή κάλυψης δεν παράγει ένταση πεδίου πάνω από ένα όριο, που ορίζεται στο σχέδιο στα σημεία υπολογισμού γύρω από την περιοχή κάλυψης, τότε το δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί χωρίς συντονισμό. Εάν δεν μπορεί να ικανοποιηθεί η προϋπόθεση αυτή τότε το σύνολο των σταθμών που απαρτίζουν το δίκτυο θα πρέπει να συντονίζεται με τις ενδιαφερόμενες γειτονικές χώρες.

Ένα σχέδιο εκχώρησης περιλαμβάνει τα αναλυτικά στοιχεία του πομπού από την ημέρα που θα εγκατασταθεί και ως εκ τούτου επιτρέπει την λειτουργία του για όσο το σχέδιο είναι σε ισχύ. Ωστόσο, κάθε μεταγενέστερη αλλαγή στο δίκτυο, θα πρέπει πιθανώς να συντονίζεται με τις ενδιαφερόμενες γειτονικές περιοχές ή και χώρες. Το όφελος ενός σχεδίου κατανομής είναι η ευελιξία. Τα λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά των πομπών συνήθως έχουν ήδη σχεδιαστεί μετά από διάσκεψη. Ο ορισμός της κατανομής επιτρέπει στο δίκτυο των πομπών, που σχετίζονται με την εν λόγω κατανομή,

- να εφαρμοστεί ή
- τροποποιηθεί αργότερα

χωρίς συντονισμό, υπό την προϋπόθεση ότι τα στοιχεία για την κατανομή (όπως τα σημεία των ορίων του, η ένταση του πεδίου σε κάθε σημείο δοκιμής υπολογισμού, κλπ) δεν θα αλλάζουν. Επιπλέον, η περιοχή κάλυψης της εκχώρησης (στο σχέδιο εκχώρησης) μπορεί να θεωρηθεί ως μια περιοχή κατανομής, καθορίζοντας επακριβώς την περιοχή κάλυψής της, σύμφωνα με μια μέθοδο που θα εγκριθεί από τη διάσκεψη.

Μια κατανομή μπορεί να σχετίζεται με την εθνική, την περιφερειακή ή την τοπική κάλυψη. Επιπλέον, τα μερίδια μπορούν να υλοποιηθούν ως δίκτυο ενιαίου πομπού (single transmitter network) ή ως SFN, όπως έχει αποδειχθεί στους πρόσφατους σχεδιασμούς T-DAB.

6.2.6 Ζητήματα σχεδιασμού

❖ Γενικά

Κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου τέσσερις εντάσεις πεδίου είναι οι πιο σημαντικές που χρίζουν προσοχής.

- Η πρώτη, φυσικά, είναι η ισχύς του πεδίου του επιθυμητού σήματος εντός της περιοχής κάλυψης – αυτό που αποκαλούμε επιθυμητή ένταση πεδίου.
- Η δεύτερη προκύπτει από τη ισχύ που εκπέμπεται από τους επιθυμητούς πομπούς προς σημεία εκτός της περιοχής κάλυψης και συνήθως ονομάζεται εξερχόμενη παρεμβολή ή εξερχόμενη παρεμβολή έντασης πεδίου.
- Η τρίτη είναι η ένταση του πεδίου στο εσωτερικό της επιθυμητής περιοχή κάλυψης λόγω της παρεμβολής, από την ακτινοβολία που υπεισέρχεται, από πομπούς έξω από την επιθυμητή περιοχή κάλυψης και ονομάζεται εισερχόμενη παρεμβολή ή εισερχόμενη παρεμβολή έντασης πεδίου.
- Η τέταρτη είναι ένταση πεδίου που προκύπτει σε δίκτυο SFN και πρόκειται για αυτο-παρεμβολές που μπορεί να βρεθούν στο δίκτυο SFN όταν συμβαίνει διασυμβολική παρεμβολή (inter-symbol interference, ISI) στο επιθυμητό σήμα.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η εξερχόμενη παρεμβολή από ένα κομμάτι του δικτύου ή ενός δικτύου τις περισσότερες φορές αποτελεί κομμάτι της εισερχόμενης παρεμβολής σε ένα άλλο κομμάτι του δικτύου ή ενός άλλου δικτύου.

6.2.6.1 Η επίδραση της διάδοσης (propagation)

❖ Διακύμανση της έντασης του πεδίου σε συνάρτηση του χρόνου διάδοσης.

Για μικρότερες αποστάσεις, δηλαδή εντός της περιοχής κάλυψης ενός πομπού ή ενός SFN δικτύου, η μεταβολή είναι μικρότερη και συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς κατά τον σχεδιασμό. Ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις, δηλαδή αυτές που σχετίζονται με παρεμβολές σε άλλα δίκτυα, η μεταβολή είναι σημαντική.

❖ Επιθυμητή ένταση πεδίου

Ο υπολογισμός της επιθυμητής έντασης του πεδίου μέσα στην περιοχή κάλυψης μπορεί να γίνει με τη βοήθεια οποιασδήποτε κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης ανάλογα με την επιλογή του σχεδιαστή του δικτύου, και συνήθως υπολογίζεται για 50% του χρόνου.

❖ Παρεμβαλλόμενη ένταση πεδίου

Ο υπολογισμός της εξερχόμενης αλλά και της εισερχόμενης παρεμβολής της εντάσεως των πεδίων συνήθως πρέπει να γίνεται χρησιμοποιώντας μια κοινά αποδεκτή μέθοδο πρόβλεψης όπως αυτή περιγράφεται στο ITU-R P.1546 και συνήθως υπολογίζεται για 1% του χρόνου. Αυτό είναι απαραίτητο όταν ο λόγος σήματος προς θόρυβο $+I (C/(N+I))$ πέφτει κάτω από την απαιτούμενη ελάχιστη τιμή λόγω της χαρακτηριστικής απότομης ανεπάρκειας σήματος (abrupt failure) η οποία είναι σύνηθες φαινόμενο στα συστήματα ψηφιακής μετάδοσης. Επομένως εξασφαλίζεται η προστασία του επιθυμητού σήματος εντός της περιοχής κάλυψης επιτυγχάνοντας υψηλό ποσοστό (περίπου 99%) του χρόνου.

❖ Διακύμανση της έντασης του πεδίου ανάλογα της θέσης για σταθερή, κινητή και υπαίθρια (outdoor) λήψη (location probability)

Μέσα σε μια μικρή περιοχή, ως πούμε 100 x 100 μέτρων, είναι σίγουρο πως θα υπάρξει μια τυχαία διακύμανση της στάθμης του σήματος κάτι που οφείλεται στην μορφολογία του εδάφους. Τα στατιστικά αυτού του τύπου διακύμανσης γενικά χαρακτηρίζονται από μια λογαριθμοκανονική κατανομή (log-normal distribution) των επιπέδων σήματος.

Σε ένα ψηφιακό σύστημα μετάδοσης, όπως το T-DAB, οι χρήστες αναμένουν η λήψη περιεχομένου να είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όπως στα αναλογικά συστήματα μετάδοσης όπως τα FM. Λόγω της απότομης ανεπάρκειας σήματος στα ψηφιακά συστήματα, τα δίκτυα θα πρέπει να σχεδιαστούν έτσι ώστε η λήψη σήματος να καθίσταται δυνατή σε κάθε πιθανό σημείο εντός της περιοχής κάλυψης. Αυτό συνεπάγεται ότι το location probability επιτυχημένης λήψης εντός της περιοχής κάλυψης θα είναι υψηλό, συνήθως θεωρείται ότι είναι 99%, μιας και το T-DAB προορίζεται περισσότερο για χρήση σε κινητούς δέκτες.

Για τα ψηφιακά σήματα ευρείας ζώνης (digital wide band signals) η τυπική απόκλιση (σ) της ισχύος του πεδίου θεωρείται ότι είναι 5,5 dB κάτι που πρέπει να έχει επιβεβαιωθεί από μια σειρά μετρήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η τυπική απόκλιση έχει μετρηθεί να είναι ακόμη χαμηλότερη, κάτω από 3,5 dB για την Band III. Μια τυπική απόκλιση της τάξης των 5,5 dB ισχύει και για την περιοχή συχνοτήτων στο 1,5 GHz.

Στις στατιστικές μεθόδους πρόβλεψης έντασης του πεδίου, όπως το ITU-R P.1546, οι τιμές ισχύος του πεδίου δίνονται για το 50% των τοποθεσιών (μέση τιμή). Προκειμένου να διασφαλιστεί η απολαβή σήματος σε μεγαλύτερο ποσοστό στις τοποθεσίες (π.χ. στο 99% των τοποθεσιών) είναι απαραίτητη μια υψηλότερη μέση τιμή της έντασης του πεδίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη μιας μεταβλητής, την λεγόμενη μεταβλητή location correction (location correction figure) στην ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου.

Τα επιθυμητά T-DAB σήματα πρέπει να προστατεύονται για περισσότερο από το 50% των τοποθεσιών στην περιοχή κάλυψης (π.χ. για το 99% των τοποθεσιών) έναντι παρεμβολών από άλλους πομπούς και μεταδόσεις. Επειδή θεωρείται ότι οι μεταβολές των επιθυμητών και των παρεμβαλλόμενων εντάσεων πεδίου είναι ασυσχέτιστες, ένα περιθώριο (margin) το λεγόμενο location correction margin πρέπει να συμπεριληφθεί κατά τον υπολογισμό της επιτρεπτής παρεμβολής εντάσεως πεδίου πέραν του λόγου ασφαλείας συστήματος (system protection ratio).

❖ Location Correction.

Στα παρακάτω κεφάλαια 6.2.7 and 6.2.8, υπολογίζεται η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου και αυτές οι εντάσεις πεδίου ισχύουν για το 50% των τοποθεσιών. Για να επιτευχθεί η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου που απαιτείται για την παροχή απολαβής σήματος σε υψηλότερο ποσοστό των τοποθεσιών, ένα ποσοστό location correction C πρέπει να προστεθεί.

Υπολογίζοντας την μεταβλητή του location correction C_i , υποτίθεται πως η κατανομή του λαμβανόμενου σήματος σε σχέση με την τοποθεσία είναι λογαριθμοκανονική.

Το ποσοστό location correction, C_i σε (dB), υπολογίζετε από τον παρακάτω τύπο:

$C_i = \mu * \sigma$ όπου:

- σ : είναι η τυπική απόκλιση της έντασης του πεδίου (5,5 dB) από την εξασθένιση λόγω σκίασης (shadow fading) και
- μ : είναι ο λογαριθμοκανονικός συντελεστής κατανομής.

Μερικές τυπικές τιμές για ορισμένες συχνά χρησιμοποιούμενες περιπτώσεις, δίνονται παρακάτω:

0.00 για το 50% των τοποθεσιών,
 0.52 για το 70% των τοποθεσιών,
 1.28 για το 90% των τοποθεσιών,
 1.64 για το 95% των τοποθεσιών και
 2.33 για το 99% των τοποθεσιών.

Επίσης άλλες τιμές του μ για διαφορετικά ποσοστά τοποθεσιών δίδονται στον πίνακα κανονικής κατανομής (normal distribution table) στο Rec. ITU-R P.1546 [4].

❖ Υπολογισμός του Location Correction.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τον αριθμό για το location correction που πρέπει να προστεθεί στην ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου ώστε να παρέχεται απολαβή σήματος στο επιθυμητό ποσοστό των τοποθεσιών (location probability). Η τιμή για το συνιστώμενο location probability για λήψη από κινητές συσκευές (99%) απεικονίζεται με έντονα γράμματα.

Είδος Λήψης	Location Probability (%)	Συντελεστής Κανονικής Κατανομής (Normal Distribution Factor)	Aggregate Standard Deviation (dB)	Location Correction Figure (dB)
Κινητές και Φορητές συσκευές σε Εξωτερικό Χώρο	50	0.00	5.5	0.0
	70	0.25		2.9
	90	1.28		7.0
	95	1.64		9.0
	99	2.33		12.8

Πίνακας 5: Location correction για λήψη σήματος από σταθερές, κινητές και φορητές συσκευές σε εξωτερικό χώρο

Τα location corrections για λήψη σε εσωτερικό χώρο αναφέρονται στην υποενότητα 6.2.6.3, όπου ασχολούμαστε με την απώλεια σήματος από την διείσδυση σήματος σε κτήρια (building penetration loss).

❖ Περιθώριο Location Correction (Location Correction Margin)

Το ποσό της προστασίας που επιτυγχάνεται για ένα δεδομένο επιθυμητό σήμα σε σχέση με ένα δεδομένο παρεμβαλλόμενο σήμα σχετίζεται με τη διαφορά της επιθυμητής και της παρεμβαλλόμενης έντασης πεδίου. Αυτή η διαφορά αποτελεί στατιστική μεταβλητή και εξαρτάται από:

- τις μέσες τιμές των δύο πεδίων
- και από τα location standard deviations

Η τυπική απόκλιση (standard deviation) υπολογίζεται ακολούθως:

$$\sigma_{res} = \sqrt{(\sigma_{wanted})^2 - 2\rho \times \sigma_{wanted} \times \sigma_{interferer} + (\sigma_{interferer})^2}$$

Θεωρείται δεδομένο ότι τα επιθυμητά και τα παρεμβαλλόμενα σήματα είναι αμφότερα λογαριθμοκανονικά κατανομημένα, ασυσχέτιστα και έχουν πανομοιότυπες τυπικές αποκλίσεις.

Για όσο το $s_{wanted} = s_{interferer}$ και το $\rho = 0$,

$$\sigma_{res} = (\sigma_{wanted}) \times \sqrt{2}$$

Στην περίπτωση των σταθερών, κινητών ή φορητών συσκευών σε εξωτερικό χώρο για το T-DAB, η τυπική απόκλιση, s υποτίθεται ότι είναι 5,5 dB, η οποία οδηγεί στην προκύπτουσα τυπική απόκλιση: $s_{res} = 5.5 \times \sqrt{2} = 7.8 \text{ dB}$.

Το location correction margin είναι ένας παράγοντας που λαμβάνει υπόψη του την στατιστικά μεταβαλλόμενη διαφορά μεταξύ των επιθυμητών και των παρεμβαλλόμενων σημάτων. Το location correction margin και το system protection ratio προστίθενται για να δοθεί η ποσότητα (σε dB) με την οποία η μέση τιμή του επιθυμητού σήματος πρέπει να υπερβαίνει τη μέση τιμή του σήματος παρεμβολής, ώστε να παρέχει επαρκή προστασία και πέραν του 50% των τοποθεσιών.

❖ Υπολογισμός του Location Correction Margin.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει το περιθώριο για το location correction που πρέπει να προστεθεί στα system protection ratios ώστε να παρέχεται απολαβή σήματος στο επιθυμητό ποσοστό των τοποθεσιών (location probability). Η τιμή για το συνιστώμενο location probability για λήψη από κινητές συσκευές (99%) απεικονίζεται με έντονα γράμματα.

Είδος Λήψης	Location Probability (%)	Συντελεστής Κανονικής Κατανομής (Normal Distribution Factor)	Προκύπτουσα Τυπική Απόκλιση – Resultant Standard Deviation (dB)	Location Correction Margin (dB)
Κινητές και Φορητές συσκευές σε Εξωτερικό Χώρο	50	0.00	7.8	0.0
	70	0.25		4.1
	90	1.28		10.0
	95	1.64		12.8
	99	2.33		18.2

Πίνακας 6. Location correction margins για λήψη σήματος από σταθερές, κινητές και φορητές συσκευές σε εξωτερικό χώρο

Τα location correction margins για λήψη σήματος σε εσωτερικό χώρο αναφέρονται στην παρακάτω υποενότητα.

6.2.6.2 Εξασθένηση λόγο κτηρίων (Building Penetration Loss)

Οι υπηρεσίες του T-DAB αρχικά σχεδιάστηκαν για λήψη σήματος από κινητές συσκευές σε εξωτερικούς χώρους, υποχρεούνται όμως επίσης να παρέχουν ικανοποιητική λήψη σήματος για φορητούς δέκτες εντός κτηρίων, χωρίς να καθίσταται αναγκαία η χρήση σταθερής εγκατάστασης κεραίας. Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι είναι αναγκαίο να γίνει μια προσαρμογή κατά τη διαδικασία υλοποίησης ώστε να ξεπεραστεί η εξασθένηση του σήματος λόγω της απορρόφησης του από τα κτήρια.

Η μέση τιμή της απώλειας είναι η διαφορά σε dB μεταξύ της μέσης έντασης του πεδίου στο εσωτερικό ενός κτιρίου (για ένα δεδομένο ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους) και της μέσης ένταση του πεδίου για το ίδιο κτίριο (στο ίδιο δεδομένο ύψος πάνω από το επίπεδο του εδάφους). Ως εκ τούτου, και το ύψος του δέκτη μέσα στο κτίριο πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Επομένως για κάθε κτίριο, η ποιότητα λήψης στο ισόγειο αναμένεται να είναι χειρότερη σε σχέση με τους επάνω ορόφους, αλλά σίγουρα καλύτερη από ό, τι σε υπόγειους χώρους. Η απώλεια ποικίλει ως συνάρτηση των υλικών κατασκευής των κτηρίων καθώς και του αριθμού των παραθύρων και του μεγέθους τους. Παράθυρα με επιμεταλλωμένες επιστρώσεις μπορούν επίσης να μειώσουν σημαντικά τα επίπεδα της έντασης του πεδίου στο εσωτερικό των κτιρίων. Επιπλέον, το ωφέλιμο σήμα που μένει μετά την απώλεια (effective building penetration loss) μπορεί να μειωθεί και άλλο εάν η κάλυψη της περιοχής παρέχεται από ένα δίκτυο ενιαίας συχνότητας (SFN) καθώς τα σήματα των πομπών που συμβάλλουν στην κάλυψη φθάνουν από διαφορετικές κατευθύνσεις.

Όσο για τον αριθμό των μελετών που έχουν διεξαχθεί για την ποσοτικοποίηση της απώλειας λόγο των κτηρίων είναι περιορισμένος. Επομένως για VHF, οι τιμές της απώλειας κυμαίνονται από 7 dB έως 8 dB, με τυπική απόκλιση της τάξης των 3 dB, ενώ για την περιοχή στο 1.5 GHz, οι τιμές κυμαίνονται από 7 dB έως 17 dB, με τυπική απόκλιση περίπου στα 6 dB. Η απώλεια σε εμπορικά κτίρια μπορεί να είναι ακόμη υψηλότερη λόγω των υλικών κατασκευής (μέταλλο & γυαλί). Για τις ελάχιστες μέσες ισοδύναμες εντάσεις των πεδίων, στην παρούσα πτυχιακή, έχουν χρησιμοποιηθεί οι παρακάτω τιμές:

Μπάντα Συχνοτήτων	Εξασθένηση λόγο κτηρίων (dB)	Τυπική Απόκλιση – Standard deviation (dB)
VHF (Band III)	8	3
1.5 GHz	10	6

6.2.6.3 Location correction για λήψη σήματος σε εσωτερικούς χώρους

Για την λήψη σήματος από εποχούμενους χρήστες, χρησιμοποιείται η μεταβλητή location coverage σε ποσοστό της τάξης του 99%. Αυτή η υψηλή τιμή μπορεί να μην είναι απαραίτητη για την λήψη στο εσωτερικό των κτιρίων έτσι μια ελαστικότερη προσέγγιση σε ποσοστό περίπου 95% αναμένεται να είναι αποδεκτή. Κάτι που οδηγεί στην μείωση των δυσμενών επιπτώσεων της απώλειας από την εξασθένηση λόγω των κτηρίων.

Κατά συνέπεια, η διακύμανση της έντασης του πεδίου είναι αυξημένη για τους εσωτερικούς χώρους. Εάν δεν θεωρηθεί πως υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ της εξασθένησης από σκίαση (shadow fading) και της απώλειας λόγω κτιρίων (building penetration loss), τότε η προκύπτουσα τυπική απόκλιση της έντασης του πεδίου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_{res} = \sqrt{(\sigma_{shadow\ fading})^2 + (\sigma_{building\ penetration\ loss})^2}$$

- ο οποίος αποδίδει για την μπάντα των VHF:

$$\sigma_{res} = \sqrt{5.5^2 + 3^2} = 6.3\text{ dB}$$

-

και για τη ζώνη 1,5 GHz:

$$\sigma_{res} = \sqrt{5.5^2 + 6^2} = 8.1\text{ dB}$$

Αυτό με την σειρά του αλλάζει τις μεταβλητές location correction και τα location correction margins λήψης σε εσωτερικούς χώρους. Η τιμή για το συνιστώμενο location probability για λήψη από κινητές συσκευές σε εσωτερικούς χώρους (95%) απεικονίζεται με έντονα γράμματα.

Είδος Λήψης	Location Probability (%)	Συντελεστής Κανονικής Κατανομής (Normal Distribution Factor)	VHF		1.5 GHz	
			Aggregate Standard Deviation (dB)	Location Correction Figure (dB)	Aggregate Standard Deviation (dB)	Location Correction Figure (dB)
Φορητές συσκευές σε εσωτερικό χώρο	50	0.00	6.3	0.0	8.1	0.0
	70	0.52		3.3		4.2
	90	1.28		8.0		10.4
	95	1.64		10.3		13.3
	99	2.33		14.6		19.0

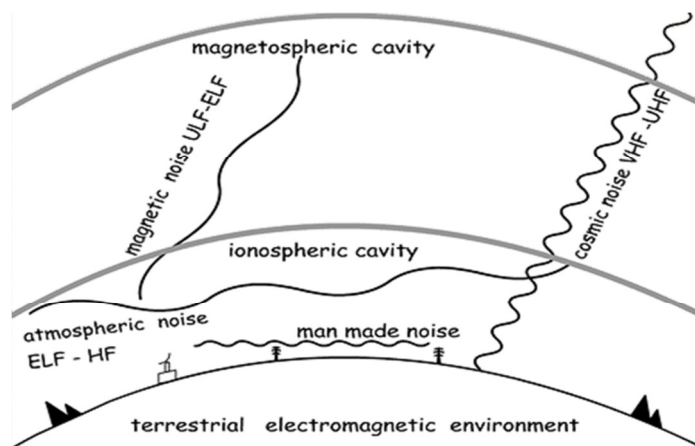
Πίνακας 7. Τιμές των location correction για λήψη σε εσωτερικούς χώρους

Είδος Λήψης	Location Probability (%)	Συντελεστής Κανονικής Κατανομής (Normal Distribution Factor)	VHF		1.5 GHz	
			Aggregate Standard Deviation (dB)	Location Correction Figure (dB)	Aggregate Standard Deviation (dB)	Location Correction Figure (dB)
Φορητές συσκευές σε εσωτερικό χώρο	50	0.00	8.9	0.0	11.5	0.0
	70	0.52		4.6		6.0
	90	1.28		11.3		14.7
	95	1.64		14.5		18.9
	99	2.33		20.6		26.8

Πίνακας 8. Περιθώρια location correction για λήψη σε εσωτερικούς χώρους

6.2.6.4 Θόρυβος από τον ανθρώπινο παράγοντα (Man-made noise)

Οι ανθρώπινες τεχνολογίες για τη μετάδοση ισχύος και της επικοινωνίας είναι γνωστές ως μη φυσικά αίτια του ανθρωπογενούς θορύβου (Man-made noise). Ο ανθρωπογενής θόρυβος, οφείλεται κυρίως στα συστήματα επικοινωνίας και εκπομπής, στα ηλεκτρικά συστήματα μεταφοράς ενέργειας, στα συστήματα ανάφλεξης των αυτοκινήτων, τις βιομηχανικές θερμικές διαδικασίες επεξεργασίας και τα όργανα επιστημονικών ή ιατρικών συσκευών.



Εικόνα 6.2.4: Σχηματική απεικόνιση των επίγειων φυσικών και ανθρωπογενών πηγών θορύβου

Επομένως ο ανθρωπογενής θόρυβος μπορεί να εμφανιστεί με δύο τρόπους σε ότι αφορά το T-DAB:

- ο ένας ως θόρυβος από εξωτερικό χώρο προερχόμενος είτε από πηγές θορύβου που βρίσκονται εκτός σπιτιού ή από πηγές που ακτινοβολούν επάνω σε σπίτια.
- και ο άλλος λόγω του ηλεκτρικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο εσωτερικό των κτιρίων.

Ένας άλλος παράγοντας, ο οποίος δεν λαμβάνεται υπόψιν στο σχεδιασμό, είναι οι ισχυρές παρεμβολές που μπορεί να δημιουργηθούν μέσα σε ένα δωμάτιο ή εσωτερικό χώρο, από ελλιπώς θωρακισμένο ηλεκτρικό εξοπλισμό ή καλώδια με υψηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Για την εξαγωγή της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης πεδίου κατά τον σχεδιασμό η ανοχή για τον ανθρωπογενή θόρυβο ορίζεται στο 1 dB για το φάσμα των VHF και στα 0 dB στο εύρος του 1,5 GHz.

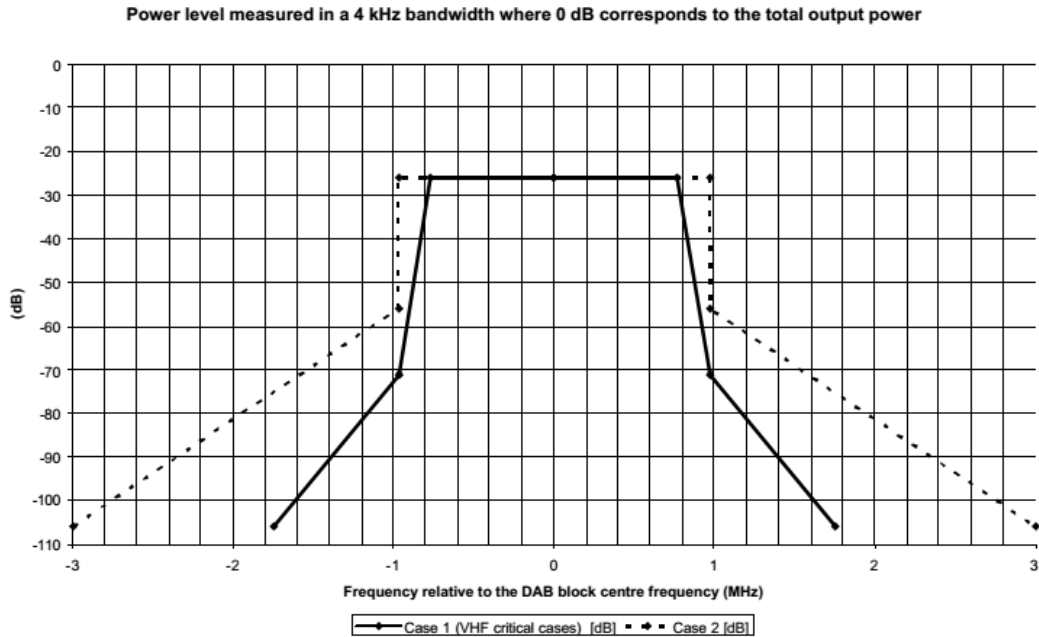
6.2.6.5 Μάσκα Φάσματος (Spectrum masks)

Έξω από το εύρος φάσματος του 1,5 MHz με COFDM το σήμα εξ ορισμού περιέχει πλευρικές μπάντες, οι οποίες όμως είναι εξασθενημένες σε σχέση με το κύριο σήμα κατά περίπου 40 με 50 dB. Παρά το γεγονός του υψηλού βαθμού γραμμικότητας, συνήθως χρησιμοποιούνται ενισχυτές ισχύος που παράγουν προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τα οποία με την σειρά τους αυξάνουν το επίπεδο των πλευρικών συχνοτήτων, σε ορισμένες περιπτώσεις, μόνο 30 dB κάτω από το κύριο σήμα.

Αυτές οι πλευρικές ζώνες συχνοτήτων είναι ανεπιθύμητες, θεωρούνται παρασιτικά σήματα και πρέπει να κατασταλούν όσο το δυνατόν περισσότερο με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης χρήσης του φάσματος συχνοτήτων. Αυτή η εξασθένηση (ονομάζεται επίσης shoulder attenuation) είναι σημαντική επειδή επιτρέπει στα γειτονικά μπλοκ συχνοτήτων του T-DAB να μπορούν να χρησιμοποιούνται σε παρακείμενες περιοχές εξυπηρέτησης (adjacent service areas).

Το φάσμα σήματος για το T-DAB μετριέται σε εύρος ζώνης (bandwidth) των 4 kHz. Ως εκ τούτου μέσα στο μπλοκ του 1,5 MHz το επίπεδο της ισχύος μειώνεται κατά $(10 \times \log_{10}(4 / 1534))$ dB = -25.8 dB σε σχέση με την συνολική ισχύ του σήματος. Η εξασθένηση (shoulder attenuation) των πλευρικών ζωνών (out-of-band σημάτων) εκφράζεται σε dB σε σχέση με την παραπάνω τιμή.

Το out-of-band ακτινοβολούμενο φάσμα σε κάθε ζώνη των 4 kHz πρέπει να περιορίζεται από μία από τις μάσκες που ορίζονται στην εικόνα 6.2.5 και στον Πίνακα 8.



Εικόνα 6.2.5: Μάσκες φάσματος για T-DAB έξω από μπάντα ακτινοβολίας

- **Ενιαία γραμμή (case 1):** Μάσκα που εφαρμόζεται σε πομπούς VHF για σημαντικές περιοχές κάλυψης με ενδοκαναλικές παρεμβολές σε γειτονικά κανάλια (adjacent channel interference).
- **Διακεκομμένη γραμμή (case 2):** Μάσκα που εφαρμόζεται σε πομπούς VHF σε άλλες περιπτώσεις και σε πομπούς 1.5 GHz για γενικές περιπτώσεις καταστολής των ενδοκαναλικών παρεμβολών σε γειτονικά κανάλια (adjacent channel interference).

Σημείωση: με την αύξηση της διαφοράς συχνότητας, η εξασθένιση θα αυξηθεί περαιτέρω. Ωστόσο, είναι δύσκολο να μετρηθούν τόσο υψηλές τιμές εξασθένισης. Εάν είναι απαραίτητο, ειδικά φίλτρα notch filters μπορούν να χρησιμοποιηθούν (όπως π.χ. στην συχνότητα 243 MHz (distress frequency)).

Το επίπεδο ισχύος μετρείται σε εύρος ζώνης 4 kHz όπου 0 dB αντιστοιχούν στη συνολική ισχύ εξόδου.

Συχνότητα σε σχέση με το μπλοκ κεντρικής συχνότητας - block centre frequency (MHz)	Περίπτωση 1 (VHF critical cases) relative level [dB]	Περίπτωση 2 relative level [dB]
-3.0	N/A	-106
-1.75	-106	N/A
-0.97	-71	-56
-0.77	-25.8	-25.8
0	-25.8	-25.8
0.77	25.8	-25.8
0.97	N/A	-25.8
0.97	-71	-56

1.75	-106	N/A
3	N/A	-106

Πίνακας 9. Break Points για τις μάσκες του φάσματος που φαίνονται στην εικόνα 6.2.5

6.2.6.6 Σημεία Δοκιμής (Test Points)

Μια περιοχή κάλυψης (allotment area) περιγράφεται από ένα σύνολο γεωγραφικών σημείων (συνήθως μέχρι 36) που ονομάζονται σημεία δοκιμής ορίου κάλυψης (allotment boundary test points). Τα σημεία δοκιμής ορίου κάλυψης ορίζονται από τον διαχειριστή που είναι αρμόδιος για την περιοχή στην οποία πρέπει να υπάρχει κάλυψη.

Ως μέρος των απαιτήσεων για μια περιοχή κάλυψης ο διαχειριστής πρέπει επίσης να καθορίσει ποια δίκτυα αναφοράς θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου ώστε να αντιπροσωπεύουν πλήρως το πραγματικό δίκτυο πομπών που εν τέλει θα εγκατασταθεί στην περιοχή κάλυψης. Υπάρχουν τρία είδη δικτύων αναφοράς για το εύρος των VHF και τρία για το εύρος του 1.5GHz. Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση του φάσματος θα πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο δίκτυο αναφοράς σύμφωνα με το μέγεθος της περιοχής κάλυψης που αντιστοιχεί στο πραγματικό δίκτυο που θα υλοποιηθεί στην αντίστοιχη περιοχή.

Ο υπολογισμός των σημείων δοκιμής (test points) γίνεται με την βοήθεια των σημείων δοκιμής στο όριο της κάλυψης (allotment boundary test points) και ενός κατάλληλου δικτύου αναφοράς. Λόγω του σχήματος και του μεγέθους της περιοχής κάλυψης ο αριθμός των σημείων δοκιμής υπολογισμού μπορεί να ανέλθει σε περισσότερα από 100.

Οι θέσεις των σημείων δοκιμής υπολογισμού υπολογίζονται από τον φορέα διαχείρισης σχεδίου όταν μια περιοχή κάλυψης έχει οργανωθεί με επιτυχία. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί, κατ' αρχήν, να γίνει και από τον αιτούμενο διαχείριση υπό την προϋπόθεση ότι το κατάλληλο λογισμικό είναι διαθέσιμο. Το σύνολο των σημείων δοκιμής δεν αποτελεί μέρος του σχεδίου, αλλά ένα εργαλείο για την επακόλουθη μετατροπή της κάλυψης σε μια σειρά από αναθέσεις (assignments).

Τα σημεία δοκιμής υπολογισμού βρίσκονται εκεί όπου οι πομποί του δικτύου αναφοράς παράγουν συγκεκριμένη ένταση πεδίου η οποία έχει από-συμφωνηθεί εξ αρχής. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να είναι ένα πλεονέκτημα να συμφωνηθεί μια ελαφρά υψηλότερη ένταση πεδίου σε ορισμένα σημεία δοκιμής, αλλά σε γενικές γραμμές αυτό δεν λύνει κανένα πρόβλημα συμβατότητας μεταξύ δύο co-block περιοχών κάλυψης.

6.2.7 Ζητήματα των SFN κατά τον σχεδιασμό

Όταν σχεδιάζονται SFN δίκτυα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες ειδικές παράμετροι σχεδιασμού, οι οποίες είναι:

- Ο συγχρονισμός του πομπού
- Μέγιστη απόσταση μεταξύ των πομπών
- Οι αυτό-παρεμβολές
- Το άθροισμα των εντάσεων πεδίου και
- Το κέρδος του δικτύου (Network gain)

❖ Συγχρονισμός και χρονισμός δικτύου

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η λειτουργία ενός SFN δικτύου όλοι οι πομποί στο δίκτυο πρέπει να είναι συγχρονισμένοι κατά συχνότητα και ώρα (synchronised in frequency and time).

❖ Χρονικός Συγχρονισμός

Εξ ορισμού όλοι οι πομποί σε ένα SFN δίκτυο πρέπει να εκπέμπουν το ίδιο σύμβολο ταυτόχρονα.

Τα μέσα τροφοδοσίας προγράμματος (programme feed paths), π.χ γραμμές μεταφοράς, δορυφορικές ζεύξεις, μικροκυματικές ζεύξεις κ.λπ., επιβάλλουν διαφορετικές καθυστερήσεις το καθένα για διαφορετικούς πομπούς λόγω των διαφορετικών τους θέσεων σε σχέση με την θέση προέλευσης του προγράμματος. Επιπλέον η μετάβαση από το ένα μέσο σε ένα άλλο μπορεί να αλλάξει την καθυστέρηση της μετάδοσης για ένα δεδομένο πομπό.

Για τον λόγο αυτό χρονικές επισημάνσεις (time stamps) εισάγονται από τον πολυπλέκτη στη ροή δεδομένων που διανέμεται στους πομπούς. Αυτές οι επισημάνσεις καθιστούν δυνατό τον έλεγχο του χρόνου κατά τον οποίο ένα δεδομένο σύμβολο εκπέμπεται από τους πομπούς. Η καθυστέρηση στο σήμα δεδομένων χειρίζεται κατάλληλα από buffers των οποίων το μήκος ελέγχεται δυναμικά από μια χρονική αναφορά με ρυθμό επανάληψης ενός παλμού ανά δευτερόλεπτο (PPS - Pulse per Second). Αυτό απαιτεί, ωστόσο, ότι η χρονική αναφορά παρέχεται επίσης και στον πομπό κάτι που μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μιας πηγής GPS αναφοράς χρόνου.

Η συνολική καθυστέρηση από τη στιγμή που το σήμα προγράμματος αποστέλλεται από την προέλευσή του, μέχρι να μεταδοθεί ταυτόχρονα από όλους τους πομπούς έχει ρυθμιστεί να είναι η μέγιστη δυνατή καθυστέρηση όλων των μέσων τροφοδοσίας προγράμματος του δικτύου συν ένα πρόσθετο περιθώριο ασφαλείας.

❖ Χρονικό offset

Σε ένα SFN δίκτυο, εάν αρκετοί πομποί εξυπηρετούν την ίδια γεωγραφική περιοχή, γεγονός που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα και με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν στην αύξηση του κέρδους απολαβής στο δίκτυο. Αυτό προϋποθέτει ότι τα σήματα φθάνουν μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό περιθώριο (time-window) κατ' αρχήν ίσο με το διάστημα προστασίας (guard interval). Στην πράξη, το χρονικό περιθώριο μπορεί να ληφθεί από 1.2 έως 1.3 φορές του διαστήματος προστασίας. Αν τα σήματα φθάνουν

πολύ νωρίς ή πολύ αργά θα προκαλούνται παρεμβολές στη λήψη, προκαλώντας εν τέλει αυτό-παρεμβολές.

Το χρονικό offset είναι μια μικρή προσαρμογή της χρονικής καθυστέρησης του σήματος προγράμματος στην είσοδο κάθε πομπού. Ο σκοπός αυτού είναι να εξασφαλιστεί ότι όλα τα σήματα φθάνουν στους περισσότερους δέκτες εντός του βέλτιστου χρονικού περιθωρίου.

❖ Συνοχή Συχνότητας (Frequency coherence)

Σε ένα SFN δίκτυο, η ακρίβεια της φέρουσας συχνότητας πρέπει να είναι καλύτερη από 1×10^{-8} στα VHF και στην περιοχή 1.5 GHz με σκοπό την βέλτιστη απόδοση του δικτύου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα παρόμοιο τρόπο όπως γίνεται με το offset για πομπούς αναλογικής τηλεόρασης, δηλαδή κλειδώνοντας τους τοπικούς ταλαντωτές σε μια συχνότητα αναφοράς σαν μια τυπική πηγή συχνότητας Ρουβιδίου. Ένας πιο βολικός τρόπος για να εξασφαλιστεί ο συγχρονισμός μεταξύ των πομπών είναι να κλειδώσει σε μια πηγή συχνότητας αναφοράς GPS.

❖ Μέγιστη απόσταση μεταξύ των πομπών

Η απόσταση μεταξύ γειτονικών πομπών σε ένα SFN περιορίζεται από το μήκος του διαστήματος προστασίας (guard interval) ανάλογα με την λειτουργία (mode) που χρησιμοποιείται στο T-DAB.

Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί ότι τα σήματα από τους γειτονικούς πομπούς φθάνουν στις περιοχές λήψης εντός του διαστήματος προστασίας. Λόγω της ομαλής αποδόμησης της απολαβής στην περίπτωση των σημάτων που λαμβάνονται εκτός του διαστήματος προστασίας, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πομπών δεν πρέπει να θεωρείται ως ένας αμετάβλητος περιορισμός αλλά ως κατευθυντήρια γραμμή κατά τον σχεδιασμό του δικτύου των πομπών.

Η μικρότερη απόσταση μεταξύ πομπών συνεπάγεται περισσότερους πομπούς για να καλύψει μια δεδομένη περιοχή και, κατά συνέπεια υψηλότερο κόστος του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, το προκύπτον πυκνότερο δίκτυο γενικά παρέχει μια πιο ομοιογενή κατανομή ισχύος του πεδίου πάνω από την περιοχή κάλυψης.

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πομπών μπορεί να υπολογιστεί από το διάστημα προστασίας ως εξής:

$$D_{\max} [\text{km}] = v [\text{km/sec}] \times t_{\text{guard}} [\mu\text{sec}] / 10^6$$

όπου v είναι η ταχύτητα του φωτός (3×10^8 km/sec).

	Mode I	Mode IV	Mode II	Mode III
Max. transmitter distance Dmax	73.8 km	36.9 km	18.6 km	9.3 km

Πίνακας 10. Μέγιστη απόσταση μεταξύ των γειτονικών πομπών για τα 4 modes του T-DAB

❖ Αυτό-παρεμβολές (Self-Interference)

Άλλοι πομποί στο ίδιο SFN (ή αντηχήσεις) μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων καθυστέρησης. Αυτό εξαρτάται από τη δομή του δικτύου (π.χ. αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ των πομπών) και τις παραμέτρους του δικτύου (π.χ. του guard interval). Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αυτο-παρεμβολή. Για παράδειγμα, ένα ισχυρό σήμα που φθάνει σε μια κεραία λήψης θα μπορούσε να καταστεί άχρηστο από ένα ασθενέστερο σήμα από το ίδιο SFN δίκτυο εάν το ασθενέστερο σήμα ληφθεί με αρκετή χρονοκαθυστέρηση. Αντιθέτως, ένα δευτερεύον σήμα με λίγη καθυστέρηση μπορεί να παρέχει επιπλέον κέρδος στο δίκτυο, ασχέτως της αυτό-παρεμβολής που προκαλεί στο αρχικό μη καθυστερημένο σήμα.

Ο υπολογισμός της έντασης της αυτο-παρεμβολής του πεδίου γίνεται παράλληλα με τον υπολογισμό του επιθυμητού σήματος και περιλαμβάνει μια ορθή αξιολόγηση των παρεμβολών μεταξύ των συμβόλων σύμφωνα με τις αρχές που περιγράφονται στα υποκεφάλαια 6.1.6 και 6.1.7.

❖ Άθροισμα εντάσεων πεδίου (Summation of field strengths)

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός δικτύου, είναι αναγκαίο να προβλεφθεί το επίπεδο της έντασης του πεδίου παρεμβολής, τόσο της εισερχόμενης όσο και της εξερχόμενης παρεμβολής στο δίκτυο, δηλαδή να προβλεφθεί η ένταση του πεδίου παρασίτων που παράγονται από ένα δίκτυο στην περιοχή κάλυψης ενός άλλου. Για τη διεθνή συνύπαρξη και προκειμένου να εκτιμηθεί η συμβατότητα, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ποσοτικά το άθροισμα των εξερχόμενων εντάσεων πεδίου από κάθε πομπό του δικτύου στην περιοχή κάλυψης των άλλων δικτύων που χρησιμοποιούν το ίδιο μπλοκ συχνοτήτων.

Για να προβλέψουμε την κάλυψη ενός δικτύου, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της επιθυμητής έντασης αλλά και της ανεπιθύμητης έντασης του πεδίου για ένα μεγάλο αριθμό σημείων δοκιμής (test points) και με αυτές τις τιμές να υπολογίζει το ποσοστό των τοποθεσιών που εξυπηρετούνται εντός της περιοχής κάλυψης. Η ανεπιθύμητη ένταση πεδίου είναι ένας συνδυασμός της αυτό-παρεμβολής από το ίδιο το δίκτυο, και των παρεμβολών από άλλα δίκτυα σε co & adjacent μπλοκς.

❖ Άθροισμα της εξερχόμενης παρεμβολής

Οι περιοχές κάλυψης που πρέπει να προστατεύονται στο σχέδιο κατανομής (Allotment Plan) περιγράφονται με τη βοήθεια μιας σειράς σημείων δοκιμής στο όριο της περιοχής κάλυψης, όπου η εισερχόμενη παρεμβολή έντασης του πεδίου πρέπει να παραμένει σε ή κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Για κάθε αντίστοιχη ζώνη συχνοτήτων η τιμή κατωφλίου για την αντίστοιχη ένταση πεδίου αποφασίζεται κατά την διάσκεψη του σχεδιασμού. Η τιμή συνήθως θεωρείται ως η μέγιστη co-block παρεμβολή έντασης πεδίου.

Για το σχεδιασμό των VHF T-DAB δικτύων στην Ευρώπη έχει οριστεί η τιμή των 27 dBμV/m από το συνέδριο σχεδιασμού Wiesbaden του '95. Ενώ για το φάσμα 1,5 GHz, έχει οριστεί η τιμή των 38 dBμV/m από το συνέδριο σχεδιασμού Maastricht του '02. Κατά το σχεδιασμό για εσωτερική λήψη (95% location probability) χρειάζεται μια αυξημένη τιμή να χρησιμοποιηθεί.

Ένα σύνολο σημείων δοκιμής (calculation test points) προκύπτει για κάθε κατανομή από τα σημεία δοκιμής στο όριο της περιοχής κάλυψης. Για κάθε αντίστοιχη ζώνη συχνοτήτων η τιμή κατωφλίου για την αντίστοιχη ένταση πεδίου αποφασίζεται κατά την διάσκεψη σχεδιασμού. Η τιμή συνήθως θεωρείται ως η μέγιστη co-block παρεμβολή έντασης πεδίου και αυξάνεται κατά ένα επαρκές περιθώριο (margin) για να διευκολυνθεί η εφαρμογή του δικτύου. Για το σχεδιασμό των VHF T-DAB δικτύων στην Ευρώπη έχει οριστεί η τιμή των 33 dBμV/m από το συνέδριο σχεδιασμού Wiesbaden του '95. Ενώ για το φάσμα 1,5 GHz, έχει οριστεί η τιμή των 41 dBμV/m από το συνέδριο σχεδιασμού Maastricht του '02. Κατά το σχεδιασμό για εσωτερική λήψη χρειάζεται μια αυξημένη τιμή να χρησιμοποιηθεί.

Μια κατανομή T-DAB κανονικά θα υλοποιηθεί ως ένα σύνολο σταθμών εκπομπής που θα λειτουργούν ως ένα SFN δίκτυο. Η "συνολική" ένταση πεδίου που εμφανίζεται σε καθένα από τα σημεία δοκιμής (calculation test points), υπολογίζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι είναι κάτω από την τιμή κατωφλίου που έχει συμφωνηθεί για το αποδεκτό επίπεδο παρεμβολών. Για τον σχεδιασμό του T-DAB στην Ευρώπη ο υπολογισμός αυτής της "συνολικής" έντασης του πεδίου γίνεται με τη βοήθεια της άθροισης των παρακάτω στοιχείων.

Η ατομική ένταση του πεδίου που παράγεται από κάθε πομπό του πραγματικού δικτύου σε κάθε σημείο δοκιμής (calculation test point) της κατανομής πρέπει να προσδιορίζεται με τη μέθοδο πρόβλεψης έντασης του πεδίου που ορίζεται στο σχέδιο Rec. ITU-R P.1546.

Οι επιμέρους εντάσεις των πεδίων που λαμβάνονται σε κάθε σημείο δοκιμής από κάθε σταθμό μετάδοσης της κατανομής προστίθεται χρησιμοποιώντας μια παραλλαγή της μεθόδου αθροίσματος της ισχύος, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Τα σήματα επεξεργάζονται σε φθίνουσα σειρά.

Το άθροισμα ισχύος λαμβάνεται ως εξής:

- αρχίζοντας από το μεγαλύτερο, όπου οι τιμές ισχύος είναι ισοδύναμες προς τις εντάσεις πεδίου παρεμβολής, προστίθενται το ένα μετά το άλλο
- σε κάθε άθροιση, το αποτέλεσμα συγκρίνεται με το προηγούμενο
- αν η αύξηση της ισχύος είναι μεγαλύτερη ή ίση από 0.5 dB, η διαδικασία της άθροισης συνεχίζεται
- αν η αύξηση της ισχύος είναι μικρότερη από 0,5 dB, η διαδικασία της άθροισης διακόπτεται και τα 0.5 dB προστίθενται, δίνοντας το αποτέλεσμα του αθροίσματος ισχύος.

❖ Network Gain

Σε ένα ενιαίο δίκτυο συχνότητας (SFN) δύο ή περισσότεροι πομποί παρέχουν κάλυψη στην ίδια περιοχή, χρησιμοποιώντας μια μόνο συχνότητα. Με ένα σωστά σχεδιασμένο δίκτυο προκύπτει ένα πλεονέκτημα που "αόριστα" ονομάζεται κέρδος του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή, οι πομποί δεν μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα και απαιτούν υψηλό βαθμό συγχρονισμού, επομένως:

- Τα σήματα που εκπέμπονται από διαφορετικούς πομπούς πρέπει να έχουν πανομοιότυπο περιεχόμενο και
- Οι εκπομπές σημάτων θα πρέπει να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα (ή να ελέγχονται με ακρίβεια οι καθυστερήσεις) και οι φορείς RF πρέπει να συμμορφώνονται με τις αυστηρές απαιτήσεις ακρίβειας συχνότητας.

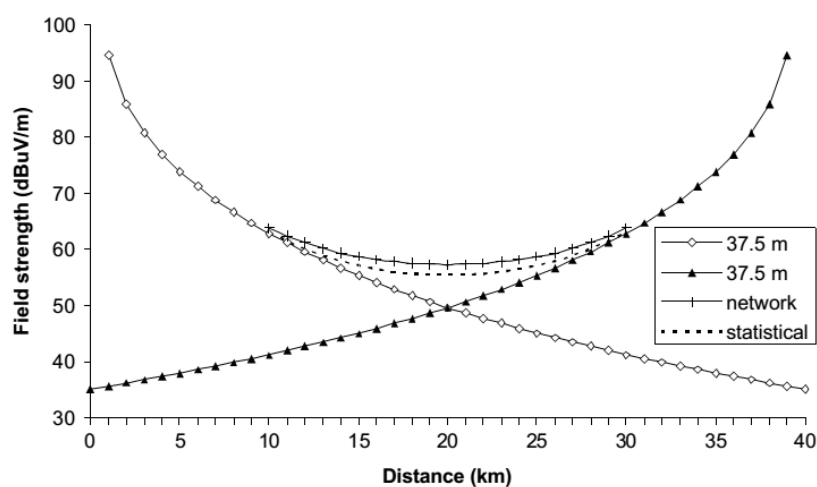
❖ Συνολικό κέρδος δικτύου και σχεδιασμός ενός SFN

Μερικές φορές αναφέρεται ότι το συνολικό κέρδος του δικτύου είναι το ποσό κατά το οποίο η ισχύς ενός SFN δικτύου μπορεί να μειωθεί και να εξακολουθεί να επιτυγχάνεται ένα συγκεκριμένο ποσοστό κάλυψης των τοποθεσιών. Αυτό ισχύει σε ορισμένες (συμμετρικές) περιπτώσεις, αλλά δεν είναι απαραίτητως αληθές σε περιπτώσεις όπου τα συμβαλλόμενα σήματα δεν είναι «ίδια».

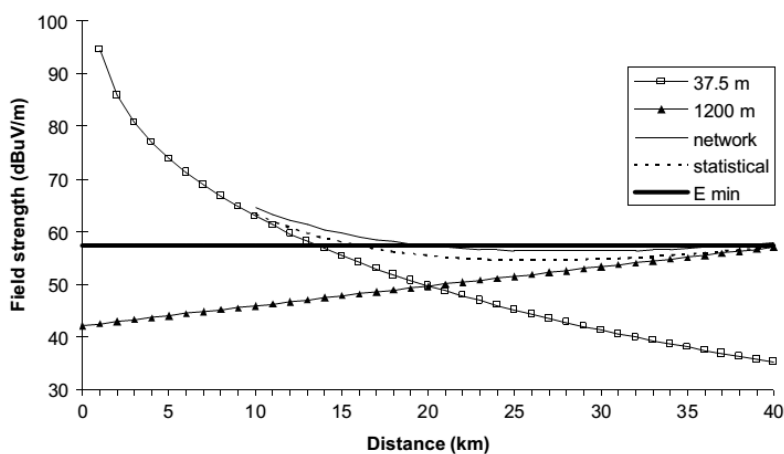
Στα Σχήματα 6.2.6 και 6.2.7, οι δύο χαμηλότερες καμπύλες με κλίση προς τα κάτω αριστερά και δεξιά, αντίστοιχα, αντιπροσωπεύουν τα επιμέρους επίπεδα της έντασης του πεδίου που επιτυγχάνονται κατά μήκος μιας γραμμής που χωρίζει δύο πομπούς. Στο Σχήμα 6.2.6, και οι δύο πομποί έχουν effective antenna height ίσο με 37,5 m και απέχουν μεταξύ τους 40 km. Στο Σχήμα 6.2.7, οι δύο πομποί έχουν effective antenna height ίσο με 37,5 m (στα αριστερά) και 1.200 m (στα δεξιά), αντίστοιχα, και απέχουν μεταξύ τους 140 χιλιόμετρα. Και στις δύο περιπτώσεις, οι εντάσεις του πεδίου από τους δύο πομπούς είναι ίσες, αποδίδοντας το μεγαλύτερο συνολικό κέρδος δικτύου σε απόσταση 20 χιλιομέτρων από τον πομπό στα αριστερά.

Ένα παράδειγμα μιας «συμμετρικής» περίπτωσης κέρδους δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 6.2.6. Εάν η ισχύς μειώνεται κατά το συνολικό κέρδος του δικτύου, το επίπεδο της έντασης του πεδίου αναφοράς θα εξακολουθεί να επεκτείνεται και αλλού.

Από την άλλη πλευρά ένα παράδειγμα μιας «ασύμμετρης» περίπτωσης κέρδους δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 6.2.7. Όπου φαίνεται ότι το επίπεδο της έντασης του πεδίου αναφοράς δεν επεκτείνεται παντού εάν η ισχύς μειώνεται κατά το μέγιστο συνολικό κέρδος ισχύος. Έτσι, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι πρέπει να ληφθεί μέριμνα με την οποία θα επιτρέπεται στους πομπούς σε ένα SFN να έχουν την ισχύ εκπομπής τους μειωμένη κατά το μέγιστο συνολικό κέρδος του δικτύου αποσκοπώντας στην διατήρηση της ίδιας επιθυμητής ελάχιστης έντασης του πεδίου σε όλα τα σημεία.



Εικόνα 6.2.6: Συμμετρική περίπτωση



Εικόνα 6.2.7: Ασύμμετρη περίπτωση

❖ Η επίδραση του κέρδους στην ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου

Στις υποενότητες 6.3.3 και 6.4.2 η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου που πρέπει να χρησιμοποιείται κατά τον σχεδιασμό προκύπτει για την περίπτωση ενός μόνο πομπού (MFN). Για την περίπτωση της κάλυψης με SFN πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα.

Λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητάς της, μια διαμόρφωση πολλαπλών σημάτων δεν επιτρέπει πλέον την ταυτοποίηση μιας ενιαίας, μοναδικής τιμής της έντασης του πεδίου η οποία πρέπει να υπερβαίνεται προκειμένου να επιτευχθεί η λήψη με ορθό τρόπο (όπως η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου κατά τον σχεδιασμό στη περίπτωση χρήσης ενός πομπού). Δεδομένου ότι συνήθως συναντάται μια μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων σήματος σε όλη την περιοχή κάλυψης ενός SFN δικτύου, ένας αντίστοιχα μεγάλος αριθμός διαφορετικών ελάχιστων απαιτήσεων για την κατάλληλη λήψη βρίσκονται σε όλη την περιοχή SFN. Η έννοια της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης του πεδίου δεν μπορεί πλέον να εφαρμοστεί επακριβώς κατά τον SFN σχεδιασμό. Μια εναλλακτική προσέγγιση για τον SFN σχεδιασμό βασίζεται 1^ο στην ελάχιστη ισοδύναμη ένταση του πεδίου που λαμβάνει χώρα στην περιοχή λήψης και 2^ο στην προβλεπόμενη πιθανότητα κάλυψης περιοχής (location coverage probability) με τα δύο παραπάνω να αποτελούν τις ελάχιστες απαιτήσεις. Η στατιστική μεταχείριση μιας συγκεκριμένης διαμόρφωσης σήματος και η σύγκριση της με τις νέες ελάχιστες απαιτήσεις οδηγεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος εάν κατά πόσο είναι δυνατή η κατάλληλη απολαβή σήματος στην υπό εξέταση περιοχή. Στην περίπτωση ενός πομπού η παραπάνω προσέγγιση είναι όμοια με την προσέγγιση της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης του πεδίου.

6.2.8 Ζητήματα που προκύπτουν στα MFN δίκτυα

Σε ειδικές περιπτώσεις όπου η περιοχή κάλυψης είναι πολύ μικρή, δηλαδή καλύπτει μόνο μερικά χιλιόμετρα σε διάμετρο, μπορεί να μην συμφέρει οικονομικά αλλά και να μην είναι εύκολο να διαπιστωθεί αν αρκετοί πομποί θα μπορούσαν να σχηματίσουν ένα ενιαίο δίκτυο συχνότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να γίνει χρήση ενός και μόνο πομπού.

Στην περίπτωση που έχουμε αρκετές μικρές περιοχές και μεταξύ τους είναι συνεχόμενες, τότε σε κάθε μια παραχωρείται μια συγκεκριμένη συχνότητα και όλες εξυπηρετούνται από έναν μοναδικό - ενιαίο πομπό. Με αυτό το τρόπο σχηματίζεται ένα ενιαίο δίκτυο πολλαπλών συχνοτήτων (MFN).

Σε ένα δίκτυο MFN όπου όλοι οι πομποί εκπέμπουν μεμονωμένα τις πολυπλεξίες παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κανένα κέρδος στο δίκτυο (network gain).

Στα MFN δίκτυα με αλληλοεπικάλυψη για ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα, μπορούν να υπάρξουν πολλές περιοχές λήψης που μπορούν να καλυφθούν με περισσότερους

από έναν πομπούς εισάγοντας έτσι ένα ορισμένο επίπεδο πλεονασμού στις πηγές σήματος και στη βελτίωση της διαθεσιμότητας των υπηρεσιών.

Με άλλα λόγια σε μια κατάσταση σταθερής λήψης, η στατιστική πιθανότητα λήψης από έναν σταθμό κάλυψης θα αυξηθεί. Σε μια κατάσταση κινητής λήψης, για παράδειγμα στην FM μετάδοση ήχου με σύστημα RDS υπάρχει η δυνατότητα αυξημένης κάλυψης για ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα «μεταγωγής συχνότητας» σε περιοχές όπου η ένταση του πεδίου από μία πηγή καθίσταται ανεπαρκής, ενώ από άλλη πηγή, χρησιμοποιώντας διαφορετική συχνότητα, θα έχει αυξηθεί. Φυσικά δεν υπάρχει επιπρόσθετο κέρδος δικτύου σε αυτό το είδος της κατάστασης του δικτύου MFN. Το πλεονέκτημα που προκύπτει εδώ είναι αποκλειστικά από τη στατιστική αύξηση του κέρδους του δικτύου.

Για την κάλυψη μεγαλύτερων περιοχών δεν υπάρχει κάποιο πλεονέκτημα στα δίκτυα MFN ώστε να επιλέξουμε να τα χρησιμοποιήσουμε ιδίως λόγω του αυξημένου φάσματος που απαιτείται σε σύγκριση με ένα δίκτυο SFN. Αυτό προϋποθέτει, βέβαια, ότι η περιοχή δεν είναι πολύ μεγάλη για να καταφέρει να την καλύψει ένα δίκτυο SFN. Επιπλέον, το επίπεδο της εξερχόμενης παρεμβολής από έναν πομπό (MFN) είναι μια συνάρτηση ισχύος η οποία απαιτείται για να παρέχει την προβλεπόμενη κάλυψη σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Σε ένα σωστά σχεδιασμένο δίκτυο SFN η ίδια περιοχή μπορεί να καλύπτεται, ενώ η παραγόμενη εξερχόμενη παρεμβολή να ελαχιστοποιείται.

6.2.9 Δικτυακή υποδομή και κάλυψη

Ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιασμού κάλυψης είναι να παρέχει διαχειριστικά το δικαίωμα παροχής υπηρεσιών εντός της ζώνης κάλυψης, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες συχνότητες ή κανάλια και το δικαίωμα να προκαλεί παρεμβολές εντός των συμφωνηθέντων ορίων. Ένα πλεονέκτημα του σχεδιασμού κάλυψης είναι ότι υπάρχει ανάγκη για λεπτομερή γνώση των εργασιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην πράξη. Θεωρείται δεδομένο ότι η κάλυψη θα υλοποιηθεί ως ένα σύνολο μετάδοσης σταθμών που θα λειτουργούν ως ένα ενιαίο δίκτυο συχνότητας σε μεταγενέστερο στάδιο, μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Οι τελευταίοι αναφέρονται στη συνέχεια ως ένα «πραγματικό δίκτυο».

Ο σχεδιασμός γίνεται συνήθως για ένα συγκεκριμένο σύστημα (όπως το T-DAB ή το DVB-T) για τα οποία είναι γνωστές οι ελάχιστες απαιτούμενες εντάσεις των πεδίων και των δεικτών προστασίας. Οι μόνες επιπλέον παράμετροι που απαιτούνται από την αρχή στο σχεδιασμό κάλυψης είναι ο ορισμός της περιοχής που πρέπει να καλυφθεί και μια λίστα με τα κανάλια που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Ένα σχέδιο κάλυψης, δηλαδή μια αντιστοιχία μεταξύ της κάθε περιοχής κάλυψης και ενός συγκεκριμένου καναλιού (ή καναλιών), μπορούν να αναπτυχθούν με βάση τα επιτρεπτά επίπεδα σήματος που εκπέμπονται έξω από την περιοχή κάλυψης, δηλαδή με βάση την πιθανή παρεμβολή. Με τον τρόπο αυτό και με επαρκή αριθμό διαθέσιμων καναλιών και «καλό» σχεδιασμό, είναι δυνατόν να εξαχθεί το «συμβατό» σχέδιο, δηλαδή αυτό που είναι «χωρίς παρεμβολές» και την ίδια στιγμή είναι αποτελεσματικό στη χρήση του φάσματος.

Μία εύκολη μέθοδος για να γίνει αυτό είναι να οριστεί ένας «πομπός αναφοράς» (για τον σχεδιασμό MFN) ή ένα «δίκτυο αναφοράς» (για SFN σχεδιασμό). Τα δίκτυα αναφοράς αναφέρονται παρακάτω, αλλά η έννοια και η χρήση των πομπών αναφοράς είναι ανάλογη.

6.2.10 Δίκτυα αναφοράς (Reference networks)

Το δίκτυο αναφοράς (Reference Network) είναι ένα βασικό εργαλείο για τον σχεδιασμό της κάλυψης και για την αξιολόγηση της εξερχόμενης παρεμβολής από μια δεδομένη κάλυψη, επιτυγχάνοντας παράλληλα την πλήρη κάλυψη της περιοχής. Είναι ένα θεωρητικό κατασκεύασμα που συνήθως αποτελείται από ένα σύνολο πομπών αναφοράς γεωμετρικά διατεταγμένων ως ένα κανονικό πολύγωνο (για παράδειγμα ένα τετράγωνο ή ένα εξάγωνο) και οι διαστάσεις του πολυγώνου αναφοράς μπορεί να είναι μεγάλες (π.χ. μήκος πλευράς 100 χιλιομέτρων ή και περισσότερο) ή μικρές (π.χ. μήκος πλευράς 20 χιλιομέτρων ή λιγότερο) ή οπουδήποτε ενδιάμεσα.

Στις κορυφές (και ίσως επίσης και στο κέντρο) του πολυγώνου αναφοράς, τα χαρακτηριστικά του πομπού καθορίζουν το πως θα εξασφαλιστεί η επαρκής κάλυψη σε όλη την περιοχή του δικτύου δηλαδή, την ελάχιστη ένταση του πεδίου που θα επιτευχθεί (ή της υπέρβασης) παντού εντός του δικτύου χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά των πομπών αναφοράς. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν στοιχεία όπως για παράδειγμα το ποιο είναι το αποτελεσματικό ύψος κεραίας (effective antenna height), το ERP (Effective Radiated Power), το διάγραμμα κεραίας, και ίσως και άλλες παραμέτρους. (Βλέπε πίνακες 11 και 12).

Όταν εδραιωθεί η σύνδεση με το δίκτυο αναφοράς, η παρεμβολή που δημιουργείται από τα εξερχόμενα δεδομένα μπορεί να υπολογιστεί. Αυτή υπολογίζεται εύκολα με μια εξίσωση αθροισμάτων υψωμένα σε δυνάμεις αθροίζοντας τις συνεισφορές από τις μεμονωμένες εντάσεις που προκύπτουν από τους πομπούς αναφοράς που βρίσκονται επί των κορυφών και του κέντρου του πολυγώνου του δικτύου αναφοράς. Ένα σημείο λογίζεται σαν σημείο αναφοράς (και νοείται στα όρια του δικτύου αναφοράς), όταν βοηθάει στον υπολογισμό της εξερχόμενης παρεμβολής από το δίκτυο αναφοράς (Βλέπε σχήματα 6.2.9, 6.2.10, 6.2.11, 6.2.12, και 6.2.13).

Μια εύχρηστη μέθοδος που εφαρμόζεται με σκοπό την μέτρηση του μεγέθους του δικτύου αναφοράς είναι η χρήση της ακτίνας κάλυψης η οποία είναι κατά προσέγγιση, το ήμισυ της αποστάσεως μεταξύ ενός ζεύγους κορυφών του πολυγώνου αναφοράς με το μεγαλύτερο διαχωρισμό. Το δίκτυο αναφοράς 1 της κατηγορίας 1.5 GHz που χρησιμοποιήθηκε και στο Maastricht του 2002 αποτελεί ένα "ανοικτό" δίκτυο για το οποίο ο ορισμός της ακτίνας κάλυψης του είναι κάπως διαφορετικός.

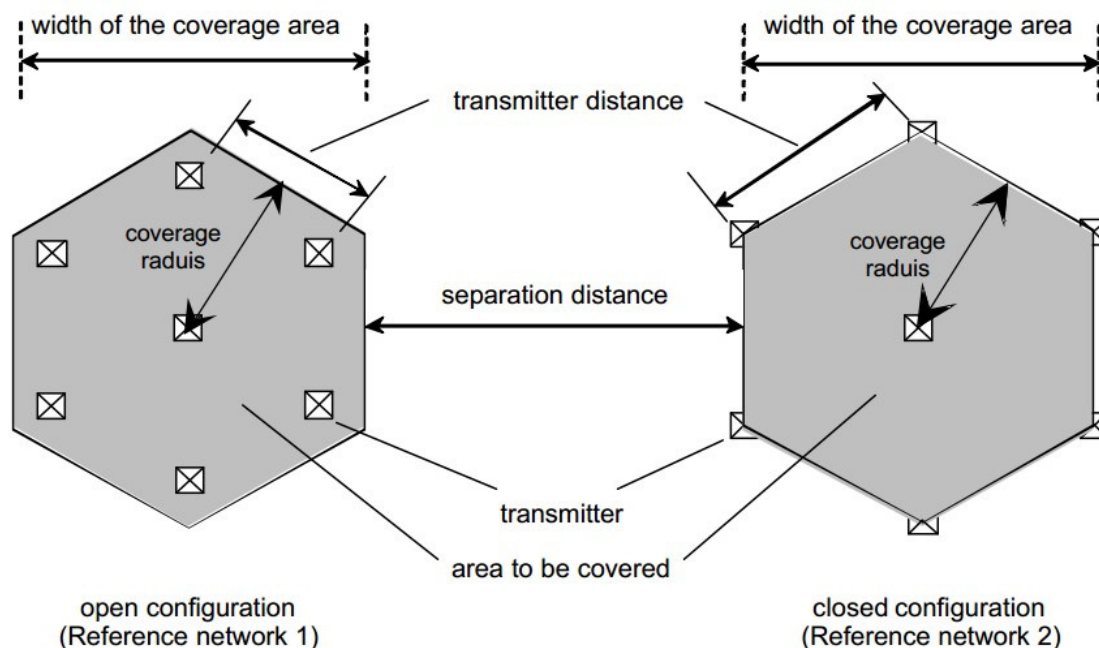
Με σκοπό την βελτιστοποίηση του δικτύου αναφοράς, οι συνδυασμοί των σχετικών παραμέτρων που έχουν επιλεγεί για ελαχιστοποιούν την αναλογία της απόστασης διαχωρισμού στην ακτίνα κάλυψης όσο το δυνατόν περισσότερο, ταυτόχρονα εξασφαλίζουν ότι πληρούνται και οι άλλες απαιτήσεις του σχεδιασμού του δικτύου.

Ένα ή περισσότερα διαφορετικά δίκτυα αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα στο σχεδιασμό της κάλυψης, ενώ μόνο ένα δίκτυο αναφοράς μπορεί να οριστεί σε κάθε κάλυψη. Το μέγεθος του δικτύου αναφοράς που θα επιλεγεί θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από το είδος της υπηρεσίας που επιθυμούμε.

Είναι συχνά βολικό να αναπτύσσουμε τις καμπύλες παρεμβολής του δικτύου αναφοράς βάσει της συνολικής συνδυασμένης παρεμβολής από το ίδιο το δίκτυο αναφοράς. Αυτές οι καμπύλες δημιουργούνται με την προϋπόθεση ότι δεν θα είναι οι ίδιες με τις καμπύλες πολλαπλασιασμού που καθορίζουν το μοντέλο διάδοσης που θα συμφωνηθεί.

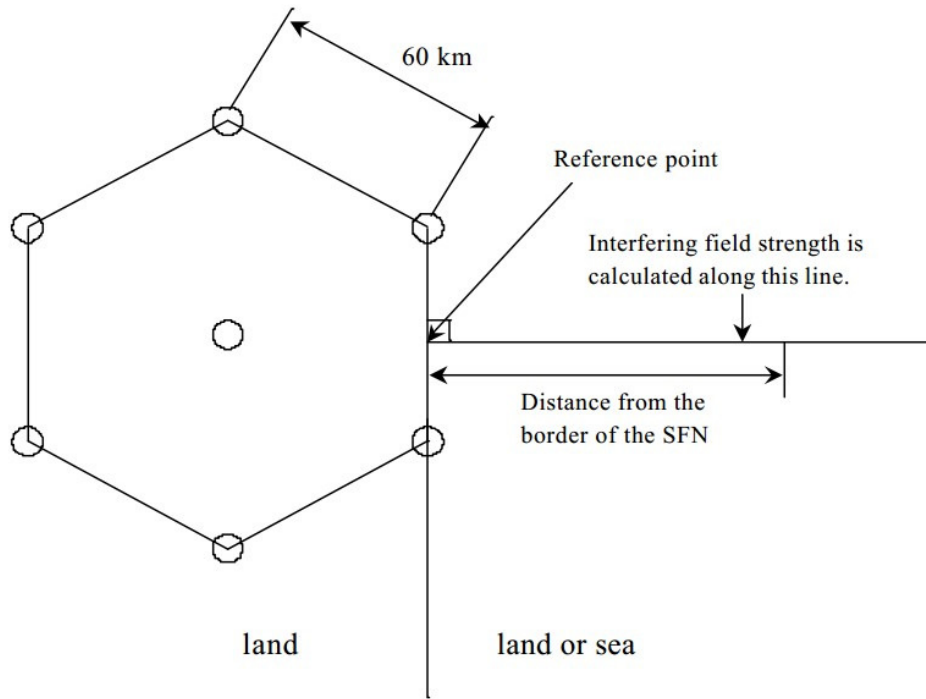
Το Δίκτυο αναφοράς VHF που χρησιμοποιείται στο Wiesbaden 1995 φαίνεται στο Σχήμα 6.2.9. Για την περιοχή VHF υπάρχουν δύο νέα δίκτυα αναφοράς και έχουν αναπτυχθεί για περιπτώσεις όπου η ακτίνα της περιοχής κάλυψης είναι σημαντικά μικρότερη από 52 χιλιόμετρα και αυτό φαίνεται στα σχήματα 6.2.10 και 6.2.11. Τα τεχνικά στοιχεία και για τα τρία δίκτυα δίνονται στον Πίνακα 11.

Τα τρία δίκτυα αναφοράς για την υλοποίηση με συχνότητα 1,5 GHz, όπως χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του T-DAB στο Μάαστριχτ του 2002 παρουσιάζονται παρακάτω στα σχήματα 6.2.12, 6.2.13 και 6.2.11. Τα τεχνικά στοιχεία για τα εν λόγω δίκτυα αναφοράς δίνονται στον Πίνακα 12.

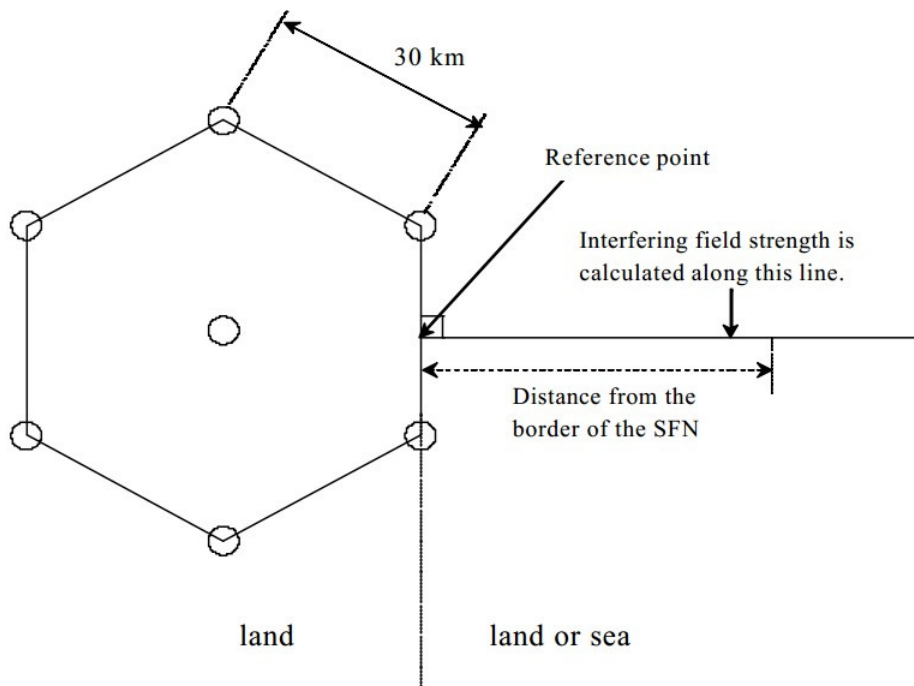


Εικόνα 6.2.8: Παράδειγμα της δομής του δικτύου T-DAB και των αποστάσεων του στην περίπτωση co-block.

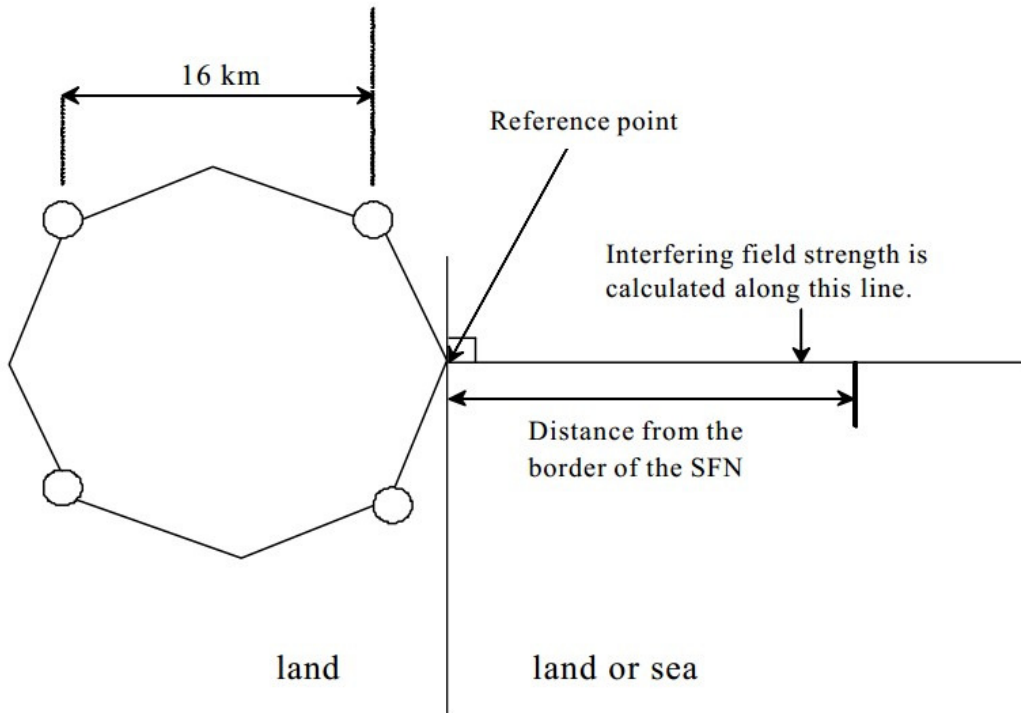
Σημείωση: Σε αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά δίκτυα εκπομπής με 7 πομπούς. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα και για άλλες υλοποιήσεις.



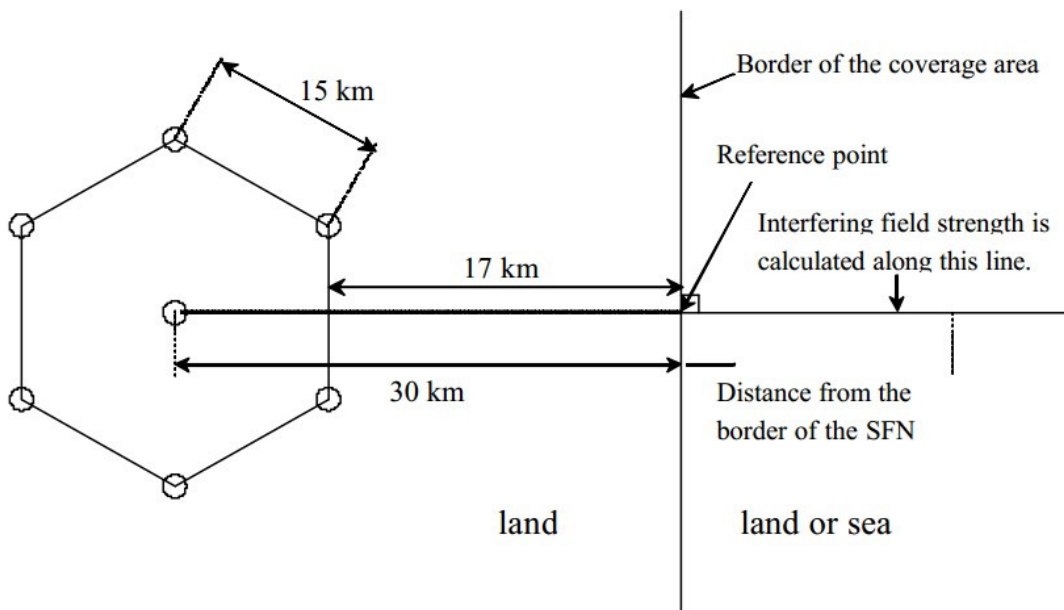
Εικόνα 6.2.9: Διάγραμμα VHF Δικτύου Αναφοράς 1, (κλειστό δίκτυο)



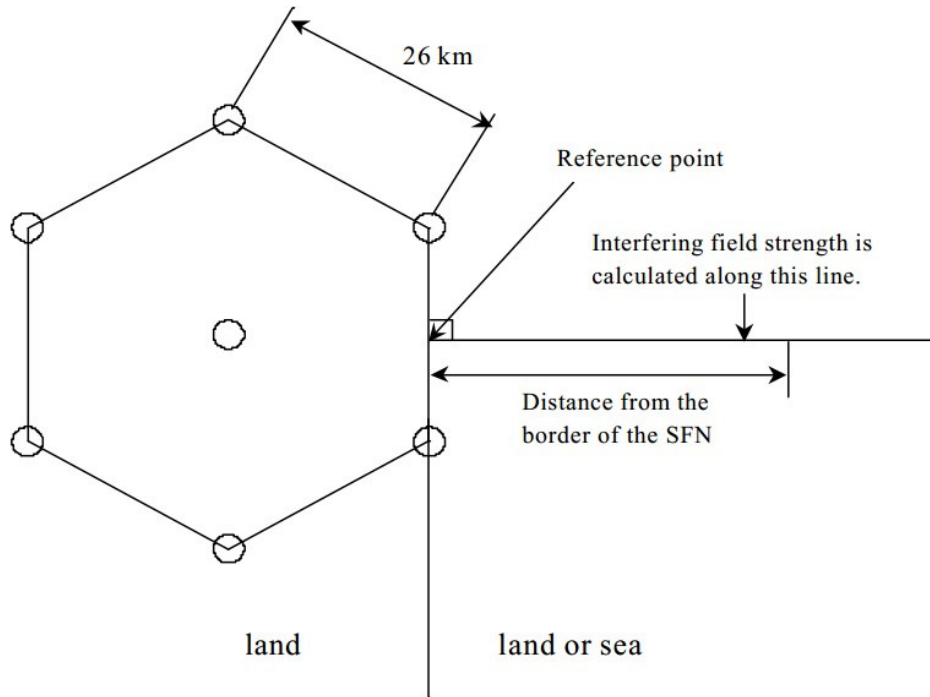
Εικόνα 6.2.10: Διάγραμμα VHF Δικτύου Αναφοράς 2, (κλειστό δίκτυο)



Εικόνα 6.2.11: Διάγραμμα των VHF και 1,5 GHz Δικτύων Αναφοράς, (κλειστό δίκτυο)



Εικόνα 6.2.12: Διάγραμμα του 1,5 GHz Δικτύου Αναφοράς 1, (ανοικτό δίκτυο)



Εικόνα 6.2.13: Διάγραμμα του 1,5 GHz δικτύου αναφοράς 2, (κλειστό δίκτυο)

Βλέποντας τα αποτελέσματα των πινάκων 14 και 18 με τις τιμές της ελάχιστης μέσης έντασης πεδίου καθίσταται σαφές ότι υψηλότερες τιμές εντάσεως πεδίου απαιτούνται όταν ο σχεδιασμός δικτύου αφορά απολαβή σήματος από φορητές συσκευές εντός κτηρίου. Η ανάγκη αυτή μπορεί να καλυφθεί είτε με την αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος των πομπών στα δίκτυα αναφοράς αντιστοίχως είτε μέσω του προσεκτικού σχεδιασμού του πραγματικού δικτύου που θα υλοποιηθεί για την κάλυψη της εκάστοτε περιοχής.

Αριθμός δικτύου αναφοράς:	VHF RN 1	VHF RN 2	VHF RN 3
Αριθμός πομπών:	7	7	4
Τύπος δικτύου:	Κλειστό	Κλειστό	Κλειστό
Γεωμετρία δικτύου:	εξάγωνο	εξάγωνο	τετράγωνο (οκτάγωνο))
Αποτελεσματικό ύψος κεραίας			
Περιφερειακοί πομποί:	150μ	50μ	50μ

Κεντρικοί πομποί:	150μ	150μ	n.a.
Απόσταση πομπών:	60χλμ	30χλμ	16χλμ
Εκπεμπόμενη ισχύς			
Περιφερειακός πομπός:	1 kW / 30 dBW	316 W / 25 dBW	56 W / 12.5 dBW
Κεντρικός πομπός:	0.1 kW / 20 dBW	80 W / 19 dBW	n.a.
Κατευθυντικότητα κεραίας			
Περιφερειακός πομπός:	-12 dB (πάνω από 240°)	-12 dB (πάνω από 240°)	-12 dB (πάνω από 225°)
Κεντρικός πομπός:	Μη κατευθυντικός	Μη κατευθυντικός	n.a.
Ακτίνα κάλυψης:	52χλμ	26χλμ	12.5χλμ

Πίνακας 11: Κύρια χαρακτηριστικά για τα δίκτυα αναφοράς τα οποία ισχύουν για το σχεδιασμό στην περιοχή των συχνοτήτων VHF.

Αριθμός δικτύου αναφοράς:	1.5 GHz RN 1	1.5 GHz RN 2	1.5 GHz RN 3
Αριθμός πομπών:	7	7	4
Τύπος δικτύου:	Ανοιχτό	Κλειστό	Κλειστό
Γεωμετρία δικτύου:	εξάγωνο	εξάγωνο	Τετράγωνο (οκτάγωνο)
Αποτελεσματικό ύψος κεραίας:			
Περιφερειακός πομπός:	150μ	50μ	50μ
Κεντρικός πομπός:	150μ	150μ	n.a.
Απόσταση πομπών:	15χλμ	26χλμ	16χλμ
Εκπεμπόμενη ισχύς			
Περιφερειακός πομπός:	1 kW / 30 dBW	5 kW / 37 dBW	1 kW / 30 dBW
Κεντρικός πομπός:	0.5 kW / 27 dBW	1.25 kW / 31 dBW	n.a.

Κατευθυντικότητα κεραίας			
Περιφερειακός πομπός:	Μη κατευθυντικός	-12 dB (πάνω από 240°)	-12 dB (πάνω από 225°)
Κεντρικός πομπός:	Μη κατευθυντικός	Μη κατευθυντικός	-
Ακτίνα κάλυψης:	30χλμ	22.5χλμ	12.5χλμ

Πίνακας 12. Βασικά χαρακτηριστικά για τρία δίκτυα αναφοράς στην περιοχή των 1,5GHz

6.2.11 Σκοπός και χρήση

Προσοχή: Θα πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι ο σκοπός ενός δικτύου αναφοράς είναι στο να διευκολύνει τον σχεδιασμό κάλυψης στα αρχικά του στάδια και να χρησιμεύει ως ένα είδος καθοδήγησης κατά την υλοποίηση των εργασιών εντός της ζώνης κατανομής σε μεταγενέστερο στάδιο.

Σε γενικές γραμμές, μια κατανομή που έχει τεθεί σε εφαρμογή, δηλαδή εκείνη στην οποία έχουν εισαχθεί αναθέσεις, δεν θα μοιάζει αναγκαστικά με το θεωρητικό δίκτυο αναφοράς, σύμφωνα με το οποίο βασίστηκε η κατανομή.

Εν συντομία: Το δίκτυο αναφοράς είναι ένα εργαλείο για την ανάπτυξη κατάλληλων τιμών που αφορά τις αποστάσεις διαχωρισμού κατανομής και για την εκτίμηση του πόσες παρεμβολές μπορούν να παραχθούν από ένα τυπικό δίκτυο SFN σε μια δεδομένη απόσταση.

Για λόγους απλότητας, μια περιοχή κάλυψης μπορεί να οριστεί ως ένα πολύγωνο χρησιμοποιώντας μια σειρά γεωγραφικών οριακών σημείων δοκιμής. Όπως υποδηλώνει και το όνομα, τα οριακά σημεία δοκιμής πρέπει να βρίσκονται στα όρια της αρχικά προβλεπόμενης περιοχής κάλυψης και επιπλέον να βρίσκονται αρκετά κοντά το ένα στο άλλο (συνήθως γύρω στα 20-50χλμ διαχωρισμού), έτσι ώστε το προκύπτον πολύγωνο να αποτελεί μια καλή προσέγγιση για την προβλεπόμενη περιοχή κάλυψης.

Μια καλή πρακτική είναι να χρησιμοποιείται ένα δίκτυο αναφοράς παρόμοιου ή και μικρότερου μεγέθους από την περιοχή κάλυψης.

Για τον υπολογισμό της εξερχόμενης παρεμβολής κατά τον προσδιορισμό της συμβατότητας μεταξύ των περιοχών κάλυψης (ή μεταξύ, της περιοχής κάλυψης και μιας άλλης υπηρεσίας), το σημείο αναφοράς του δικτύου (αναφοράς) τοποθετείται σε κάθε περιοχή δοκιμής στα όρια της κάλυψης (και επίσης στα σημεία με ίση απόσταση μεταξύ διαδοχικών περιοχών δοκιμής στα όρια της κάλυψης) και εκτελούνται υπολογισμοί αντοχής για τη ζητούμενη περιοχή κάλυψης και το δυναμικό πεδίο παρεμβολής.

Η στάθμη παρεμβολής που προκύπτει υπολογίζεται σε κάθε ένα από τα σημεία δοκιμής του ορίου των άλλων κατανομών (ή άλλων υπηρεσιών) που ενδέχεται να επηρεαστούν. Κατά μία έννοια, αυτό οδηγεί σε μια απόσταση διαχωρισμού / επαναχρησιμοποίησης που απαιτείται μεταξύ των ενδοκαναλικών κατανομών. Αυτή

η απόσταση διαχωρισμού / επαναχρησιμοποίησης είναι συνάρτηση της μορφολογίας που χωρίζει τις δύο κατανομές (όπως για παράδειγμα, η μορφολογία του εδάφους ή οι συνθήκες σε μια θαλάσσια περιοχή ή ο συνδυασμός όλων των φυσικών στοιχείων σε μια περιοχή).

Σε σενάρια με πολύπλοκο σχεδιασμό (π.χ. στο Μάαστριχτ 2002) μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα δίκτυα αναφοράς με σκοπό να καλύψουν μια πληθώρα αναγκών της εκάστοτε υπηρεσίας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ασυμμετρίες στις απαιτούμενες αποστάσεις διαχωρισμού σε σχέση με το είδος των δικτύων αναφοράς που αλληλοεπιδρούν.

Με σκοπό την παροχή ευελιξίας στην ανάπτυξη υπηρεσιών, είναι αναγκαίο να προβλεφθεί ένα συνολικό όριο για την παρεμβολή που θα μπορούσε να δημιουργηθεί από ένα σύνολο εργασιών που δημιουργήθηκαν κατά την εφαρμογή ή τη μετατροπή μιας κατανομής. Για να γίνει αυτό η περιοχή κάλυψης περιβάλλεται από σημεία δοκιμής υπολογισμού. Τα σημεία δοκιμής υπολογισμού ορίζονται με τη βοήθεια του δικτύου αναφοράς και βρίσκονται έξω από την περιοχή κάλυψης σε απόσταση κατά την οποία η παρεμβολή από το δίκτυο αναφοράς επιτυγχάνει μια καθορισμένη τιμή αναφοράς.

Εάν εν τέλει δεν προκύψουν άλλες συνθήκες, τότε μια κατανομή - κάλυψη (allotment) μπορεί να μετατραπεί σε αναθέσεις (assignments) χωρίς περιορισμούς παρέχοντας το άθροισμα της έντασης της παρεμβολής του πεδίου στο πραγματικό δίκτυο (χρησιμοποιώντας για παράδειγμα το συμφωνημένο πρότυπο πρόβλεψης έντασης πεδίου π.χ. το Rec. ITU-R P.1546 [4]). Το οποίο άθροισμα δεν πρέπει να υπερβαίνει την καθορισμένη τιμή αναφοράς στα σημεία δοκιμής.

6.2.12 Μετατροπή μιας κατανομής σε ένα σύνολο αναθέσεων

Όταν ένας δικτυακός πομπός έχει σχεδιαστεί με σκοπό την κάλυψη μιας περιοχής, η κάλυψη μετατρέπεται σε μια σειρά από αναθέσεις. Μια διαδικασία βήμα προς βήμα δίνεται παρακάτω.

Το σημείο εκκίνησης είναι η οριοθετημένη περιοχή κάλυψης, που περιγράφεται από τα σημεία δοκιμής στα όρια της κάλυψης καθώς και από τα σημεία δοκιμής υπολογισμού.

- a) Εντοπισμός των σχετικών πιθανών θέσεων εκπομπής. Για την παροχή καλύτερης δυνατής λήψης εντός κτηριακών μονάδων σε αστικές περιοχές συνιστάται να εξεταστούν τα κέντρα εκπομπής που βρίσκονται κοντά σε αυτές τις περιοχές ως μέρος του συνόλου του δικτύου.
- b) Καθορισμός αρχικών τιμών για το ύψος της κεραίας, του τύπου της κεραίας και του ERP για κάθε σταθμό.
- c) Υπολογισμός της κάλυψης στην περιοχή κάλυψης, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα σήματα παρεμβολής από άλλα co-block T-DAB και VHF δικτύων, καθώς επίσης και από τους πομπούς τηλεόρασης. Αν τα συγκεκριμένα στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα για ένα co-block T-DAB περιοχής κάλυψης,

τότε θα πρέπει να εκπροσωπούνται από το δίκτυο αναφοράς που καθορίζεται για την περιοχή.

- d) Υπολογισμός των εντάσεων του πεδίου στα σημεία υπολογισμού και έλεγχος υπέρβασης της οριακής τιμής.
- e) Κατάλληλες αλλαγές στο αρχικό σχέδιο του δικτύου και επανάλυση των βημάτων c και d, μέχρις ότου επιτευχθεί η ικανοποιητική κάλυψη και δεν γίνεται υπέρβαση της τιμής κατωφλίου στα σημεία υπολογισμού.
- f) Υπάρχουν περιπτώσεις όπου και τα δύο κριτήρια δεν μπορούν να ικανοποιηθούν με εύλογο κόστος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το δίκτυο θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί ώστε να υπερβαίνει την τιμή κατωφλίου στα σημεία δοκιμής υπολογισμού όσο το δυνατόν λιγότερο ενώ παράλληλα θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ακόμη αποδεκτό ποσοστό κάλυψης.
- g) Καλό θα είναι να σχεδιαστεί το πλήρες δίκτυο, ακόμη και σε περιπτώσεις μόνο των τμημάτων του, που πρόκειται να υλοποιηθούν (δηλαδή στο εγγύς μέλλον).
- h) Η διαδικασία μετατροπής μιας κάλυψης εφαρμόζεται σε μια σειρά από αναθέσεις που δίνονται στη σχετική συμφωνία του άρθρου 6 του WI95/02 και του MA02, όπου αναφέρεται ότι:
 - Εάν το δίκτυο δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές σε οποιοδήποτε σημείο συντονισμού, ο υπολογισμός δεν είναι απαραίτητος.
 - Εάν η τιμή κατωφλίου υπερβαίνεται σε ένα ή περισσότερα σημεία δοκιμής υπολογισμών τότε πρέπει να εφαρμοστεί συντονισμός από κοινού με τους υπευθύνους διαχειριστές της εκάστοτε περιοχής στην οποία ανήκουν τα εν λόγω σημεία δοκιμής. Ο συντονισμός ενδέχεται να οδηγήσει σε συμφωνίες, που επιτρέπουν υψηλότερες εντάσεις πεδίου, με τους διαχειριστές που εμπλέκονται σε περιοχές για κάποια από τα σημεία δοκιμής.

6.3 Επίγειο DAB & Σχεδιασμός δικτύου VHF

Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτή την ενότητα, είναι τεχνικά βασισμένες στη χρήση του Wiesbaden '95. Το συγκεκριμένο πλάνο, αρχικά χρησιμοποιήθηκε για κινητή λήψη, ωστόσο προκειμένου να διευκολυνθεί και η λήψη σε εσωτερικούς χώρους, θεωρήθηκε αναγκαία η προσθήκη επιπλέον πτυχών έχοντας ως αποτέλεσμα την τροποποίηση των παραμέτρων σχεδιασμού.

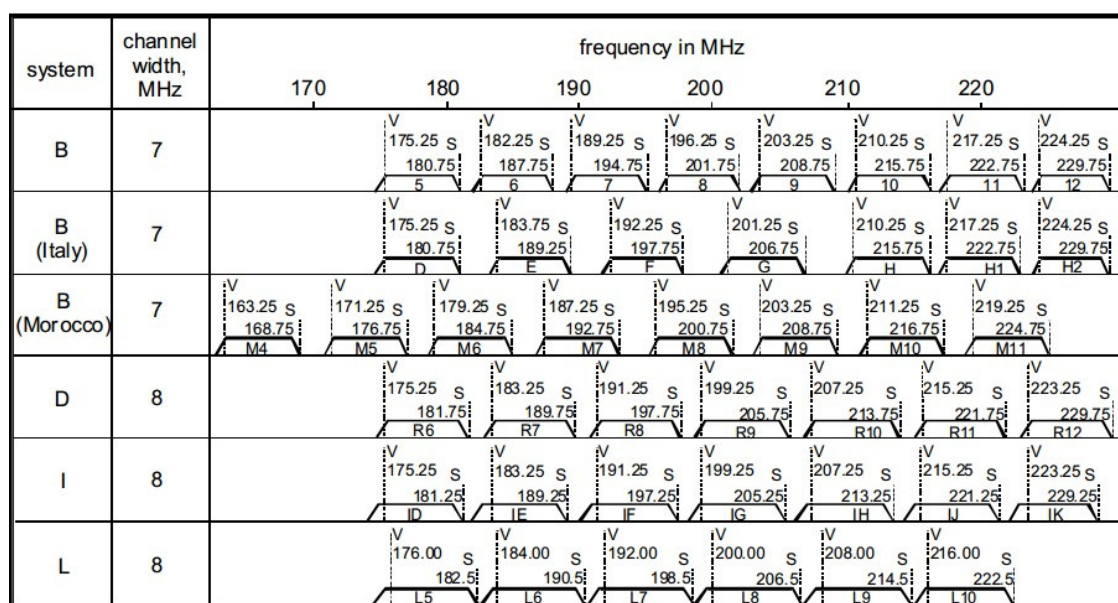
Αυτή η ενότητα αναλύει τα στοιχεία που σχετίζονται με το σχεδιασμό του δικτύου VHF Band III για λήψη σε κινητές και άλλες φορητές συσκευές σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου όπως επίσης και για λήψη κατά αντιστοιχία σε

εσωτερικούς χώρους.

6.3.1 Συνύπαρξη με την τηλεόραση

Στις περισσότερες χώρες η Band III χρησιμοποιείται σε υπηρεσίες τηλεόρασης που χρησιμοποιούν διάφορα συστήματα με διαφορετικό πλάτος καναλιού και επομένως διαφορετικές οπτικές και ηχητικές συχνότητες (Βλέπε εικόνα 6.3.1). Το T-DAB χρησιμοποιεί ένα μπλοκ με εύρος συχνότητας στα 1534MHz. Οι κεντρικές συχνότητες έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε 7MHz τηλεοπτικού καναλιού του συστήματος Β να μπορούν να φιλοξενηθούν τέσσερα τμήματα ραδιοσυχνοτήτων T-DAB συμπεριλαμβανομένων και των ζωνών προστασίας.

Η παρουσία των 7 διαφορετικών raster καναλιών (ο όρος raster αναφέρεται στις οθόνες με σωλήνα καθοδικών ακτινών (CRT) ή στις οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD) για την ικανότητά τους να επεξεργαστούν τις εικόνες που θα προβάλλουν.) στην Ευρώπη οδηγεί σε επικαλύψεις μεταξύ των T-DAB τμημάτων και των τηλεοπτικών καναλιών, όπου η τηλεοπτική υπηρεσία δεν κάνει χρήση του συστήματος Β.



Εικόνα 6.3.1: Εγκχώρηση καναλιών στην Band III στην Ευρώπη

6.3.2 Θέσεις των τμημάτων συχνότητας του T-DAB

Ο πίνακας 13 δείχνει το εναρμονισμένο σύστημα διαυλισμού του T-DAB για την Band III. Αυτό βασίζεται στις προσαυξήσεις των 16KHz συντονισμού και τυπικά στις ζώνες προστασίας από 176 KHz μεταξύ των παρακείμενων τμημάτων συχνότητας του T-DAB σε ένα δεδομένο τηλεοπτικό κανάλι.

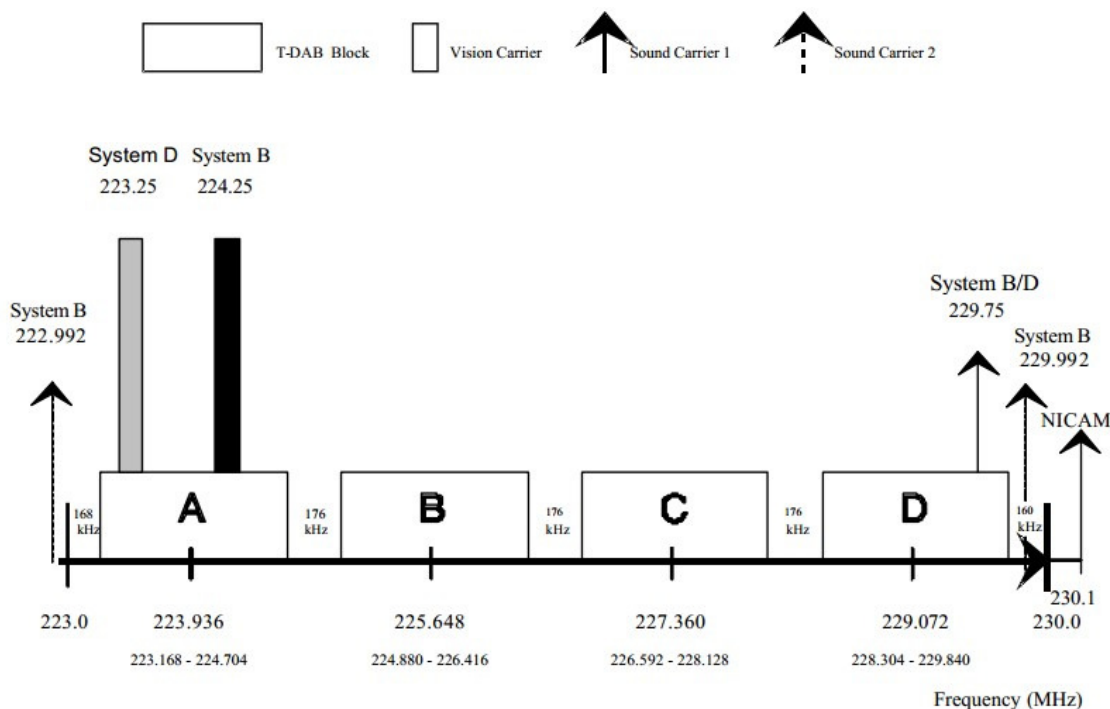
Για να ενισχυθεί η συμβατότητα με τον ήχο της τηλεόρασης, οι ζώνες προστασίας για τα τμήματα συχνοτήτων A του T-DAB (κανάλι N) και για τα τμήματα συχνοτήτων D (κανάλι N-1) είναι είτε 320KHz ή 336KHz. Η θέση των τμημάτων συχνοτήτων του T-DAB εντός του καναλιού 12 απεικονίζεται στην εικόνα 6.3.2. Το σχήμα είναι αντιπροσωπευτικό για όλα τα τηλεοπτικά κανάλια από 5 έως 12 εκτός από τις μικρές διακυμάνσεις του πλάτους των ζωνών προστασίας μεταξύ των καναλιών.

Η Band από 230-240 MHz καλείται αλλιώς και «Κανάλι 13» και έχει χωριστεί σε 6 T-DAB τμήματα όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.3.3. Η ζώνη προστασίας μεταξύ των τμημάτων 13C και 13D είναι μόνο 32KHz γεγονός το οποίο καθιστά δύσκολη την χρησιμοποίηση αυτών των δύο τμημάτων σε παρακείμενες περιοχές εξυπηρέτησης.

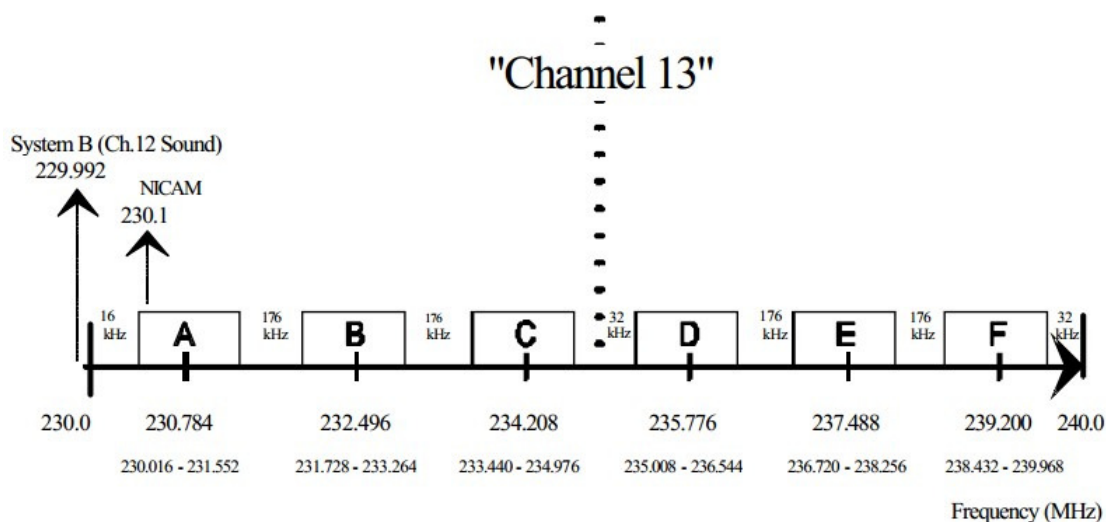
Τμήμα T-DAB και αριθμός	Κεντρική συχνότητα (MHz)	Εύρος συχνότητας (MHz)
5A	174.928	174.160 - 175.696
5B	176.640	175.872 - 177.408
5C	178.352	177.584 - 179.120
5D	180.064	179.296 - 180.832
6A	181.936	181.168 - 182.704
6B	183.648	182.880 - 184.416
6C	185.360	184.592 - 186.128
6D	187.072	186.304 - 187.840
7A	188.928	188.160 - 189.696
7B	190.640	189.872 - 191.408
7C	192.352	191.584 - 193.120
7D	194.064	193.296 - 194.832
8A	195.936	195.168 - 196.704
8B	197.648	196.880 - 198.416
8C	199.360	198.592 - 200.128
8D	201.072	200.304 - 201.840
9A	202.928	202.160 - 203.696
9B	204.640	203.872 - 205.408
9C	206.352	205.584 - 207.120

9D	208.064	207.296 - 208.832
10A	209.936	209.168 - 210.704
10B	211.648	210.880 - 212.416
10C	213.360	212.592 - 214.128
10D	215.072	214.304 - 215.840
11A	216.928	216.160 - 217.696
11B	218.640	217.872 - 219.408
11C	220.352	219.584 - 221.120
11D	222.064	221.296 - 222.832
12A	223.936	223.168 - 224.704
12B	225.648	224.880 - 226.416
12C	227.360	226.592 - 228.128
12D	229.072	228.304 - 229.840
13A	230.784	230.016 - 231.552
13B	232.496	231.728 - 233.264
13C	234.208	233.440 - 234.976
13D	235.776	235.008 - 236.544
13E	237.488	236.720 - 238.256
13F	239.200	238.432 - 239.968

Πίνακας 13. Τμήματα συχνοτήτων T-DAB στην VHF Band III



Εικόνα 6.3.2: Θέση τμημάτων T-DAB στο κανάλι 12



Εικόνα 6.3.3: Θέση τμημάτων T-DAB στο κανάλι 13

6.3.3 Ελάχιστη μέση ισodύναμη ένταση πεδίου

Στην παράγραφο 6.1.5 τα ελάχιστα επίπεδα σήματος για να ξεπεραστεί ο θόρυβος στο δέκτη, δίνονται ως η ελάχιστη ισχύς εισόδου του δέκτη και η αντίστοιχη ελάχιστη ισodύναμη τάση εισόδου του δέκτη, υποθέτοντας ένα επίπεδο θορύβου στο δέκτη στα 7.0dB για τη συχνότητα VHF.

Στη παράγραφο 6.1.5 δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν επιπτώσεις διάδοσης. Ωστόσο είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη αυτές οι επιδράσεις όταν

εξετάζουμε τη συμπεριφορά του T-DAB ως προς τη λήψη σε ένα πρακτικό περιβάλλον.

Ο λόγος σήματος προς θόρυβο για το γκαουσιανό κανάλι που χρησιμοποιήθηκε στη παράγραφο 2.5, για τον υπολογισμό του ελάχιστου επιπέδου εισόδου στο δέκτη είναι 7.4dB. Σε συνθήκες κινητής λήψης αυτή η τιμή αυξάνεται ανάλογα με τις συνθήκες και τη ταχύτητα της πολλαπλής διαδρομής που επικρατούν όταν ο δέκτης κινείται.

Μια τιμή σήματος προς θόρυβο της τάξης των 13dB θεωρείται αντιπροσωπευτική για λήψη από κινητές συσκευές. Κατά τον υπολογισμό της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης του πεδίου που θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό θα πρέπει να γίνει μια διόρθωση ($13 - 7.4 = 5.6$) της αναλογίας σήματος προς θόρυβο.

Η κεραία λήψης η οποία θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτική για κινητή και φορητή λήψη, είναι μη-κατευθυντική έχοντας ένα κέρδος ελαφρώς χαμηλότερο από ένα δίπολο και ένα ύψος κεραίας της τάξης του 1.5 μέτρου. Για τις ανάγκες των υπολογισμών που οδηγούν στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 14, θα χρησιμοποιηθεί το κέρδος μιας ιστροπικής κεραίας.

Για την απώλεια ύψους από τα 10 μέτρα στο 1,5 μέτρο, η τιμή των 13 dB θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ρεαλιστικές καταστάσεις.

Όλες οι ελάχιστες ισοδύναμες μέσες τιμές έντασης του πεδίου που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο αφορούν την κάλυψη από έναν πομπό μόνο και όχι για ενιαία δίκτυα ενός πομπού. Στο δίκτυο μίας συχνότητας συνήθως περισσότερα από ένα επιθυμητά σήματα είναι διαθέσιμα. Η κατάσταση αυτή αλλάζει τα στατιστικά στοιχεία του σήματος. Το αθροιστικό σήμα δείχνει μια μικρότερη διακύμανση από ότι έχουν τα μεμονωμένα σήματα, και αυτό οδηγεί σε ένα μικρότερο συντελεστή διόρθωσης της τοποθεσίας. Δεδομένου ότι αυτή η επίδραση εξαρτάται από τον αριθμό και την ισχύ των σημάτων, καθώς και το ποσό κατά το οποίο η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου ελαττώνεται, κυμαίνεται από τοποθεσία σε τοποθεσία. Ωστόσο θα δίνεται, περίπου το ποσό του συνολικού κέρδους του δικτύου (βλέπε παράγραφο 6.2.7). Για τον SFN σχεδιασμό, οι τιμές που δίνονται στους πίνακες 14 και 15 μπορούν να θεωρηθούν ως ανώτατο όριο για την ελάχιστη ενδιάμεση ισοδύναμη ένταση του πεδίου κατά τον σχεδιασμό.

Λόγω της πολύ ταχείας μετάβασης από την σχεδόν άψογη στην εντελώς καθόλου λήψη, είναι αναγκαίο το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο σήματος να επιτυγχάνεται σε ένα υψηλό ποσοστό των τοποθεσιών. Το ποσοστό συνήθως λαμβάνεται για το 99% των κινητών και φορητών συσκευών λήψης σε εξωτερικό περιβάλλον διάδοσης και οδηγεί σε μια διόρθωση τοποθεσίας στην τιμή των 12.8 dB, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 6.2.6

Για τον υπολογισμό του minimum median power flux density ή της ισοδύναμης έντασης πεδίου πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι οι ελάχιστες τιμές των επιπέδων σήματος μπορούν να επιτευχθούν στο επιθυμητό ποσοστό περιοχών κάλυψης με τη χρήση των ακόλουθων τύπων:

$$A_a = G_D + 10 \log_{10} (1.64 * \lambda^2 / 4\pi)$$

$$\varphi_{\min} = P_{s \min \text{ corr}} - A_a$$

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\min} + 145.8$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_h$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_h + L_b$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_f$$

$$E_{\text{med}} = \varphi_{\text{med}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\text{med}} + 145.8$$

όπου:

C_l : Συντελεστής διόρθωσης τοποθεσίας [dB]

E_{med} : Ελάχιστη ενδιάμεση ισοδύναμη ισχύς του πεδίου, τιμή σχεδιασμού [dBμV/m]

E_{\min} : Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση του πεδίου κατά την τοποθεσία λήψης [dBμV/m]

G_D : Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος

L_b : Απώλεια διείσδυσης σε κτίριο [dB]

L_h : Απώλεια ύψους (10 m. a.g.l. to 1.5 m. a.g.l.) [dB]

L_f : Απώλεια τροφοδότη [dB]

P_{mmn} : Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο [dB]

φ_{\min} : Minimum power flux density στο σημείο λήψης [dBW/m²]

φ_{med} : Minimum median power flux density, τιμή σχεδιασμού [dBW/m²]

λ : Μήκος κύματος [m]

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό κινητής και φορητής υπαίθριας λήψης		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	200
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \text{ min}}$ (dBW)	-127.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες κινητής λήψης	(dB)	5.6
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \text{ min corr}}$ (dBW)	-122.1
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	-2.2
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-7.5
Minimum power flux density στην τοποθεσία λήψης	Φ_{min} (dBW/m ²)	-114.6
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	1
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{min} (dBμV/m)	31
Απώλεια ύψους (από τα 10 στο 1.5 μέτρο)	Lh (dB)	13
Location correction for 99% location probability	Cl (dB)	12.8
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 99% of locations at 1.5m a.g.l	Φ_{med} (dBW/m ²)	-87.8
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of locations at 1.5m a.g.l	E_{med} (dBμV/m)	58

Πίνακας 14. Παραγωγή των ελάχιστων τμημάτων πυκνότητας της ροής ισχύος και της αντίστοιχης ελάχιστης ενδιάμεσης ισοδύναμης έντασης του πεδίου για κινητές και φορητές λήψεις εξωτερικού χώρου

Για την περίπτωση των λήψεων σε εσωτερικούς χώρους, η επίδραση της απώλειας διείσδυσης του κτιρίου πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη, όπως περιγράφεται στην υποενότητα 6.2.6. Από την άλλη πλευρά, μια ελαφρώς μικρότερη πιθανότητα τοποθεσίας της τάξης του 95% είναι συνήθως αποδεκτή. Η διόρθωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (C / N) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ίδια όπως και στην περίπτωση της κινητής λήψης.

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό κινητής και φορητής λήψης σε εσωτερικούς χώρους		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	200
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \min}$ (dBW)	-127.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες κινητής λήψης	(dB)	5.6
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \min \text{ corr}}$ (dBW)	-122.1
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	-2.2
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-7.5
Minimum power flux density στην τοποθεσία λήψης	Φ_{\min} (dBW/m ²)	-114.6
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	1
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{\min} (dBμV/m)	31
Απώλεια ύψους (από τα 10 στο 1.5 μέτρο)	Lh (dB)	13
Απώλεια διείσδυσης στο κτίριο	Lb(dB)	8
Location correction for 95% location probability	CI (dB)	10.3
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of indoor locations at 1.5m a.g.l	Φ_{med} (dBW/m ²)	-82.3
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of indoor locations at 1.5m a.g.l	E_{med} (dBμV/m)	63

Πίνακας 15: Παραγωγή των ελάχιστων τμημάτων πυκνότητας της ροής ισχύος και της αντίστοιχης ελάχιστης ενδιάμεσης ισοδύναμης έντασης του πεδίου για φορητές λήψεις εξωτερικού χώρου.

6.3.4 Σταθερή κεραία λήψης

Τα δίκτυα T-DAB έχουν σχεδιαστεί για κινητή και φορητή λήψη, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών χώρων. Ωστόσο, αν χρησιμοποιείται μια σταθερή κεραία στην ταράτσα, η λήψη μπορεί να επιτευχθεί πέρα από την κανονική περιοχή κάλυψης. Στην πράξη, μία κεραία που βρίσκεται σε μια υπερυψωμένη θέση, όπως σε ένα πατάρι ή σε έναν εξωτερικό τοίχο είναι επίσης πιθανό να είναι ευεργετική.

Για σταθερή λήψη της κεραίας, χρησιμοποιείται η πιθανότητα θέσης 95% και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (C / N) για το Ricean κανάλι.

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό λήψης από σταθερή κεραία		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	200
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \min}$ (dBW)	-127.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες σταθερής κεραίας λήψης	(dB)	1.4
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \min \text{ corr}}$ (dBW)	-126.3
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	0
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-5.3
Minimum power flux density στην τοποθεσία λήψης	Φ_{\min} (dBW/m ²)	-121.0
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	1
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{\min} (dBμV/m)	25
Απώλεια τροφοδότη	Lf (dB)	2
Location correction for 95% location probability	Cl (dB)	9.0
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of locations	Φ_{med} (dBW/m ²)	-109.0
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of locations	E_{med} (dBμV/m)	37

Πίνακας 16 Παραγωγή των ελάχιστων τμημάτων πυκνότητας ροής ισχύος και του αντίστοιχου ελάχιστου ενδιάμεσου ισοδύναμου πεδίου έντασης για σταθερή λήψη της κεραίας.

6.4 Επίγειο DAB & Σχεδιασμός δικτύου κατηγορίας 1.5 GHz

Το σχέδιο του Μάαστριχτ καθορίζει τους περιορισμούς για την εφαρμογή των 1,5 GHz δικτύων σε ολόκληρη την CEPT περιοχή. Αυτό το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί για φορητές και κινητές λήψεις σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου, και ως εκ τούτου ένα δίκτυο σχεδιασμένο σε αυτή τη βάση δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις για φορητή λήψη σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου. Αυτό θα μπορούσε να παρέχεται από την εφαρμογή ενός πυκνότερου δικτύου. Το ακόλουθο τμήμα σχεδιασμού περιλαμβάνει λεπτομερή στοιχεία που σχετίζονται με το σχεδιασμό του δικτύου στην περιοχή των 1.5 GHz.

6.4.1 Θέση τμημάτων συχνότητας

Ο πίνακας 17 δείχνει το εναρμονισμένο σχέδιο διαυλισμού που έχει εγκριθεί. Αυτό το σχέδιο βασίζεται σε προσαυξήσεις ρυθμίσεων των 16 kHz και των ζωνών ασφαλείας των 176 kHz μεταξύ των γειτονικών τμημάτων συχνότητας του T-DAB.

T-DAB αριθμός τμήματος	Κεντρική συχνότητα (MHz)	Εύρος συχνοτήτων (MHz)
LA	1452.960	1452.192 - 1453.728
LB	1454.672	1453.904 - 1455.440
LC	1456.384	1455.616 - 1457.152
LD	1458.096	1457.328 - 1458.864
LE	1459.808	1459.040 - 1460.576
LF	1461.520	1460.752 - 1462.288
LG	1463.232	1462.464 - 1464.000
LH	1464.944	1464.176 - 1465.712
LI	1466.656	1465.888 - 1467.424
LJ	1468.368	1467.600 - 1469.136
LK	1470.080	1469.312 - 1470.848
LL	1471.792	1471.024 - 1472.560
LM	1473.504	1472.736 - 1474.272
LN	1475.216	1474.448 - 1475.984
LO	1476.928	1476.160 - 1477.696
LP	1478.640	1477.872 - 1479.408

Πίνακας 17: T-DAB τμήματα συχνότητας

6.4.2 Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση πεδίου

Στην υποενότητα 6.1.5 για να ξεπεραστούν τα ελάχιστα επίπεδα σήματος θορύβου του δέκτη, δίνονται ως η ελάχιστη ισχύς εισόδου του δέκτη και η αντίστοιχη ελάχιστη ισοδύναμη τάση εισόδου του δέκτη, υποθέτοντας ένα επίπεδο θορύβου στα 6,0 dB για την περιοχή των 1.5 GHz. Επίσης δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν επιπτώσεις διάδοσης. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη αυτές οι επιπτώσεις κατά την εξέταση λήψης του T-DAB σε ένα πρακτικό περιβάλλον.

Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (C / N) για το κανάλι Gauss, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ελάχιστου επιπέδου εισόδου του δέκτη είναι 7.4 dB. Κάτω από συνθήκες κινητής λήψης αυτή η τιμή αυξάνεται, ανάλογα με τις συνθήκες και την ταχύτητα πολυόδευσης με την οποία κινείται ο δέκτης. Ένας λόγος σήματος προς θόρυβο (C / N) με τιμή 13 dB θεωρείται αντιπροσωπευτικός για λήψη από κινητές συσκευές. Ο υπολογισμός της ελάχιστης μέσης ισοδύναμης έντασης πεδίου που θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό μιας αντίστοιχης διόρθωσης ($13 - 7,4 = 5,6$) πρέπει να πραγματοποιείται με την αναλογία του λόγου σήματος προς θόρυβο C / N.

Η κεραία λήψης, η οποία θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτική για κινητή και φορητή λήψη, είναι πολυκατευθυντική, έχοντας ένα κέρδος ίσο με εκείνο ενός $\lambda / 2$ διπόλου και με το ύψος κεραίας να βρίσκεται στο 1,5 μέτρο.

Για την απώλεια ύψους από 10 μέτρα έως το 1,5 μέτρο η τιμή των 13 dB θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει ρεαλιστικές καταστάσεις.

Όλες οι ελάχιστες μέσες τιμές ισχύος του ισοδύναμου πεδίου που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι κατάλληλες για την κάλυψη από έναν και μόνο πομπό και όχι για ενιαία δίκτυα πομπού. Σε δίκτυο μίας συχνότητας συνήθως περισσότερα από ένα επιθυμητά σήματα είναι διαθέσιμα. Το γεγονός αυτό αλλάζει τα στατιστικά στοιχεία του σήματος. Το αθροιστικό σήμα παρουσιάζει μια μικρότερη διακύμανση από τα μεμονωμένα σήματα, και αυτό οδηγεί σε μια μικρότερη διόρθωση της τοποθεσίας.

Δεδομένου ότι αυτή η επίδραση εξαρτάται από τον αριθμό και την ισχύ των σημάτων, και το κατά πόσο η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ισχύς του πεδίου μειώνεται, μπορεί διαφέρει από τοποθεσία σε τοποθεσία. Προσεγγιστικά, δίνεται από το ποσό του συνολικού κέρδους του δικτύου, το οποίο περιγράφεται με περισσότερες λεπτομέρειες στην υποενότητα 6.2.7. Για τον SFN σχεδιασμό, οι τιμές που δίνονται στους πίνακες 18 και 19 μπορούν να θεωρηθούν ως το ανώτατο όριο για την ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό.

Λόγω της πολύ ταχείας μετάβασης από την σχεδόν τέλεια στην εντελώς καθόλου λήψη, είναι αναγκαίο ότι το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο σήματος επιτυγχάνεται σε ένα υψηλό ποσοστό των τοποθεσιών. Το ποσοστό αυτό συνήθως λαμβάνεται ως το 99% για τις κινητές και φορητές λήψεις σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου, που οδηγεί σε μια διόρθωση της τοποθεσίας στα 12.8 dB, όπως περιγράφεται στην υποενότητα 6.2.6.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης μέσης συνοχής της ροής ισχύος ή της ισοδύναμης ισχύος του πεδίου που απαιτείται για να εξασφαλιστεί ότι οι ελάχιστες τιμές του επιπέδου σήματος μπορούν να επιτευχθούν κατά το απαιτούμενο ποσοστό των τοποθεσιών, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι:

$$A_a = G_D + 10 \log_{10} (1.64 * \lambda^2 / 4\pi)$$

$$\varphi_{\min} = P_{s \min \text{ corr}} - A_a$$

$$E_{\min} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\min} + 145.8$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_h$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_h + L_b$$

$$\varphi_{\text{med}} = \varphi_{\min} + P_{\text{mmn}} + C_l + L_f$$

$$E_{\text{med}} = \varphi_{\text{med}} + 120 + 10 \log_{10} (120\pi) = \varphi_{\text{med}} + 145.8$$

όπου:

C_l : Συντελεστής διόρθωσης τοποθεσίας [dB]

E_{med} : Ελάχιστη ενδιάμεση ισοδύναμη ισχύς του πεδίου, τιμή σχεδιασμού [dBμV/m]

E_{\min} : Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση του πεδίου κατά την τοποθεσία λήψης [dBμV/m]

G_D : Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος

L_b : Απώλεια διείσδυσης σε κτίριο [dB]

L_h : Απώλεια ύψους (10 m. a.g.l. to 1.5 m. a.g.l.) [dB]

L_f : Απώλεια τροφοδότη [dB]

P_{mmn} : Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο [dB]

φ_{\min} : Minimum power flux density στο σημείο λήψης [dBW/m²]

φ_{med} : Minimum median power flux density, τιμή σχεδιασμού [dBW/m²]

λ : Μήκος κύματος [m]

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό κινητής και φορητής και φορητής υπαίθριας λήψης		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	1470
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \min}$ (dBW)	-128.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες κινητής λήψης	(dB)	5.6
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \min \text{ corr}}$ (dBW)	-123.1
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	0
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-22.6
Minimum power flux density στην τοποθεσία	Φ_{\min} (dBW/m ²)	-100.5

λήψης		
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	0
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{min} (dBμV/m)	45
Απώλεια ύψους (από τα 10 στο 1.5 μέτρο)	L_h (dB)	13
Location correction for 99% location probability	CI (dB)	12.8
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 99% of locations at 1.5m a.g.l	Φ_{med} (dBW/m ²)	-74.7
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 99% of locations at 1.5m a.g.l	E_{med} (dBμV/m)	71

Πίνακας 18. Προέλευση of minimum block power flux density και του corresponding minimum median equivalent field strength για υπαίθρια φορητή και κινητή λήψη.

Για τις ανάγκες του σχεδιασμού στην περιοχή της Ευρώπης μια ελάχιστη μέση ισοδύναμη ισχύς πεδίου στα 69 dBμV / m, χρησιμοποιείται για κινητές και φορητές λήψεις σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου.

Αυτή η ισχύς του πεδίου βασίζεται σε διαφορετικές τιμές του λόγου σήματος προς θόρυβο καθώς και του κέρδους της κεραίας και της απώλειας ύψους.

Για την περίπτωση των λήψεων σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση της απώλειας διείσδυσης στο κτήριο όπως περιγράφεται στην υποενότητα 6.2.6. Από την άλλη πλευρά, λαμβάνεται υπόψη μια ελαφρώς μικρότερη πιθανότητα τοποθεσίας με ποσοστό 95%. Η διόρθωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (C/N) μπορεί να υποθεθεί ότι είναι η ίδια όπως και για τις κινητές και φορητές λήψεις σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου.

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό κινητής και φορητής λήψης σε εσωτερικούς χώρους		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	1470
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \text{ min}}$ (dBW)	-128.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες κινητής λήψης	(dB)	5.6
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \text{ min corr}}$ (dBW)	-123.1
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	0
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-22.6
Minimum power flux density στην τοποθεσία	Φ_{min} (dBW/m ²)	-100.5

λήψης		
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	0
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{min} (dB μ V/m)	45
Απώλεια ύψους (από τα 10 στο 1.5 μέτρο)	Lh (dB)	13
Απώλεια διείσδυσης στο κτίριο	Lb(dB)	10
Location correction for 95% location probability	CI (dB)	13.3
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of indoor locations at 1.5m a.g.l	Φ_{med} (dBW/m ²)	-64.2
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l outdoor for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 99% of locations at 1.5m a.g.l	E_{med} (dB μ V/m)	82

Πίνακας 19 Προέλευση of minimum block power flux density και του corresponding minimum median equivalent field strength για φορητή και κινητή λήψη σε εσωτερικούς χώρους.

6.4.3 Σταθερή κεραία λήψης

Στον πίνακα 20 που ακολουθεί, δίδεται η ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για λήψη με σταθερή κεραία στο επίπεδο του τελευταίου ορόφου ενός κτηρίου για δίκτυο στο 1.5GHz. Ωστόσο για σταθερή λήψη της κεραίας, χρησιμοποιείται η πιθανότητα θέσης 95% και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (C / N) για το Ricean κανάλι.

Ελάχιστη μέση ισοδύναμη ένταση του πεδίου για το σχεδιασμό λήψης από σταθερή κεραία		
Συχνότητα (Band III)	f (MHz)	1470
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη	$P_{s \text{ min}}$ (dBW)	-128.7
Διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο σε συνθήκες σταθερής κεραίας λήψης	(dB)	1.4
Ελάχιστη ισχύς σήματος εισόδου στο δέκτη με διόρθωση λόγου σήματος προς θόρυβο	$P_{s \text{ min corr}}$ (dBW)	-127.3
Κέρδος κεραίας σε σύγκριση με το δίπολο μισού μήκους κύματος	G_D (dB)	0
Αποτελεσματικό άνοιγμα κεραίας	A_a (dBm ²)	-22.6
Minimum power flux density στην τοποθεσία λήψης	Φ_{min} (dBW/m ²)	-104.7
Ανοχή στον ανθρωπογενή θόρυβο	P_{mmn} (dB)	0
Ελάχιστη ισοδύναμη ένταση πεδίου στην θέση λήψης	E_{min} (dB μ V/m)	41
Απώλεια τροφοδότη	Lf (dB)	7

Location correction for 95% location probability	CI (dB)	9
Minimum median power flux density required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of locations	Φ_{med} (dBW/m ²)	-88.7
Minimum median equivalent field strength required at 10m a.g.l for 50% of the time and at 50% of locations to achieve coverage at 95% of locations	E_{med} (dBμV/m)	57

6.5 Ψηφιακή μετάδοση ήχου (DSB) με χρήση δορυφορικής επικοινωνίας

Με περισσότερους από 2 δισεκατομμύρια ραδιοφωνικούς δέκτες σε χρήση σε ολόκληρο τον κόσμο, το ραδιόφωνο αναμφίβολα εξακολουθεί να είναι ένα από τα πιο δημοφιλή μέσα μαζικής ενημέρωσης. Αποτελεί μέρος της ζωής μας, από το 1920 και, με την πάροδο του χρόνου, έχει γίνει το μεγαλύτερο, φθηνότερο και πιο φιλικό προς το χρήστη - ακροατή μέσο μαζικής ενημέρωσης. Η δημοτικότητά του παραμένει υψηλή ακόμα και σήμερα παρά την έλευση πολλών άλλων μέσων ενημέρωσης συμπεριλαμβανομένης της τηλεόρασης της κινητής τηλεφωνίας και του Internet.

Για να μετατραπεί ο ραδιοφωνικός ήχος σε ένα βιώσιμο μέσο ενημέρωσης για τον 21ο αιώνα, είναι αναγκαίο να μεταφερθούμε από την αναλογική τεχνολογία στην ψηφιακή. Θα πρέπει να υιοθετηθούν όχι μόνο τα παραδοσιακά μέσα μετάδοσης (δηλαδή οι επίγειοι αναμεταδότες), αλλά και νέοι μηχανισμοί μεταφοράς και διανομής όπως είναι οι δορυφορικοί, οι καλωδιακοί, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών (τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα) καθώς επίσης και το διαδίκτυο.

Το αναλογικό ραδιόφωνο χαρακτηρίζεται από μια σειρά κοινών προτύπων για τη μετάδοση AM / FM καθώς και για την επίγεια ραδιοηλεκτρονική μετάδοση σε όλο τον κόσμο. Στον ψηφιακό τομέα, ωστόσο τα διαφορετικά συμφέροντα σε ότι αφορά τον οικονομικό κλάδο καθώς και των περιοχών ανά τον πλανήτη έχουν οδηγήσει σε μια πληθώρα προτύπων μετάδοσης για την ψηφιακή μετάδοση ήχου (DSB).

Οι ραδιοφωνικές εκπομπές μέσω δορυφόρου, δεν αποτελούν μια καινούρια ιδέα. Το κύριο κίνητρο για τη μετάδοση μέσω δορυφόρου έχει να κάνει πάντα με την σχετικά ευρεία περιοχή κάλυψης (για παράδειγμα, είναι δυνατό να καλύψει το σύνολο της Ευρώπης με μία ριπή), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το μεταδιδόμενο σήμα είναι διαθέσιμο για σχεδόν όλους τους δέκτες αμέσως μετά την εκτόξευση του δορυφόρου. Συγκριτικά, μπορεί να χρειαστούν πολλά χρόνια για να κατασκευάσει ένα επίγειο δίκτυο, το οποίο θα επιτύχει υψηλό βαθμό κάλυψης (δηλαδή το 95% ή περισσότερο του πληθυσμού) - ιδιαίτερα αν το έδαφος είναι μεγάλο και ορεινό.

Έτσι λοιπόν τα κύρια ζητήματα που αφορούν τις δορυφορικές ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Σε ότι αφορά το κόστος, απαιτούνται σχετικά σημαντικές αρχικές επενδύσεις για τα επίγεια και δορυφορικά τμήματα, καθώς και για τους τερματικούς σταθμούς στο δέκτη. Υπάρχει επίσης ένας πολύ υψηλός εμπορικός κίνδυνος που συνδέεται με ένα τέτοιο εγχείρημα.
- Σε ότι αφορά την κάλυψη η συντριπτική πλειοψηφία των ραδιοτηλεοπτικών υπηρεσιών ήχου στην Ευρώπη, προορίζεται να καλύψει τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές περιοχές. Η σχετικά μεγάλη κάλυψη από μια ριπή από το δορυφόρο είναι πιθανό να μην είναι αναγκαία για αυτές τις πιο μικρές περιοχές κάλυψης.
- Σχετικά με την διαθεσιμότητα του ραδιοφάσματος, υπάρχει μια αισθητή έλλειψη του κατάλληλου φάσματος.

Σχετικά με την κινητή και φορητή λήψη, αυτό είναι ίσως το πιο κρίσιμο ζήτημα, το οποίο εξακολουθεί να αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για τους μηχανικούς σχεδιασμού του συστήματος στο πώς να παρέχουν υψηλής αξιοπιστίας δορυφορική λήψη σε φορητές συσκευές (π.χ. σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου) όπως στους φορητούς δέκτες, καθώς και στους δέκτες των κινούμενων οχημάτων ειδικά με την συσσώρευση που συναντάται στις αστικές ζώνες όπου δεν υφίσταται οπτική επαφή μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη ενώ εξακολουθεί να χρησιμοποιείται η σχετικά απλή κεραία λήψης (whip-like antenna) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα παρά την υψηλή απολαβή των παραβολικών κεραιών.



Σήμερα, υπάρχουν αρκετές εκατοντάδες ραδιοφωνικοί σταθμοί οι οποίοι είναι διαθέσιμοι στα δορυφορικά εμπορικά συστήματα που λειτουργούν είτε στην FSS 10 - 11GHz ή στην BSS ζώνη συχνοτήτων των 11 ή 12 GHz. Παραδείγματα τέτοιων σταθμών είναι οι, Astra Digital Radio (ADR), Eutelsat, Hotbird, Sirius, Telecom, Hispasat, Kopernikus, Intelsat και άλλοι. Για να ληφθεί ένα σήμα από τον δορυφόρο είναι αναγκαία μια οπτική επαφή μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη.

Ο δέκτης χρησιμοποιεί συνήθως μια σταθερή παραβολική κεραία λήψης υψηλής απολαβής που κατευθύνεται προς το δορυφόρο. Κινητές και φορητές λήψεις σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου δεν είναι εφικτές.

6.5.1 Εκτιμήσεις των DSB συστημάτων

Οι πρώτες μελέτες για τις δυνατότητες και τη βιωσιμότητα των δορυφόρων, ως μέσο για την παροχή εκπομπών για φορητούς και κινητούς δέκτες μας πηγαίνει πίσω στη δεκαετία του 1970. Εκείνη την εποχή εξεταζόταν η αναλογική FM τεχνολογία.

Αντιμέτωποι με το θέμα της κινητής λήψης που υπέφερε από αντανακλάσεις λόγω του φαινομένου της πολυόδευσης, προτάθηκε και σχεδιάστηκε τη δεκαετία του 1980 το πρώτο ψηφιακό σύστημα, το Eureka-147 DAB, ειδικά για να λύσει αυτό το πρόβλημα. Η ιδέα αυτή αποδείχθηκε επιτυχής στους εκπροσώπους της δεύτερης συνόδου της διάσκεψης WARC-ORB στη Γενεύη, το 1988.

Η ITU στο συνέδριο WARC-92 (περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται παρακάτω) υπέδειξε το κατανομημένο φάσμα στις ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 1000 και 3000 MHz για τις μελλοντικές δορυφορικές και επίγειες συμπληρωματικές υπηρεσίες DSB. Αυτό το εύρος συχνοτήτων επιλέχθηκε βάσει των θεωρητικών μελετών που διεξάγονται από την EBU, λαμβάνοντας υπόψη τη βέλτιστη εξισορρόπηση ανάμεσα στην απαιτούμενη δορυφορική μετάδοση ισχύος και το μέγεθος της κεραίας εκπομπής. Επίσης, αυτή η ζώνη θεωρείται δυνητικά κατάλληλη για κινητές και φορητές λήψεις, υποθέτοντας ότι ένα αρκετά υψηλό περιθώριο πολλαπλασιασμού θα μπορούσε να ενσωματωθεί στον προϋπολογισμό απόδοσης (link budgeting).

Εκτεταμένες μελέτες που διεξήχθησαν από το WorldDAB φόρουμ έδειξαν ότι ένα αυτόνομο δορυφορικό σύστημα, χρησιμοποιώντας την σημερινή δορυφορική τεχνολογία, δεν είναι σε θέση να παρέχει τη δυνατότητα για κινητή και φορητή λήψη. Ως εκ τούτου, αυτό που προτάθηκε είναι ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται το λεγόμενο υβριδικό σύστημα το οποίο αποτελείται από ένα συνεπές στη χρήση του δορυφορικό σύστημα καθώς και ένα συμπληρωματικό επίγειο δίκτυο εκπομπής. Το τελευταίο αναμεταδίδει τα δορυφορικά σήματα σε περιοχές όπου τα δορυφορικά σήματα δεν είναι αρκετά ισχυρά, όπως σε πόλεις ή εκτός των περιοχών δορυφορικής κάλυψης.

Το υβριδικό δορυφορικό / επίγειο σύστημα με στόχο την επίτευξη ικανοποιητικής κάλυψης (στο 99% των τοποθεσιών για το 99% του χρόνου) για κινητούς, φορητούς και σταθερούς δέκτες σε όλους τους τύπους των περιβαλλόντων λήψης συμπεριλαμβανομένων και των πυκνοκατοικημένων αστικών, ημιαστικών και αγροτικών περιοχών, όπου η επιτόπου διαδρομή προς το δορυφόρο μπορεί να μην είναι δυνατή.

Η αρχική αποκλειστική δορυφορική υπηρεσία θα πρέπει να συμπληρώνεται σταδιακά με επίγειους μηχανισμούς πλήρωσης κενών (gap fillers) και η κάλυψη να επεκταθεί πέρα από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έως ότου επιτευχθεί ο στόχος για την εξυπηρέτηση της περιοχής. Για το σκοπό αυτό, θεωρήθηκε ιδιαίτερα επιθυμητό τα δορυφορικά και επίγεια συστήματα να έχουν συμπληρωματικές και διαλειτουργικές δυνατότητες.

Επιπροσθέτως, οι μελέτες από το WorldDAB έδειξαν ότι το σύστημα διαμόρφωσης πολλαπλών φερουσών (COFDM) που χρησιμοποιείται από το σύστημα της EE-147 απαιτεί ένα περιθώριο back-off από 6 έως 7dB στην ισχύ του πομπού, σε σύγκριση με ένα σύστημα μονού φορέα.

Επομένως το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η COFDM διαμόρφωση ταιριάζει καλύτερα (από μια προσέγγιση μονής φέρουσας) για επίγεια χρήση όπου οι πρωτογενείς περιορισμοί παρεμβολών και πολλαπλών διαδρομών είναι λιγότερο κατάλληλοι για ένα αυτόνομο δορυφορικό σύστημα.

Επιπλέον, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι μια υβριδική δορυφορική / επίγεια προσέγγιση είναι πιθανό να προσφέρει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αυτόνομα δορυφορικά συστήματα είτε με τα αυτόνομα επίγεια συστήματα από την άποψη της ποιότητας των υπηρεσιών, της διαθεσιμότητας και το κόστος του δέκτη για τον ακροατή. Η νέα γενιά των δορυφορικών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί στις ΗΠΑ επιβεβαιώνει αυτή την εκδοχή.

Καθώς το σύστημα Eureka-147 DAB βασίζεται σε ένα multiplex πρόγραμμα το οποίο μεταφέρει ένα συνδυασμό πολλών χωριστών υπηρεσιών και αποτελεί μια ποικιλία από bit-rates, η ικανότητα του συστήματος αυτού για την υποστήριξη της ανωφερούς ροής των δεδομένων του προγράμματος από διάφορες τοποθεσίες τέθηκε υπό αμφισβήτηση. Θεωρήθηκε ότι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της προσέγγισης μονού φορέα ήταν ότι θα υποστηρίξει την ανωφερή ροή από διαφορετικές τοποθεσίες, και όχι μόνο από μία ενιαία κεντρική «πλήμνη» επίγειου σταθμού.

Ωστόσο, αυτή η εκδοχή αποδείχθηκε και από μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το BBC, ότι μια ενιαία DAB πολυπλεξία μπορεί να ενσωματωθεί σε μια δορυφορική κεραία λήψης, χρησιμοποιώντας την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM) ως προσέγγιση του εγχειρήματος αυτού.

Αυτή η προσέγγιση προσφέρει ένα επιπλέον πλεονέκτημα σε σύγκριση με την προσέγγιση μονής φέρουσας δηλαδή, μπορεί να αποφευχθεί η χρήση ενός διαφανούς αναμεταδότη, πράγμα που σημαίνει ότι ένας αφιερωμένος ενσωματωμένος (on-board) πολυπλέκτης και επομένως μια on-board επεξεργασία μπορούν επίσης να αποφευχθούν. Οι βασικές απαιτήσεις είναι ο συγχρονισμός και η ακριβής αντιστοίχιση της συχνότητας όλων των ροών που προέρχονται από τους διάφορους επίγειους σταθμούς.

Επομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το σύστημα DAB, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση OFDM multi-carrier (πολλαπλών φερουσών), είναι κατάλληλη όχι μόνο για το επίγειο DSB, αλλά και για το δορυφορικό DSB, με την προϋπόθεση ότι οι συμπληρωματικοί επίγειοι αναμεταδότες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για αστικές και άλλες περιοχές όπου η δορυφορική λήψη καθίσταται δύσκολη. Η χρήση της OFDM στο δορυφόρο για το κατωφερές κανάλι μπορεί να διευκολύνει την front-end επεξεργασία στο δέκτης που είναι κοινή με τους επίγειους δέκτες, μειώνοντας παράλληλα το κόστος των δεκτών.

Η Παγκόσμια Διοικητική Διάσκεψη Ραδιοεπικοινωνιών που πραγματοποιήθηκε στη Μάλαγα (Ισπανία) το 1992 γνωστή και ως WARC-92 βάση του προτύπου που αναπτύχθηκε, διατίθενται σε τρεις ζώνες συχνοτήτων στην περιοχή των 1000-3000 MHz για δορυφορική ψηφιακή μετάδοση ήχου.

❖ Περιοχή συχνοτήτων 1452 – 1492 MHz

Η περιοχή συχνοτήτων 1452 - 1492 MHz επίσης γνωστή και ως L-band 3. Στην Ευρώπη, αυτή η ευρεία ζώνη των 40 MHz είναι η μόνη ζώνη στην περιοχή των 1.000 έως 3.000 MHz που είναι σήμερα διαθέσιμη για χρήση σε δορυφορική υπηρεσία μετάδοσης ήχου (BSS). Το κατώτερο μέρος της ζώνης αυτής (δηλαδή τα 1.452 έως τα 1467 MHz) το οποίο σήμερα διατίθεται για επίγειους (T-DAB) σκοπούς, σύμφωνα με το Wiesbaden-95 CEPT T-DAB Special Arrangement. Αυτό το μέρος της L-band αντιστοιχεί περίπου σε εννέα T-DAB τμήματα, το καθένα από τα οποία είναι περίπου 1,75 MHz και επιπλέον περιλαμβάνεται και μια ζώνη προστασίας.

Πρόσφατα, η CEPT αποφάσισε να διαθέσει επιπλέον 12 MHz (δηλαδή επτά T-DAB τμήματα) για τις υπηρεσίες T-DAB στο υπόλοιπο φάσμα συχνοτήτων 1.467-1492 MHz. Η CEPT 5 πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2002 και υποστηρίζεται ένθερμα από την EBU. Τα μέλη της EBU θεωρούν ότι αυτή η διάσκεψη που αφορά το σχεδιασμό θα βοηθήσει να επιταχυνθεί η εγκατάσταση των υπηρεσιών T-DAB στην ευρωπαϊκή αγορά. Η τρέχουσα αντίληψη ότι ένα από τα κύρια εμπόδια για την ανάπτυξη του T-DAB είναι ότι δεν υπάρχει επαρκές φάσμα συχνοτήτων διαθέσιμο για να φιλοξενήσει όλες τις υπάρχουσες δημόσιες υπηρεσίες του κρατικού ραδιοφώνου, πόσο μάλλον το σύνολο των εμπορικών, τοπικών, κοινοτικών και άλλων ραδιοφωνικών σταθμών.

Επίσης είναι κοινά αποδεκτό ότι η L-band είναι λιγότερο ιδανική για την κάλυψη μεγάλων περιοχών/εκτάσεων (για παράδειγμα εθνικές υπηρεσίες ή εθνικές υπο-υπηρεσίες) με επίγεια μέσα αλλά κανένα άλλο φάσμα δεν είναι διαθέσιμο σε μια πιο κατάλληλη περιοχή συχνοτήτων (π.χ στην φασματική περιοχή των VHF)

❖ Περιοχή συχνοτήτων 2310 – 2360 MHz

Συνήθως ονομάζεται και ζώνη των 2,3 GHz ή S-band, έχει 50 MHz πλάτος και διατίθεται μόνο για BSS (ήχο).

❖ Περιοχή συχνοτήτων 2520 – 2655 MHz

Αυτή η περιοχή συχνοτήτων ανήκει επίσης στην S-band η οποία κατανέμεται παγκοσμίως για λήψη σε κοινότητες. Επίσης η συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων συναντάται στην περιοχή της Ιαπωνίας. Η υπό-μπάντα των 2520 – 2655MHz είχε τεθεί περιορισμός λήψης σε ορισμένες κοινότητες που πλέον δεν υφίσταται και αφορά την Λευκορωσία, την Ρωσική ομοσπονδία, την Ουκρανία και ορισμένες περιοχές της Ασίας.

6.5.2 Σημερινά συστήματα ψηφιακής μετάδοσης ήχου με χρήση δορυφορικής επικοινωνίας

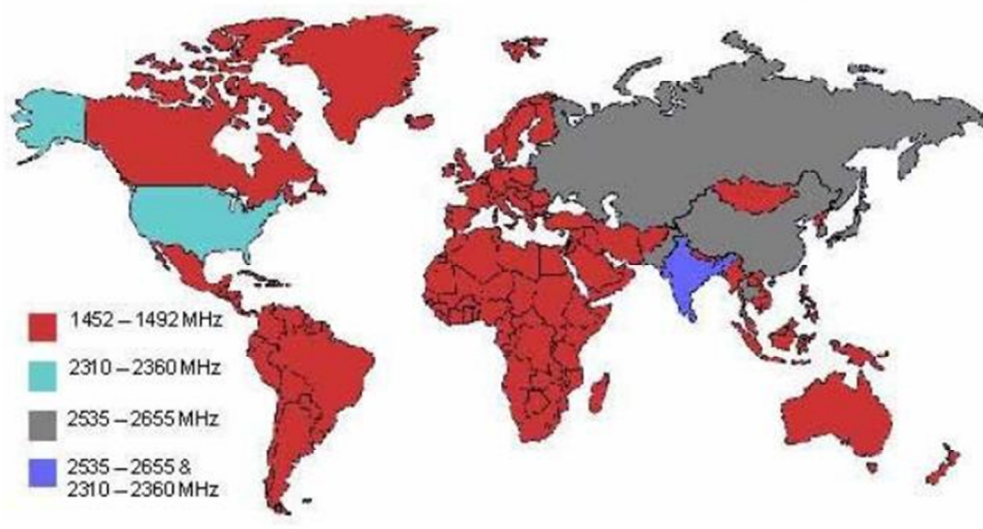
❖ Υπόβαθρο και επισκόπηση

Τον Μάιο του 2001, σε μια σύσκεψη της CEPT (The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) με θέμα την διαχείριση συχνοτήτων αναφέρεται ότι οι υπηρεσίες προηγμένης δορυφορικής μετάδοσης (ήχου) παρέχονται ήδη σε μέρη της Ευρώπης από την WorldSpace μέσω του δορυφορικού συστήματος γεωστατικής τροχιάς (GEO) με την ονομασία AfriStar. Μερικές Ευρωπαϊκές διαχειριστικές αρχές όπως για παράδειγμα το Ηνωμένο Βασίλειο (για το EAST) η Γαλλία (για το F-SAT-DAB) και η Πολωνία, έχουν καταχωρηθεί στην ITU και βασίζονται σε δίκτυα κάλυψης γεωστατικής τροχιάς. Από την άλλη η Γερμανία (για το MEDIASTAR) και το Λουξεμβούργο (για το GLOBAL RADIO) έχουν καταχωρηθεί στην ITU και βασίζονται σε συστήματα ελλειπτικής τροχιάς μεγάλου βαθμού (HEO - Highly Elliptical Orbit) εντός της φασματικού εύρους 1452 – 1492 MHz.

Τα παραπάνω στοιχεία υποδεικνύουν ότι υπάρχει ένα σχετικό ενδιαφέρον στην δορυφορική εκπομπή ψηφιακού ήχου στην Ευρώπη.

Ένα πρόγραμμα με την ονομασία MediaStar είχε ληφθεί σοβαρά υπόψη στα τέλη της δεκαετίας του 90' από την DaimlerChrysler AeroSpace AG. Ωστόσο το πρόγραμμα δεν ευόδωσε εξαιτίας οικονομικών δυσχερειών. Κατά συνέπεια, μέχρι στιγμής, δεν έχει αναπτυχθεί εξειδικευμένη δορυφορική μετάδοση ψηφιακού ήχου για να εξυπηρετήσει την ευρωπαϊκή επικράτεια.

Σε σχέση με τα ανωτέρω αναφερθέντα ζητήματα ένα σύνολο από συμπεράσματα εξήχθησαν από το WorldDAB Forum πίσω στα 1999 τα οποία ισχύουν ακόμα και συνοψίζονται στα παρακάτω τέσσερα σημεία:



Εικόνα 6.5.1: Παγκόσμια κατανομή για δορυφορικές εκπομπές DSB

Κανένας Ευρωπαϊκός πάροχος υπηρεσιών δεν κατόρθωσε να αναπτύξει ένα κερδοφόρο επιχειρηματικό πλάνο στην περίπτωση του δορυφορικού DAB λόγω του προβλήματος της έλλειψης χρηστών κάτι που έβγαине συμπερασματικά από την ανάπτυξη, εξάπλωση και απήχηση των επίγειων DAB υπηρεσιών που ακολουθούσαν αργούς ρυθμούς.

2) Το φάσμα συχνοτήτων WARC-92 που προορίζεται για δορυφορικό και επίγειο DAB. Στην Ευρώπη εν μέρη σχεδιάστηκε για τις επίγειες υπηρεσίες DAB (δηλαδή του σχεδίου Wiesbaden-95). Ωστόσο υπάρχει περίσσεια φάσματος που παραμένει διαθέσιμη για πανευρωπαϊκή εμπορική χρήση δορυφορικών προγραμμάτων πολλαπλών καναλιών.

3) Τα αποκλειστικά αυτόνομα δορυφορικά DAB συστήματα δεν καταφέρνουν να κερδίσουν μεγάλο ενδιαφέρον από τους παρόχους περιεχομένου (broadcasters), καθώς και σε αυτή την περίπτωση δεν μπορούν να ξεπεράσουν τις επιπτώσεις του φαινομένου της σκίασης. Για το σκοπό αυτό, ενδείκνυται η συμπληρωματική χρήση και των δυο συστημάτων δορυφορικού και επίγειου DAB αφού με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η κάλυψη της εκάστοτε περιοχής καθώς εξαλείφονται τα νεκρά σημεία που θα υπήρχαν εάν χρησιμοποιούταν το κάθε σύστημα μόνο του.

4) Τα δορυφορικά συστήματα DAB στην L-band (των συχνοτήτων WARC-92) δεν επιτρέπονται σε ορισμένα μέρη του κόσμου, λόγω της ασυμβατότητας τους με άλλες υπηρεσίες όπως για παράδειγμα υπηρεσίες αεροναυτικής τηλεμετρίας. Η Ευρώπη θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την L-band μόνο εάν το πρόβλημα spill-over είχε λυθεί με επιτυχία στις ΗΠΑ και την Ρωσία. Μέχρι το τέλος του 1999, καμία λύση στο πρόβλημα αυτό δεν είχε βρεθεί από την ITU.

Όσο η Ευρώπη είχε εστιάσει στην εξάπλωση των επίγειων DAB υπηρεσιών, η WorldSpace κατάφερε επιτυχώς να εκτοξεύσει και να θέσει σε τροχιά τον πρώτο δορυφόρο για την Αφρική και λίγο αργότερα για την Ασία.

Προσφάτως, μια δορυφορική DSB υπηρεσία έχει αναπτυχθεί και επεκταθεί στις ΗΠΑ από την Sirius και το XM Radio.

Ένα σύστημα που αποκαλείται Global Radio θα μεταδίδει δορυφορικές DSB υπηρεσίες στην Ευρώπη τα επόμενα χρόνια. Ωστόσο υπάρχουν σημαντικά εναπομείναντα τεχνικά, οικονομικά και ρυθμιστικά εμπόδια. Ένα θέμα που θα μπορούσε να δυσχεράνει περισσότερο τις προσπάθειες για την διάδοση των κινητών ψηφιακών υπηρεσιών ραδιοφωνίας στην Ευρώπη είναι το κατακερματισμένο τοπίο των ευρωπαϊκών ρυθμιστικών αρχών αδειοδότησης. Βέβαια μια πιο κατάλληλη αγορά μπορεί να δημιουργηθεί για την υλοποίηση των δορυφορικών DSB υπηρεσιών στην Ευρώπη μέσα από το μεταβαλλόμενο πολιτικό κλίμα και τις διευρυνόμενες Ευρωπαϊκές κοινότητες καθώς αναπτύσσονται σχέδια για εμπορικές επιχειρήσεις με την υποστήριξη της πολιτιστικής και γλωσσικής πολυμορφίας των εθνών της.

Οι βασικές παράμετροι των τεσσάρων δορυφορικών DSB συστημάτων, είτε αυτά χρησιμοποιούνται είτε ακόμη εξετάζονται, συνοψίζονται στον πίνακα 20. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται στην υπό-ενότητα που ακολουθούν.

Σύστημα	Worldspace	Sirius	XM	Global Radio
Πρότυπο	System D/F Rec. 1130-3	Μονοπωλιακό	Μονοπωλιακό	System A Rec. BO.1130-3
Λειτουργεί από	Τα τέλη δεκαετίας του '90	Τα τέλη του '01 αρχές του '02	Από το 2001	Περίπου το 2004
Είδος Τροχιάς	GEO	HEO	GEO	HEO
Αριθμός δορυφόρων	1 ανά περιοχή κάλυψης και 3 ως δέσμη	3 ανά περιοχή κάλυψης	2 ανά περιοχή κάλυψης	3 ανά περιοχή κάλυψης
Χώρες Εξυπηρέτησης	AfriStar: Αφρική AsiaStar: μερικές περιοχές της Ασίας AmeriStar: Λατινική Αμερική	ΗΠΑ	ΗΠΑ	Ευρώπη
Συχνότητα Λειτουργίας	1.5 GHz	2.3 GHz	2.3 GHz	1.5 GHz
Reception	Line-of-site (LOS)	Mobile	Mobile	Mobile
Επιχειρησιακό μοντέλο	Μίσθωση αναμετάδοσης	Subscription Advertising	Subscription Advertising	Άγνωστο

Πίνακας 20. Επισκόπηση των τεσσάρων δορυφωρικών συστημάτων DSB που βρίσκονται σε χρήση ή που πρόκειται να λειτουργήσουν.

WorldSpace

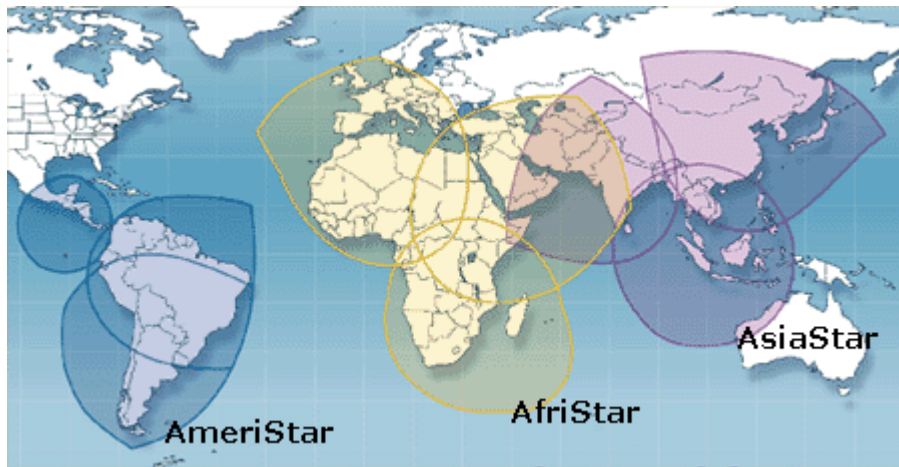
Το σύστημα WorldSpace είναι ένα γεωστατικό (GEO) δορυφορικό σύστημα, σχεδιασμένο για την παροχή ψηφιακών υπηρεσιών μετάδοσης ήχου στο εύρος συχνοτήτων 1452 - 1492 MHz. Προς το παρόν η WorldSpace μεταδίδει στην ανώτερη περιοχή συχνοτήτων των 1467 - 1492 MHz.

Το σύστημα δεν είναι συμβατό με το πρότυπο Eureka - 147 DAB και η επισήμανση "DAB" είναι παραπλανητική. Οι κυριότερες διαφορές είναι το εύρος ζώνης της πολυπλεξίας (1,5 MHz για το Eureka και 2,3GHz για την WorldSpace), και το γεγονός ότι η WorldSpace κάνει χρήση μονού φορέα την στιγμή που το Eureka χρησιμοποιεί την προσέγγιση πολλαπλών φορέων της OFDM.

Το δορυφορικό δίκτυο της WorldSpace αποτελείται από τρεις δορυφόρους γεωστατικής τροχιάς (GEO): Τον Afristar ο οποίος έχει τεθεί σε τροχιά γύρω από την Ευρώπη από τον Οκτώβριο του 1998, τον AsiaStar ο οποίος ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2000 και τον Ameristar που προγραμματίστηκε να ξεκινήσει το 2001 αλλά καθυστέρησε και ξεκίνησε το 2002. Η WorldSpace και η Alcatel ανακοίνωσαν μια κοινή τους πρωτοβουλία για την κατασκευή, την εκτόξευση και την λειτουργία ενός αφιερωμένου δορυφορικού συστήματος μετάδοσης ψηφιακού ήχου (S-DSB) για την περιοχή της Ευρώπης. Ωστόσο δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμος ο χάρτης κάλυψης του συγκεκριμένου δορυφορικού συστήματος διότι η αρχιτεκτονική του συστήματος δεν έχει φτάσει ακόμα στο τελικό της στάδιο για να οριστικοποιηθεί. Ένα τέτοιο σύστημα θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρον για τα μέλη της EBU.

Το σύστημα της WorldSpace γνωστό και "Ψηφιακό σύστημα Ds" κατά τις συστάσεις της ITU περιγράφεται στο παράρτημα 4 της σύστασης ITU-R BO. 1130-3 8. Σε γενικές γραμμές το σύστημα επιτρέπει την λήψη μόνο εάν υπάρχει μια απευθείας οπτική επαφή μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη. Η μέχρι τώρα εμπειρία δείχνει ότι το σύστημα δεν ανταποκρίνεται σωστά όταν υπάρχει εμπόδιο όπως οι φυλλωσιές των δέντρων ή ένα παράθυρο μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη.

Παρ' όλα αυτά η Worldspace έχει αναπτύξει ένα σύστημα για την επαναμετάδοση των δορυφορικών σημάτων σε επίγεια μετάδοση με χρήση διαφορετικής συχνότητας προκειμένου να μετριαστούν οι απώλειες οπτικής επαφής. Σε αντίθεση με τα ψηφιακά συστήματα D, τα εν λόγω συστήματα έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στην υπάρχουσα δορυφορική υποδομή γεωστατικής τροχιάς (GEO) της WorldSpace δηλαδή των δορυφόρων AfriStar, AsiaStar και AmeriStar για την ανεπηρέαστη λήψη σε περιοχές όπου η δόμηση περιλαμβάνει ιδιαίτερα ψηλά κτίρια, δέντρα ή και γενικότερα τμήματα που εμποδίζουν την οπτική επαφή με τον δορυφόρο.



Επί του παρόντος και με την καλύτερη γνώση των συγγραφέων που ασχολούνται με τη μελέτη των συγκεκριμένων συστημάτων δεν υπάρχει πειραματική απόδειξη που να επιβεβαιώνει τις επιδράσεις της επίγειας εκπομπής. Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά τις κινητές λήψεις, η WorldSpace πρότεινε σε μια από τις συναντήσεις που πραγματοποίησε η ITU την ITU-R SG 6E, νέες λειτουργίες δορυφορικής μετάδοσης που βασίζονται στην πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου και του χρόνου που συμβαίνει η παρεμβολή.

Συνολικά και λαμβάνοντας υπόψη τους διάφορους πιθανούς συνδυασμούς της δορυφορικής λειτουργίας σε σχέση με την επίγεια λειτουργία, υπάρχουν εννιά πιθανοί συνδυασμοί που καθιστούν εφικτή την κινητή λήψη.

Μια άλλη ασυνήθιστη μέθοδος που προτείνεται με σκοπό να ξεπεραστούν οι περιορισμοί από την ύπαρξη εμποδίων στα συστήματα οπτικής επαφής (line-of-sight systems) περιλαμβάνει την χρονική απόκλιση (time diversity), αξιοποιώντας δύο κανάλια εκπομπής σε κάθε δορυφόρο. Επί του παρόντος δεν υπάρχουν διαθέσιμες πειραματικές αποδείξεις, ωστόσο η ομάδα ανάπτυξης αυτής της μεθόδου (Fraunhofer IIS-A και WorldSpace) ολοκλήρωσε επιτυχώς μια δοκιμαστική επίδειξη αυτής της τεχνικής τον Αύγουστο του 2000. Ωστόσο, τα οφέλη από αυτού του είδους της προσέγγισης θα πρέπει να αναπτυχθούν πέρα από την περίπτωση του μη αποδοτικού φάσματος (spectrum inefficiency). Η αποδοτικότητα του φάσματος μπορεί να πληγεί ακόμη περισσότερο, εάν ένα από τα επίγεια δομικά στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης απαιτεί μια άλλη συχνότητα.

Sirius

Το σύστημα Sirius αρχικά σχεδιάστηκε για χρήση σε γεωστατική τροχιά (GEO) αλλά αργότερα αποφασίστηκε ότι προορίζεται καλύτερα για χρήση σε υψηλή ελλειπτική τροχιά (HEO)

Το σύστημα Sirius αρχικά σχεδιάστηκε για χρήση από δορυφόρους που λειτουργούν σε γεωστατική τροχιά (GEO), αν και πλέον χρησιμοποιείται και σε δορυφόρους που έχουν τεθεί σε υψηλή ελλειπτική τροχιά (HEO), για υπηρεσίες ψηφιακής μετάδοσης στην Βόρειο Αμερική χρησιμοποιώντας το φάσμα συχνοτήτων των 2.3 GHz. Το σύστημα Sirius δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέεται με τα Ευρωπαϊκά δορυφορικά συστήματα Sirius 2 & Sirius 3 τα οποία επίσης παρέχουν αρκετές αναλογικές και ψηφιακές μεταδόσεις ήχου.

Για την κάλυψη της Βόρειας Αμερικής, από την ανατολική μέχρι την δυτική ακτή, χρησιμοποιούνται τρεις δορυφόροι. Η πλήρης λειτουργία της υπηρεσίας ξεκίνησε στα τέλη του 2001 με αρχές του 2002. Μολονότι δεν ξέρουμε επακριβώς το πρότυπο που έχει χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση του συστήματος μπορούμε να κάνουμε την υπόθεση πως έχει χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρότυπο με αυτό του συστήματος WordSpace. Το σύστημα Sirius προορίζεται για χρήση από κινητές συσκευές με κύριο στόχο, σχεδόν εξ ολοκλήρου, τους δέκτες των αυτοκινήτων.



Όπως ήδη αναφέραμε το σύστημα Sirius χρησιμοποιεί τρεις δορυφόρους για την Βόρειο Αμερική οι οποίοι λειτουργούν στην φασματική περιοχή των 2.3GHz επιτυγχάνοντας την μετάδοση έως και 100 ψηφιακών ραδιοφωνικών καναλιών. Επίσης ένα δίκτυο με 94 αναμεταδότες έχει υλοποιηθεί με σκοπό την αύξηση του δορυφορικού σήματος σε σήραγγες και πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές με ψηλά κτίρια. Προφανώς, ένα δίκτυο τύπου Sirius θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιεί φασματική περιοχή του 1,5 GHz για την παροχή δορυφορικών υπηρεσιών DSB για την Ευρώπη. Ωστόσο, αυτό θα σήμαινε περαιτέρω ζήτηση σε αυτή τη πολυχρησιμοποιημένη ζώνη συχνοτήτων στην Ευρώπη.

XM system

Το σύστημα XM είναι ένα ακόμη νέο Αμερικανικό δορυφορικό ραδιοφωνικό εγχείρημα. Είναι ιδιόκτητο σύστημα και αποτελείται από δύο δορυφόρους

γεωστατικής τροχιάς (GEO), που χωρίζονται σε ένα τροχιακό τόξο των 30 ° (διαφορισμός χώρου - space diversity στον πομπό), οι οποίοι επίσης παρέχουν απολαβή σήματος στους ακροατές από ακτή σε ακτή για την Βόρεια Αμερική.

Οι δυο αυτοί δορυφόροι λειτουργούν σε δύο διαφορετικές όμως συχνότητες στην S-Band (διαφορισμός συχνότητας - frequency diversity) και παρέχουν το ίδιο σύνολο ραδιοφωνικών προγραμμάτων σχεδόν συγχρονισμένα, επίσης διαθέτει ένα μικρό χρονικό offset αρκετών δευτερολέπτων μεταξύ των δορυφόρων (διαφορισμός χρόνου - time diversity) προκειμένου να ξεπεραστεί το φαινόμενο των σύντομων διαλείψεων, κάθε φορά που ένα όχημα περνάει κάτω από γέφυρες – ανισόπεδους κόμβους και υπόγειες διαβάσεις.

Όσο αναφορά τις τεχνικές λεπτομέρειες και ιδιότητες του σχεδιασμού του συστήματος δεν παρέχονται πληροφορίες. Ωστόσο το σύστημα XM είναι ικανό να παρέχει άριστη απολαβή σήματος για κινητές συσκευές που βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές, επομένως για την ανεμπόδιστη παροχή σήματος και σε κατοικημένες περιοχές καθίσταται αναγκαία η κατασκευή επίγειων αναμεταδοτών.

Για τα επίγεια δομικά στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης δεν είναι ακόμη γνωστό ποια είναι τα λειτουργικά και τα φασματικά χαρακτηριστικά τους. Οι επίγειοι αναμεταδότες πιθανόν χρησιμοποιούν διαμόρφωση OFDM και συχνότητα καναλιού διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιείτε από τους δορυφόρους. Επίσης δεν είναι σίγουρο το πώς οι δορυφορικοί δέκτες που βρίσκονται σήμερα στην αγορά θα αντιμετωπίσει τις μελλοντικές επίγειες αναμεταδόσεις.

Το σύστημα XM όπως προαναφέραμε χρησιμοποιεί δύο δορυφόρους στην φασματική περιοχή των 2.3 GHz και εκπέμπει περισσότερα από 100 ψηφιακά ραδιοφωνικά κανάλια με θεματικές ενότητες όπως: μουσική, ειδήσεις, σατιρικό περιεχόμενο και αθλητικά σε όλη την επικράτεια της Βόρειας Αμερικής. Ο στόχος του συστήματος είναι σαφής και είναι η κάλυψη των κινητών συσκευών, προφανώς όμως λόγω της εξάρτησής του από δορυφόρους GEO, το XM σύστημα θα πρέπει να βασίζεται ακόμη περισσότερο στους επίγειους αναμεταδότες σε σχέση με το σύστημα Sirius (που χρησιμοποιεί δορυφόρους HEO). Τέλος μια εμπορική υπηρεσία έχει ήδη ξεκινήσει με το κόστος διαφήμισης και συνδρομής να ανέρχεται στα 9,95 δολάρια το μήνα.

Global Radio

Η πιο πρόσφατη πρόταση για Ευρωπαϊκά δορυφορικά συστήματα DSB ακούει στο όνομα Global Radio. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε και λειτουργεί από το 2004

Ο Παρών σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται στην τεχνολογία Eureka- 147 προκειμένου να επωφεληθεί της συμβατότητας των υφιστάμενων επίγειων δεκτών DAB που έχουν ήδη αναπτυχθεί για την Ευρωπαϊκή αγορά – αν και υπάρχει η δυνατότητα να προσαρμοστεί περαιτέρω για να ταιριάζει με τα

χαρακτηριστικά διάδοσης του δορυφορικού καναλιού 9. Το σύστημα μεταδίδει το περιεχόμενο μέσα από τρεις δορυφόρους HEO, για να είναι σε θέση να εξυπηρετεί, πιο αποτελεσματικά, χώρες με υψηλό γεωγραφικό πλάτος, όπως η Νορβηγία και η Σουηδία. Κάθε δορυφόρος λειτουργεί οκτώ ώρες την ημέρα και λόγω της γενικά υψηλής γωνίας πρόσπτωσης του μεταδιδόμενου σήματος η χρήση επίγειων αναμεταδοτών, με σκοπό την κάλυψη μεγάλων, πυκνοκατοικημένων με ψηλά κτίσματα πόλεων, δεν καθίσταται αναγκαία.

Το Global Radio σκοπεύει να προσφέρει πανευρωπαϊκές υπηρεσίες με 60 έως 70 κανάλια ψυχαγωγίας, ενημέρωσης και κινητών σταθμών τηλεματικής, προσαρμοσμένα στις κουλτούρες και γλώσσες της κάθε χώρας μέλους. Κατά τη διάρκεια του έτους 2000, η Global Radio υπέγραψε στρατηγικές οικονομικές σχέσεις συνεργασίας με την NTL, τον πάροχο δικτύου του Ηνωμένου Βασιλείου, και Wit SoundView Group, μια Αμερικανική επενδυτική τραπεζική ομάδα.

Άλλα συστήματα

Στην Ιαπωνία, η εταιρεία MBC (Mobile Broadcasting Corporation), ενέκρινε πρόσφατα στην Space System / Loral να ξεκινήσει τις εργασίες σε ένα διαστημικό σκάφος για την παροχή κινητών υπηρεσιών ήχου, βίντεο, και δεδομένων. Η MBC σε μια κοινοπραξία υπό την ηγεσία των εταιρειών Toshiba, Toyota, Fujitsu, Nippon TV και Panasonic είχε ως στόχο να τεθεί σε λειτουργία το όλο εγχείρημα στις αρχές του 2004.

Περισσότερα από πενήντα κανάλια επρόκειντο να μεταδοθούν χρησιμοποιώντας την τεχνική CDMA και το πρότυπο MPEG-4 για εκπομπές ήχου.

Δοκιμαστικές επιδείξεις που πραγματοποιήθηκαν στις περιοχές Shinbashi και Ginza του Τόκιο έδειξαν υψηλή ποιότητα απόδοσης. Η πρώτη γενιά δεκτών με τσιπ LSI είχαν επίσης επικυρωθεί. Οι δέκτες δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούσαν τσιπ LSI υψηλής πυκνότητας και είναι διαθέσιμοι από τις αρχές του 2002. Ένα δεύτερο έργο με επικεφαλής εταιρεία την Hitachi σχεδιάστηκε με σκοπό να εισέλθει στην ιαπωνική αγορά για την κινητή τηλεφωνία.

6.5.3 Εμπορικές και προγραμματιστικές πτυχές των δορυφορικών DSB

AfriStar (WorldSpace)

Ο πρώτος δορυφόρος του WorldSpace, ο AfriStar, τέθηκε σε τροχιά επιτυχώς τον Οκτώβριο του 1998 και ξεκίνησε την παροχή υπηρεσιών τον Οκτώβριο του 1999. Η περιοχή κάλυψης του AfriStar ανήκει κυρίως στην Αφρική αν και παρ'όλα αυτά παρέχει δευτερογενή (spill-over) κάλυψη στη νότια και κεντρική

Ευρώπη. Για παράδειγμα η λήψη στο Βερολίνο «εγκαινιάστηκε» κατά την διάρκεια μιας συνάντησης του WorldDAB Module 4 πριν 15 χρόνια περίπου (2000).

Ο AfriStar προσφέρει 46 προγράμματα ειδήσεων, μουσικής, εκπαιδευτικών θεμάτων κ.α στα Αγγλικά, Γαλλικά και σε διάφορες άλλες εθνικές γλώσσες. Μεταξύ των παρόχων περιεχομένου συγκαταλέγονται και οι πιο γνωστοί της Ευρώπης όπως: το BBC, CNN, WRN, Bloomberg, Capital Radio, Radio Monte Carlo, La 7 FM, RFI και άλλοι.

Το WorldSpace εισπράττει έσοδα κυρίως από συμφωνίες παροχής υπηρεσιών καθώς και από διαφημίσεις.

Επίσης προσφέρει και συνδρομητικές υπηρεσίες πολυμέσων και ήχου εκτός των ραδιοφωνικών καναλιών, ενώ συλλέγει και ένα μικρό ποσοστό, ως δικαίωμα, από τις πωλήσεις των δεκτών.

Στις απαρχές του, υπολογιζόταν ότι μεταξύ 150.000 και 200.000 δεκτών ήταν σε χρήση - περίπου το ήμισυ αυτών στην Αφρική και την Ευρώπη και τον υπόλοιπο στην Ασία και τη Μέση Ανατολή. Κύριος στόχος όμως ήταν να ξεπεραστεί ο αριθμός των 500,000 δεκτών σε χρήση.

AsiaStar (WorldSpace)

Ο δεύτερος δορυφόρος του WorldSpace, ο AsiaStar, τέθηκε σε τροχιά το Μάρτιο του 2000 ενώ η παροχή των υπηρεσιών ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Η εμπορική χρήση του ξεκίνησε στην Σιγκαπούρη, την Ινδονησία, την Ινδία και ακολούθησαν η Μαλαισία, η Ταϊλάνδη και οι Φιλιππίνες.

Μέχρι στιγμής, η ανταπόκριση ήταν θετική, ιδιαίτερα στην Ινδία, όπου έχει αναλάβει η BPL, ένας από τους μεγαλύτερους διανομείς ηλεκτρονικών προϊόντων, με σκοπό τη διανομή των δεκτών τους σε ολόκληρη την αγορά της Ινδίας. Στην Ινδονησία, το σύστημα WorldSpace είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την PT Agis, επίσης μεγάλος γνωστός διανομέας στην εν λόγω περιοχή.

6.6 Ο Αντίκτυπος του δορυφορικού DAB στον σχεδιασμό του T-DAB

Το 2002 είχε προγραμματιστεί ένα συνέδριο του οργανισμού CEPT με σκοπό την κατανομή, στις διαχειρίσιμες αρχές των κρατών μελών, επιπλέον επτά T-DAB μπλοκ (από τα 14) στο φάσμα συχνοτήτων 1467 – 1492 MHz για τους σκοπούς της επίγειας μετάδοσης ήχου με μια κατανομή ανά περιοχή κάλυψης. Αυτό επέκτεινε αποτελεσματικά το σχέδιο Wiesbaden-95 ώστε να συμπεριλάβει μια κατανομή "τρίτης προτεραιότητας" για κάθε διαχειριστή ενώ τα επτά εναπομείναντα μπλόκ περισσεύουν για τη χρήση δορυφορικών μεταδόσεων.

6.6.1 Προσέγγιση Σχεδιασμού

Προς το παρόν, υποστηρικτές των δορυφορικών μεταδόσεων εξακολουθούν να "πιέζουν" το CEPT προκειμένου να χρησιμοποιήσει έναν τύπο σχεδιασμού T-DAB που βασίζεται σε αυτό που αποκαλούν «islet concept».

Μια τέτοια προσέγγιση θα σήμαινε ουσιαστικά ότι, σε οποιαδήποτε δεδομένη χώρα, μόνο συγκεκριμένες μικρές περιοχές κάλυψης και με τη συμμετοχή μόνο επιλεγμένων τοποθεσιών θα πρέπει να αντιμετωπίζονται.

Ελπίζοντας με αυτόν τον τρόπο να μειώσουν δραστικά την ποσότητα του φάσματος που χρειάζεται για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του T-DAB. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εάν η πλήρης περιοχή κάλυψης βασίζεται στο «islet concept», υπάρχει η πιθανότητα να απαιτηθεί μεγαλύτερο φάσμα καθώς θα χαθεί η αποτελεσματικότητα των SFN δικτύων μεγάλης κλίμακας.

Η προσέγγιση «islet» έρχεται σε αντίθεση με τον σχεδιασμό της "εθνικής πλήρους περιοχής κάλυψης" που προέκυψε από το Wiesbaden.

6.6.2 Περιορισμοί Σχεδιασμού

Η ομάδα ανάπτυξης του CEPT που είναι υπεύθυνη για την προετοιμασία των εργασιών του σχεδιασμού T-DAB (CEPT FM PT32) έχουν στη διάθεσή τους - το πολύ - επτά T-DAB μπλοκ συχνοτήτων. Δεν είναι ακόμα σαφές ποια επτά από τα 14 μπλοκ στο καθορισμένο εύρος συχνοτήτων θα επισημανθούν για χρήση στο T-DAB. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό θα αποφασιστεί και θα δοθεί βάσει των αναγκών των διαχειριστών.

Μόλις αποφασιστούν οι ακριβείς θέσεις των T-DAB μπλοκ συχνοτήτων, ο σχεδιασμός της CEPT θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις υφιστάμενες «άλλες υπηρεσίες».

Γενικότερα αυτού του είδους τα δορυφορικά συστήματα λειτουργούν με χαμηλά επίπεδα ισχύος, γεγονός που τα καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητα σε επίγειες μεταδόσεις υψηλής ισχύος. Οι όποιες παρεμβολές από τα δορυφορικά συστήματα στα συστήματα T-DAB κατά γενικό κανόνα δεν είναι σε θέση να δημιουργήσουν προβλήματα. Στην περίπτωση που αρκετοί διαχειριστές θελήσουν να δημιουργήσουν τις δικές τους απαιτήσεις σχετικά με στοιχεία κάλυψης νεκρών περιοχών με απώτερο σκοπό την υποστήριξη μελλοντικών δορυφορικών μεταδόσεων, δεν πρόκειται να αυξήσουν τις δυσκολίες κατά το σχεδιασμό του δικτύου αφού το σχέδιο που έχει προκύψει από το CEPT περιλαμβάνει μια «δίκαιη» κατανομή. Βέβαια ως ένα ορισμένο βαθμό, αυτό εξαρτάτε από το αν οι συχνότητες των επίγειων στοιχείων κάλυψης νεκρών περιοχών έχουν ξαναχρησιμοποιηθεί ή όχι στην δορυφορική ζεύξη.

Στην περίπτωση που ο δορυφόρος στο κατωφερές κανάλι χρησιμοποιεί ένα σύστημα μονής φέρουσας και στην περίπτωση που οι επίγειοι αναμεταδότες χρησιμοποιούν σύστημα πολλαπλών φερουσών, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες. Επιπλέον η CEPT αποφάσισε ότι ο T-DAB σχεδιασμός θα βασίζεται μόνο στις αντίστοιχες παραμέτρους του προτύπου Eureka 147 με σκοπό να αποφευχθούν περαιτέρω σχεδιαστικές επιπλοκές που θα προέκυπταν συγκριτικά με το σύστημα δορυφορικό WorldSpace.

6.6.3 Το T-DAB ως «συμπλήρωμα» στις δορυφορικές ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις

Στο σημείο αυτό θα δούμε την περίπτωση στον προγραμματισμό του T-DAB, αν έπρεπε να θεωρηθεί ως επίγειο δομικό στοιχείο συμπληρωματικής κάλυψης σε μια πλήρη δορυφορική υπηρεσία. Υποθέτοντας ότι το σύνολο ή ένα μέρος, από την διαθέσιμη φασματική περιοχή του 1,5 GHz επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί για δορυφορικές μεταδόσεις, με την υποστήριξη T-DAB ως συμπληρωματικό στοιχείο, ο σχεδιασμός των T-DAB θα πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον δύο ξεχωριστά στοιχεία:

1. T-DAB στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης και δορυφορικό DAB
2. Ανεξάρτητο T-DAB για "άλλες χρήσεις"

❖ Σχεδιασμός συμπληρωματικής κάλυψης για το δορυφορικό DSB

Eureka-147 (T-DAB)

Τα δομικά στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης θα μπορούσαν πιθανότατα να σχεδιάζονται με βάση την ανάγκη ότι οι "τρύπες" στην δορυφορική κάλυψη θα "γεμίσουν", όπως απαιτείται, κάνοντας χρήση της δορυφορικής συχνότητας στο επίγειο κομμάτι. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να γίνει λίγο πολύ για όλη την έκταση της κάλυψης του δορυφόρου (που, κατά πάσα πιθανότητα, θα εσωκλείει μεγάλα τμήματα της Ευρώπης), ανάλογα με το αν ο στόχος είναι η πλήρης κάλυψη μιας περιοχής ή η κάλυψη συγκεκριμένου τμήματος του πληθυσμού.

Επομένως ο σχεδιασμός χρήσης των συχνοτήτων στην περίπτωση αυτή καθίσταται «εύκολος» μιας και τα κύρια ζητήματα είναι μόνο ο αριθμός και οι θέσεις τοποθέτησης των δομικών στοιχείων συμπληρωματικής κάλυψης που θα χρησιμοποιηθούν και δηλαδή, σε γενικές γραμμές, δεν θα απαιτείται ιδιαίτερη σκέψη και συντονισμός στην επιλογή των συχνοτήτων. Αλλά τα πράγματα μπορεί να γίνουν πολύ πιο περίπλοκα στην περίπτωση που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί AAC+ κωδικοποίηση για το δορυφορικό κομμάτι,

εκτός και αν η ίδια κωδικοποίηση ήχου χρησιμοποιείται τόσο για το δορυφόρο όσο και για το επίγειο κομμάτι των αναμεταδοτών.

WorldSpace

Τα δομικά στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης θα μπορούσαν πιθανότατα να σχεδιάζονται με βάση την ανάγκη ότι τα "κενά" στην δορυφορική κάλυψη θα "γεμίσουν", όπως απαιτείται κάθε φορά, με την μετατόπιση (transposing) της συχνότητας του δορυφόρου.

Ο σχεδιασμός και εδώ θα πρέπει να γίνει λίγο πολύ για όλο την έκταση της κάλυψης του δορυφόρου (που, κατά πάσα πιθανότητα, θα εσσωκλείει μεγάλα τμήματα της Ευρώπης), ανάλογα με το αν ο στόχος είναι η πλήρης κάλυψη μιας περιοχής ή η κάλυψη συγκεκριμένου τμήματος του πληθυσμού.

Ο σχεδιασμός συχνοτήτων στην περίπτωση αυτή είναι λιγότερος "εύκολος". Τα κύρια ζητήματα είναι ο αριθμός και η τοποθέτηση των μηχανισμών πλήρωσης κενών (gap fillers) που θα χρειαστούν, επιπλέον θα χρειαστεί ιδιαίτερη μελέτη και λεπτομερές σκεπτικό για την επιλογή και το συντονισμό εναλλακτικών συχνοτήτων.

Αν ο στόχος είναι να εξασφαλιστεί η λήψη από κινητές συσκευές, θα χρειαστούν πιθανότατα σημαντικά περισσότερα δομικά στοιχεία συμπληρωματικής κάλυψης για έναν τύπο συστήματος WorldSpace (υποθέτοντας ότι οι επίγειοι αναμεταδότες θα συνεχίζουν ακόμη να παρέχουν μια λύση) από ό, τι για ένα σύστημα 147 Eureka το οποίο μπορεί να επωφεληθεί από το κέρδος του SFN δικτύου.

❖ **Ανεξάρτητο T-DAB για "άλλες χρήσεις"**

Ο T-DAB σχεδιασμός υπάρχει περίπτωση να γίνει περισσότερο δύσκολος λόγω της πιθανής απαίτησης για προστασία των υπηρεσιών δορυφορικής μετάδοσης ψηφιακού ήχου (DSB). Από εδώ και στο εξής θα απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται από το T-DAB οι συχνότητες οι οποίες χρησιμοποιούνται από το δορυφόρο για την κάλυψη μια περιοχής, αλλά και τα γειτονικά άνω και κάτω συχνοτικά μπλόκ από τις εν λόγω συχνότητες γεγονός που δυσκολεύει περεταίρω τις αναθέσεις συχνοτήτων στο επίγειο κομμάτι.

6.6.4 Σύνοψη για το αντίκτυπο στο T-DAB

Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι τα δορυφορικά "συμφέροντα" είχαν τις ακόλουθες επιπτώσεις στον T-DAB σχεδιασμό κατά το παρελθόν ή μπορεί να δημιουργήσουν κάποια από τα παρακάτω προβλήματα στο μέλλον:

- Στο πρόσφατο παρελθόν, ο T-DAB σχεδιασμός για καινούριες κατανομές καθυστέρησε κατά 2-3 χρόνια.
- Προς το παρόν οι ραδιοηλεκτρονικοί φορείς (όπως η CEPT) αφιερώνουν επιπλέον χρόνο και προσπάθεια πάνω στο σχεδιασμό και την μελέτη του islet concept.

Μακροπρόθεσμα αν εισαχθούν συστήματα δορυφορικής μετάδοσης ψηφιακού ήχου, τα ακόλουθα σενάρια μπορεί να προκύψουν:

- Μπορεί να παρουσιαστεί μια αύξηση στην ζήτηση του T-DAB σχεδιασμού με την προϋπόθεση ότι υπάρχει συνέργεια και συμπληρωματικότητα μεταξύ του δορυφορικού DSB και του T-DAB από την άποψη του σχεδιασμού του συστήματος και των υπηρεσιών που προσφέρονται.
- Ο T-DAB σχεδιασμός μπορεί να γίνει πιο δύσκολος εάν οι διαθέσιμες συχνότητες πρέπει να μοιραστούν με το δορυφορικό DSB τα συμφέροντα των οποίων προστατεύει.
- Πρόσθετες "συμπληρωματικές" δραστηριότητες κατά τον T-DAB σχεδιασμό μπορεί να καταστούν αναγκαίες στο βαθμό που οι δορυφορικές υπηρεσίες θα χρειαστούν την υποστήριξη των επίγειων σε ότι αφορά κάλυψη του εδάφους.
- Εάν εισαχθούν πολλά δορυφορικά συστήματα τα οποία δεν είναι συμβατά, αυτό μπορεί να είναι αντιπαραγωγικό για το ψηφιακό ραδιόφωνο γενικότερα.
- Εκτός από τις T-DAB και δορυφορικές σχεδιαστικές «αλληλεπιδράσεις» στο 1,5 GHz, θα υπάρχει επίσης μια αλληλεπίδραση μεταξύ της αμιγώς επίγειας χρήσης της ζώνης 1.5 GHz και της μπάντας VHF. Δηλαδή, όσο περισσότερες T-DAB μεταδόσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν στην Band III, για παράδειγμα, τόσο μικρότερη είναι η πίεση για το T-DAB στη ζώνη 1.5 GHz, και αντιστρόφως.

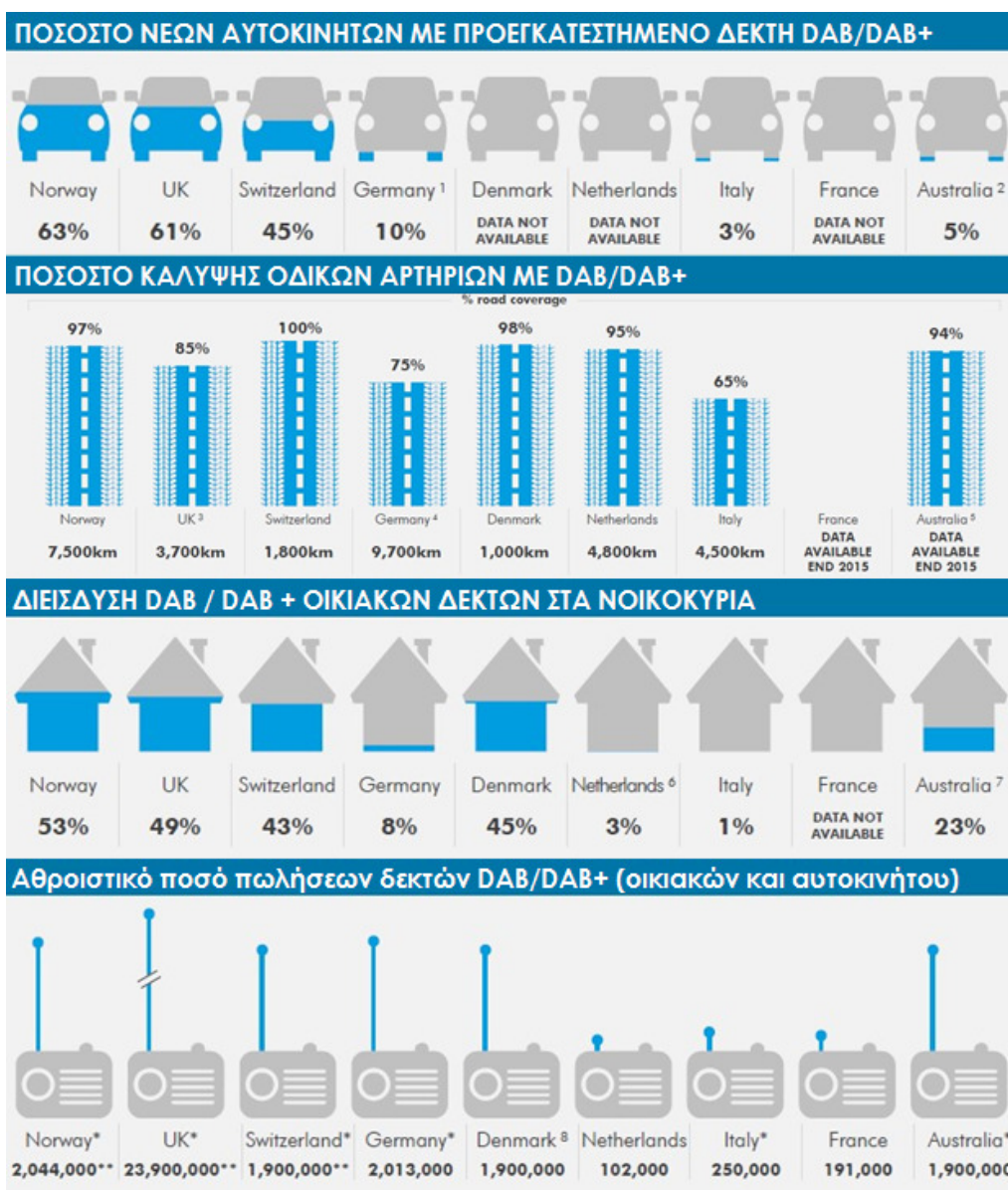
6.7 Τα Ποσοστά χρήσης του DAB μέχρι τώρα και η βιωσιμότητα της τεχνολογίας αυτής

Σε όλη την σχεδόν την Ευρώπη αλλά και σε μεγάλο μέρος του υπόλοιπου κόσμου η ραδιοφωνία κινείται πλέον στην ψηφιακή εποχή. Ολοένα και περισσότεροι κατασκευαστές αυτοκινήτων υποχρεώνονται εκ των πραγμάτων, να παρέχουν ως στάνταρ εξοπλισμό ψηφιακούς δέκτες ραδιοφώνου, των μοντέλων που παράγουν, και που απευθύνονται στις αγορές Χωρών που έχουν ασπαστεί το ψηφιακό μέλλον του ραδιοφώνου.

Είναι πλέον σαφές ότι τώρα στην Ευρώπη, ήδη συντελείται η μετάβαση της ραδιοφωνίας στην νέα αυτή τεχνολογία και για του λόγου το αληθές αναφέρουμε ότι, στην Νορβηγία θα πάψει να λειτουργεί η FM ραδιοφωνία το 2017, στην Ελβετία θα ολοκληρωθεί η μετάβαση της ραδιοφωνίας στις εκπομπές DAB εντός του χρονικού διαστήματος από το 2020 έως 2024. Εκτός αυτών στην Δανία και στην Γερμανία έχουν ήδη αρχίσει οι διαβουλεύσεις και οι συζητήσεις για το μέλλον των FM ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο σχεδιάζει το ψηφιακό μέλλον της ραδιοφωνίας του.

Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με την παράθεση και ανάλυση στατιστικών και μη, στοιχείων που αφορούν την ψηφιακή ραδιοφωνία σε διάφορες χώρες στις οποίες αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη και παρουσιάζει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον.

Ξεκινώντας αξίζει να δούμε τα συνοπτικά ποσοστά χρήσης ανά Χώρα και κατά κατηγορία είδους χρήσης.

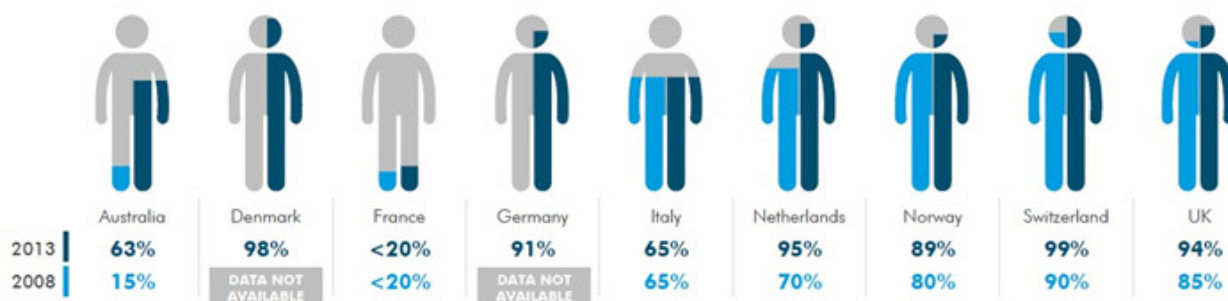


Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο Ηνωμένο Βασίλειο το 61% των νέων αυτοκινήτων που πωλούνται έχουν DAB δέκτη στον εξοπλισμό τους, στη Νορβηγία πάνω από το 60% των νέων αυτοκινήτων που πωλούνται έχουν DAB/DAB+ δέκτη, στην Ελβετία το αντίστοιχο ποσοστό είναι στο 45%, ενώ στη Γερμανία το ποσοστό αυτό είναι στο 10% και συνεχίζει να αυξάνεται.

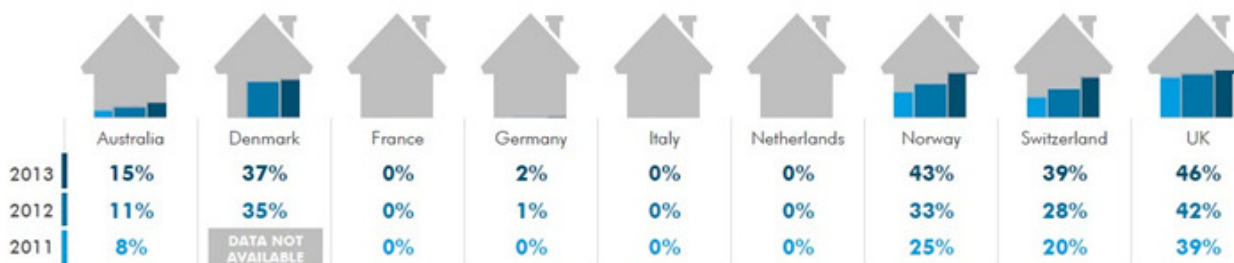
Επίσης για τις αναπτυσσόμενες αγορές όπως τη Γαλλία, την Ιταλία και την Πολωνία το δίκτυο συνεχίζει να επεκτείνεται, ενώ στη Σουηδία συζητείται ήδη στο Κοινοβούλιο (4ο τρίμηνο του 2015), το πλάνο πορείας του ψηφιακού ραδιοφώνου (με προοπτική ολοκλήρωσης το 2022 - 24).

Στο άμεσο παρελθόν όμως και συγκεκριμένα από το 2008 έως το 2013 οι πορείες του DAB για τις προαναφερθείσες Χώρες είναι η εξής:

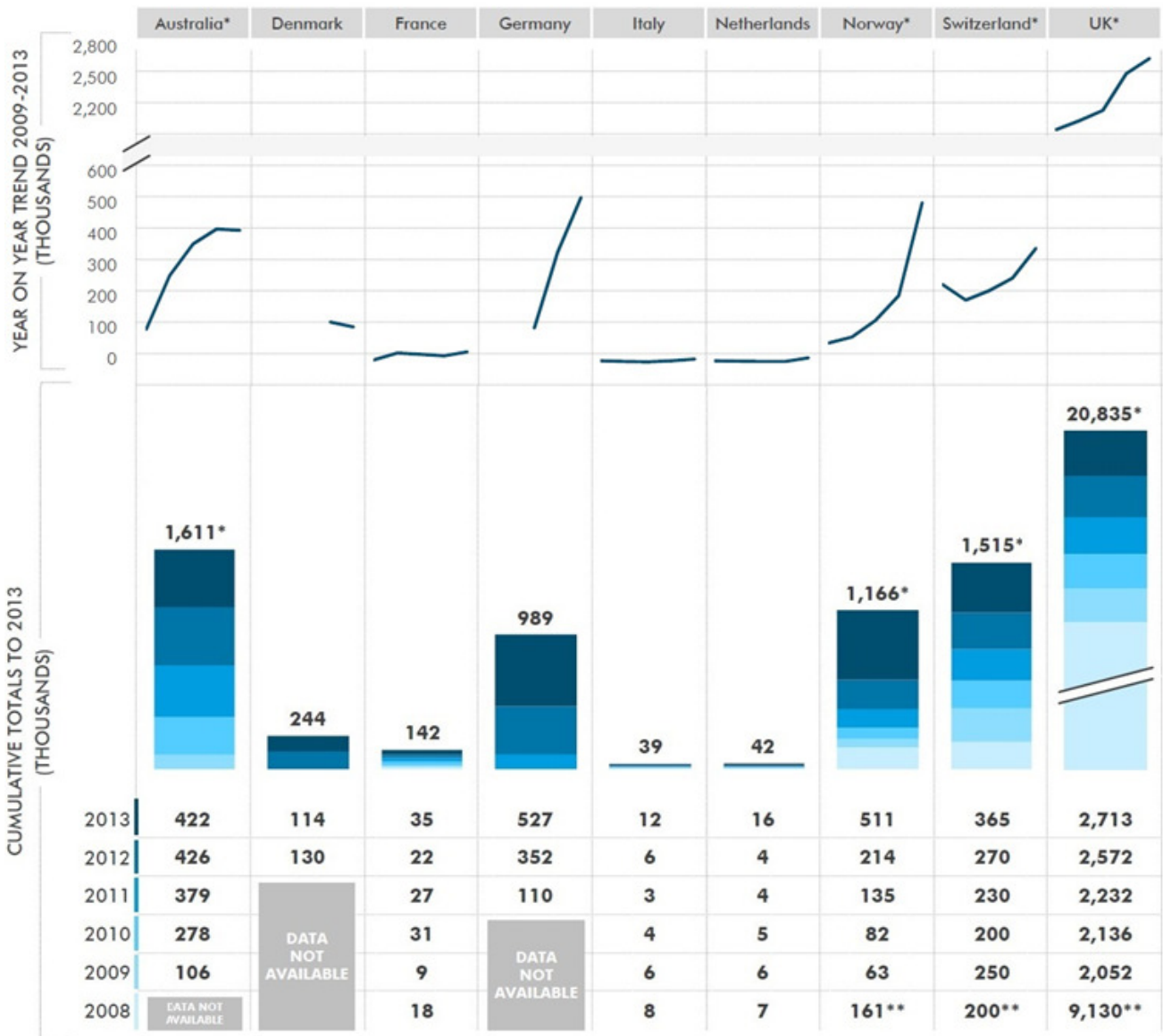
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ DAB/DAB+ (σε % του ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ) 2008 vs 2013



ΔΙΕΙΣΔΗΞΗ ΔΕΚΤΩΝ DAB/DAB+ ΣΤΑ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΑ 2011-2013



ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΔΕΚΤΩΝ DAB/DAB+











6.7.1 Χώρες με υψηλά ποσοστά χρήσης του DAB

❖ Αυστραλία

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

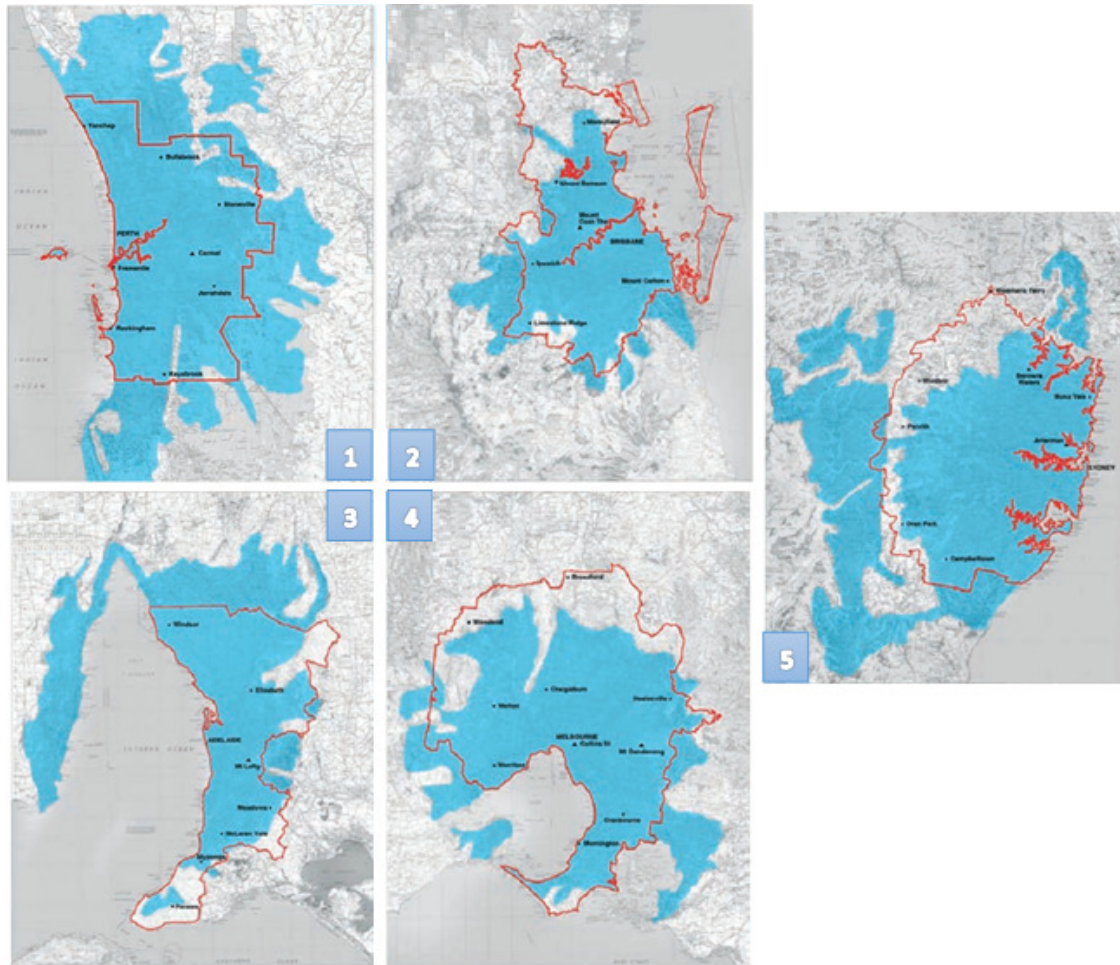
Το CRA (Commercial Radio Australia) και οι δημόσιοι ραδιοτηλεοπτικοί φορείς σε συνεργασία με την ομοσπονδιακή κυβέρνηση εργάζονται από κοινού με ένα χρονοδιάγραμμα για την περιφερειακή ανάπτυξη και εγκατάσταση του δικτύου. Επίσης οι Αυστραλιανοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς εξακολουθούν να συνεργάζονται με τις εταιρείες τηλεφωνίας και τους κατασκευαστές DAB δεκτών ούτως ώστε να περιλαμβάνετε οθόνη στις συσκευές λήψης με σκοπό

την προώθηση πρόσθετων λειτουργιών για να ενθαρρυνθεί η στήριξη στις υβριδικές δυνατότητες στον τομέα της υποδομής αλλά και των συσκευών λήψης. Από το σύνολο των αναμεταδοτών (repeaters) του σχεδίου οι επτά από είναι σε κατάσταση λειτουργίας (on air) στις πέντε ηπειρωτικές πρωτεύουσες της Αυστραλίας, συμπληρώνοντας την ενιαία μεγάλης ισχύος μετάδοση, βέβαια περισσότεροι αναμεταδότες έχει προγραμματιστεί να τεθούν σε λειτουργία.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες ραδιοφωνίας με δοκιμές και έναρξη λειτουργίας DAB+
	Πληθυσμός	23,125,000
	Υπηρεσίες	81 simulcast DAB+ και 129 exclusive DAB+
	Κάλυψη	64%
	Ψηφιακή προσέγγιση	13.6%
	Διείσδυση στα νοικοκυριά	15.2%
	Διείσδυση στον πληθυσμό	13%
	Σύνολο πωλήσεων	1.6 εκατομμύρια

ΚΑΛΥΨΗ

Υπάρχουν 2 εκατομμύρια ακροατές ψηφιακού ραδιοφώνου και στις πέντε πολιτειακές μητροπολιτικές πρωτεύουσες (Σύδνεϋ, Μελβούρνη, Μπρίσμπακ, Αδελαΐδα και Περθ) ενώ 1.6 εκατομμύρια ψηφιακά ραδιόφωνα (δέκτες) έχουν πουληθεί. Το 13% της ακρόασης ραδιοφωνικού περιεχομένου γίνεται μέσω ψηφιακών συσκευών ραδιοφώνου DAB+ με χρόνο ακρόασης (TSL - Time Spent Listening) διπλάσιο σε σύγκριση με τον χρόνο ακρόασης διαδικτυακού ραδιόφωνου. Επίσης περιφερειακές δοκιμές εκπομπής χαμηλής ισχύος οι οποίες άρχισαν το 2010 στην Καμπέρα και τον Δαρβίνο συνεχίζονται κανονικά.



Εικόνα 6.7.1: χάρτες κάλυψης DAB+ στις 5 μεγάλες μητροπολιτικές πολιτειακές πρωτεύουσες την Αυστραλίας για λήψη σήματος από δέκτες αυτοκινήτων. 1) Περθ 2) Μπρίσμπεϊν 3) Αδελαΐδα 4) Μελβούρνη και 5) Σίδνεϊ.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Ο CRA αναφέρει ότι 81 σταθμοί εκπέμπουν σε DAB+ στην Αυστραλία, με έως και 22 DAB+ σταθμούς σε κάθε πρωτεύουσα. Υπάρχουν επί του παρόντος 13 μητροπολιτικοί πολυπλέκτες και 2 (σε δοκιμαστική φάση) περιφερειακοί πολυπλέκτες και σχεδόν 210 υπηρεσίες να ανταλλάσσονται μεταξύ τους, με τους περισσότερους πολυπλέκτες να αποδίδουν 18 ή και περισσότερες υπηρεσίες. Σχεδόν όλοι οι σταθμοί στην Αυστραλία χρησιμοποιούν slideshow ενώ όλοι προσφέρουν δυναμικό κυλιόμενο κείμενο. Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός για τη μορφή (format) του περιεχομένου των DAB+ υπηρεσιών, έτσι ώστε οι σταθμοί να μπορούν να αναπτύξουν νέες μορφές (formats) και να δοκιμάσουν το ενδιαφέρον του κοινού σε αυτές τις αποκλειστικά ψηφιακές υπηρεσίες. Οι σταθμοί καλύπτουν μεγάλο εύρος ακουστικού περιεχομένου όπως: hip hop, 80's & 90's, κλασική και παγκόσμια μουσική καθώς και αθλητικές και ενημερωτικές – ψυχαγωγικές εκπομπές επίσης υπάρχουν και οι Pop up σταθμοί χρησιμοποιούνται για πολιτιστικές εκδηλώσεις, επετείους και κάλυψη σημαντικών γεγονότων όπως πλημμύρες ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Βασικά χαρακτηριστικά του ισχύοντος κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στις μητροπόλεις της Αυστραλίας είναι:

- Band III
- Χωρίς κόστος ραδιοφάσματος ή αδειών, καθ' όσον οι αναλογικές εκπομπές υφίστανται.
- 128 kb ανα υπάρχον εμπορικό/ιδιωτικό αναλογικό σταθμό
- Δεν υπάρχει ημερομηνία λήξης της άδειας
- Οι εμπορικοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς έχουν τους δικούς τους ξεχωριστούς πολυπλέκτες σε κάθε μια από τις σημερινές πέντε μεγάλες αγορές της Αυστραλίας.
- Οι δημόσιοι ραδιοτηλεοπτικοί οργανισμοί έχουν επίσης δικό τους πολυπλέκτη.
- Τέλος δεν υπάρχουν περιορισμοί στην μορφή του περιεχομένου για τους υφιστάμενους παρόχους ή όρια για τους καινούργιους DAB+ σταθμούς στο ποιο θα είναι το περιεχόμενο που θα προσφέρουν.







ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ

Οι ραδιοφωνικές εκπομπές σε περιόδους έκτακτης ανάγκης θεωρούνται απαραίτητες, καθώς είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν μεγάλα ακροατήρια που ακούνε ταυτόχρονα επομένως δεν πάσχουν από συμφόρηση, όπως γίνεται με τις online υπηρεσίες. Ραδιοφωνική δέκτες που λειτουργούν με μπαταρία συχνά χρησιμοποιούνται από τις κοινότητες εν μέσω κυκλώνων, πυρκαγιών ή και πλημμυρών, που βιώνει τακτικά η Αυστραλία, καθώς έχουν μεγάλη διάρκεια "ζωής" επομένως η πληροφόρηση των κατοίκων είναι διαρκής. Ένας pop up σταθμός, ο 4TAB FLOOD τέθηκε σε λειτουργία ώστε να προσφέρει πληροφορίες και συμβουλές στους ανθρώπους του Queensland κατά τη διάρκεια σοβαρών πλημμυρών. Ο CRA και οι ραδιοτηλεοπτικοί οργανισμοί έχουν εργαστεί από κοινού σε δοκιμαστικές εκπομπές στην Καμπέρα και τον Δαρβίνο με σκοπό να ομαδοποιήσουν ροές πληροφοριών (feeds) από τους οργανισμούς διαχείρισης εκτάκτων αναγκών και της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας με σκοπό να προσφέρουν τις κατάλληλες πληροφορίες με σωστή κλιμάκωση σε μεταδόσεις κειμένου και slideshows.

❖ Δανία

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η Δανία έχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά κατά κεφαλήν DAB χρηστών στον κόσμο, με το 37% του πληθυσμού να έχει πρόσβαση σε έναν ψηφιακό δέκτη ραδιοφώνου, και με περισσότερο από το 11% του συνόλου να κάνει "μόνιμη" ακρόαση DAB ραδιοφώνων. Η τελευταία κοινοβουλευτική συμφωνία Media 2012-2014 προβλέπει ότι οι FM μεταδόσεις θα σταματήσουν το 2019, εάν τουλάχιστον το 50% της ακρόασης ραδιοφωνικού περιεχομένου γίνεται από ψηφιακές πλατφόρμες μέχρι τότε. Ως μέρος της συμφωνίας, το εθνικό μπλοκ μόνης συχνότητας DAB που χρησιμοποιείται από δημόσιο ραδιοτηλεοπτικό φορέα DR μπορεί να ανταλλαχθεί από το 2015 για δύο περιφερειακών DAB μπλοκ συχνοτήτων που προς το παρόν χρησιμοποιούνται για την ενιαία εμπορική πολυπλεξία. Η προτεινόμενη συχνότητα ανταλλαγής θα σηματοδοτήσει επίσης την μετάβαση όλων των Δανέζικων DAB μεταδόσεων στον πιο αποτελεσματικό πρότυπο αυτό του DAB+. Αυτό αυξάνει τη συνολική χωρητικότητα εκπομπής (total transmission capacity) της DR και καθίσταται αρκετή για να μετακινηθούν οι εννέα περιφερειακοί FM σταθμοί στο DAB.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες ραδιοφωνίας με δοκιμές και έναρξη λειτουργίας DAB+
	Πληθυσμός	5,602,536
	Υπηρεσίες	15 DAB, 9 DAB+ & 1 Data
	Κάλυψη	98%
	Διείσδυση στα νοικοκυριά	37%
	Σύνολο πωλήσεων	1.700.000

ΚΑΛΥΨΗ

Η Δανία έχει δύο εθνικές πολυπλεξίες, με τις οποίες αγγίζει το 98% της κάλυψης εσωτερικών χώρων.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Υπάρχουν δύο εθνικές και μια τοπική πολυπλεξία σε λειτουργία. Με 9 προγράμματα DAB σε ταυτόχρονη μετάδοση στα AM/FM και 6 αποκλειστικά ψηφιακά DAB προγράμματα ενώ επιπρόσθετα παρέχονται αλλά 6 προγράμματα DAB+ σε ταυτόχρονη μετάδοση στα AM/FM και άλλα 3 αποκλειστικά ψηφιακά DAB+ προγράμματα. Επίσης μία υπηρεσία δεδομένων είναι on air αποκλειστικά σε ψηφιακή μετάδοση.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στη Δανία είναι:

- Band III
- Μετάβαση από τα FM σε DAB+ μέχρι το τέλος του 2019, εάν μέχρι τότε το ήμισυ του συνόλου ακρόασης έχει μετακινηθεί προς την χρήση ψηφιακών πλατφορμών.

Ο κανονισμός του DAB στην Δανία ορίζεται από τρεις διαφορετικούς φορείς: **1)** το Υπουργείο Πολιτισμού το οποίο νομοθετεί για την πολιτική των μέσων ενημέρωσης και των αδειών **2)** το Υπουργείο Επιστήμης το οποίο ορίζει το πολιτικό πλαίσιο για τις εφαρμογές των συχνοτήτων και **3)** η Δανική Αρχή Επιχειρήσεων η οποία εμμένει στην τεχνική διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων. Η τελευταία κοινοβουλευτική συμφωνία Media 2012-2014 προβλέπει ότι η μπάντα FM θα κλείσει το 2019, εάν μέχρι τότε το 50% του συνόλου ακρόασης έχει μετακινηθεί προς την χρήση ψηφιακών πλατφορμών - υπηρεσιών. Το DAB+ δεν έχει ακόμη εισαχθεί σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο στην Δανία, αλλά ένας τοπικός DAB+ πολυπλέκτης είναι ήδη σε λειτουργία. Μερίδια από το μπλοκ φάσματος συχνοτήτων έχουν διανεμηθεί είναι σύμφωνα με το σχέδιο RRC-06, αλλά υπάρχουν μόνο οι εθνικοί και οι περιφερειακοί πολυπλέκτες έχουν υλοποιηθεί. Εκκρεμεί ή υλοποίηση των τρίτων περιφερειακών/τοπικών πολυπλεκτών με σκοπό την κάλυψη 13 ακόμη κατανομών (allotments).


❖ Γαλλία

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Το Παρίσι με τη Μασσαλία και τη Νίκαια είχαν πρόσβαση στις επίγειες ψηφιακές εμπορικές ραδιοφωνικές (DAB+/DMB) υπηρεσίες από τις 20 Ιουνίου 2014, όπως αυτό επιβεβαιώνεται και από την αρμόδια ρυθμιστική αρχή το Ανώτατο Συμβούλιο Οπτικοακουστικών Μέσων (Conseil supérieur de l'audiovisuel - CSA). Συνολικά 69 ραδιοφωνικοί σταθμοί βρίσκονται στον αέρα στη Μασσαλία και το Παρίσι. Οι ραδιοτηλεοπτικοί οργανισμοί που ανατίθενται

σε έναν πολυπλέκτη έχουν ένα μήνα για να αρχίσουν τις μεταδόσεις, όπως αυτό ορίζεται με τους κανόνες του CSA.

Δοκιμαστικές υπηρεσίες λειτουργούσαν σε Λυών και Νάντη, για αρκετά χρόνια. Πλέον 13 σταθμοί λειτουργούν στη Νάντη, και 20 στη Λυών. Μια επιπλέον δοκιμή λαμβάνει χώρα στο Ραμπουγιέ με τον δεδηλωμένο στόχο να δοκιμάσει η λήψη ψηφιακού ραδιοφώνου σε καταστάσεις κινητικότητας, συμπεριλαμβανοντας υπηρεσίες TPEG (Transport Protocol Experts Group).

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες ραδιοφωνίας με δοκιμές και έναρξη λειτουργίας DAB+
	Πληθυσμός	63,000,000
	Υπηρεσίες	28 simulcast DAB+ και 10 ακόμη σε δοκιμή & 41 exclusive DAB+ με 23 ακόμη σε δοκιμή
	Κάλυψη	<20%

ΚΑΛΥΨΗ

Ο φορέας εκμετάλλευσης του δικτύου TDF εκπονούσε ολοκληρωμένα σχέδια κάλυψης το 2009 ετοιμάζοντας το έδαφος για την έναρξη των εθνικών και περιφερειακών υπηρεσιών. Ένα από τα πλεονεκτήματα του ψηφιακού ραδιοφώνου για τους Γάλλους ακροατές, όπως επισημαίνεται από το CSA, είναι ότι θα επιτρέψει μεγαλύτερη κάλυψη και περισσότερους σταθμούς σε πολλές περιοχές. Αυτό είναι σημαντικό για το CSA που έχει την αρμοδιότητα να παρέχει την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση συμπεριλαμβανομένης της κάλυψης στο ευρύτερο κοινό. Η TDF επίσης έχει μεταδώσει ένα συνδυασμό υπηρεσιών DAB+/DMB στη Λυών από το 2008 με 10-12 ραδιοφωνικούς σταθμούς. Η VDL έχει και αυτή δύο πολυπλέκτες στην Λυών καλύπτοντας έτσι το 85% του εθνικού πληθυσμού και μερικές από τις κύριες οδικές αρτηρίες. Δοκιμαστικές εκπομπές είναι on air και στη Νάντη. Συνδυάζοντας τις εμπορικές υπηρεσίες σε Μασσαλία, Νίκαια και Παρίσι, σχεδόν το 20% του πληθυσμού έχει πρόσβαση σε μια ψηφιακή ραδιοφωνική υπηρεσία. Το CSA έχει την ευθύνη να παρακολουθεί τότε θα επιτευχθεί το όριο του 20% με το όριο αυτό του πληθυσμού να είναι το έναυσμα για την υποχρεωτική ένταξη του ψηφιακού ραδιοφώνου σε όλους τους δέκτες που πωλούνται στη Γαλλία.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Υπάρχουν πέντε περιφερειακοί εμπορικοί πολυπλέκτες που λειτουργούν στο Παρίσι και τρεις στη Μασσαλία. Σαράντα τέσσερις σταθμοί λειτουργούν στο Παρίσι και 25 στη Μασσαλία. Τα προγράμματα περιεχομένου των εικοσιπέντε από τους 44 σταθμούς (DAB+) στο Παρίσι και 14 από τους 25 στην Μασσαλία είναι αποκλειστικά διαθέσιμα μέσω DAB+ ψηφιακών μεταδόσεων και όχι σε ταυτόχρονη μετάδοση στα FM. Όπως είπαμε υπάρχουν δυο δοκιμαστικές εκπομπές στη Νάντη, τρεις τοπικές στην Λυών και μια στο Ραμπουγιέ. Οι 16 από τους 20 DAB+ σταθμούς στην Λυών και οι 7 από τους 13 στη Νάντη είναι αποκλειστικά διαθέσιμα μέσω DAB+ ψηφιακών μεταδόσεων και όχι σε ταυτόχρονη μετάδοση στα FM.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στη Γαλλία:

- Band III
- Εμπορικές υπηρεσίες για τις 3 πόλεις (Παρίσι, Νίκαια και Μασσαλία) στην Band III
- Περαιτέρω ενδιαφερόμενες πόλεις για ψηφιακή κάλυψη θα χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα από την πορεία των εκπομπών σε Παρίσι, Νίκαια και Μασσαλία.
- Δεν έχει τεθεί ημερομηνία μετάβασης από την αναλογική μετάδοση στην ψηφιακή






Το νομικό πλαίσιο για το ψηφιακό ραδιόφωνο εισήχθη σταδιακά, με την αρχική Πράξη στις 30 Σεπτεμβρίου 1986, και όπως αυτή τροποποιήθηκε από τις διατάξεις του νόμου της 9ης Ιουλίου 2004 καθορίζοντας τα κύρια νομικά στοιχεία του RNT (π.χ. τις προσκλήσεις υποβολής αιτήσεων και την ψηφιακή αποκατάσταση των εγκεκριμένων υπηρεσιών FM: Άρθρο 29-1 του νόμου του 1986). Η παραπάνω Πράξη συμπληρώθηκε από τους νόμους της 5ης Μαρτίου του 2007 και 5ης Μαρτίου του 2009. Επίσης οι άδειες για αναλογική και ψηφιακή μετάδοση εκδίδονται δωρεάν. Όσο αναφορά το περιεχόμενο των εκπομπών (Γαλλική μουσική ή τραγούδια νέων καλλιτεχνών) υφίσταται ένα χρηματικό ποσοστό και με βάση τους υπάρχοντες κανόνες αναλογικών μεταδόσεων που διέπουν τη διαφήμιση και τη χορηγία θα ισχύουν επίσης και στο ψηφιακό ραδιόφωνο. Ο Γαλλικός νόμος για το ψηφιακό ραδιόφωνο που τέθηκε σε ισχύ τον Μάρτιο του 2009 έχει αναθεωρηθεί, από την Γαλλική Γερουσία στις 17 Μαΐου 2011 έτσι ώστε, να προβλέπει πως όταν το 20% του Γαλλικού πληθυσμού καλύπτεται από ψηφιακό σήμα, τότε θα πρέπει υποχρεωτικά να ενσωματωθεί κατάλληλος αποδιαμορφωτής σε όλες τις συσκευές λήψης, (με περίοδο χάριτος 12 μήνες από την στιγμή που θα

υπάρχει κάλυψη του 20%) συμπεριλαμβανομένων και των κλασικών ραδιόφωνων, εξαίρεση αποτελούν η δέκτες των αυτοκινήτων για τους οποίους έχει δοθεί περιθώριο 18 μηνών. Επί του παρόντος, υπάρχει έλλειψη ραδιοφάσματος στα FM που σημαίνει ότι η Γαλλική ραδιοφωνική αγορά δεν έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί. Η Γαλλία, σύμφωνα με την GE-06 έχει διαθέσει την Band III για το ψηφιακό ραδιόφωνο. Τον Μάρτιο του 2011 μετά από διαβούλευση σχετικά με τη χρήση της L-Band από το CSA, στάλθηκε, όχι σε ραδιοφωνικούς σταθμούς, αλλά κυρίως στους διανομείς, πρόσκληση υποβολής προσφορών για την χρησιμοποίηση του άνω μέρους της L-Band για δορυφορικές υπηρεσίες, η οποία έληξε στις 27 Φεβρουαρίου 2012. Το εθνικό δίκτυο έχει 67 κατανομές που βασίζονται στο άνω μέρος της L-Band. Τέλος κύριοι στόχοι είναι η κάλυψη του 20% μέσα στα επόμενα τρία χρόνια, το 40% μέσα σε πέντε χρόνια και κατ' ελάχιστο το 60% μέσα σε επτά χρόνια.

❖ Γερμανία

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Πάνω από το 91% του γερμανικού πληθυσμού μπορεί να ακούσει τουλάχιστον ένα ψηφιακό ραδιοφωνικό σύνολο. Σύμφωνα με στοιχεία της GfK οι πωλήσεις των δεκτών δείχνουν 50% αύξηση από έτος σε έτος. Με το τέλος του 2014 περισσότερα από 120 εθνικά, περιφερειακά και τοπικά προγράμματα μεταδίδονται στη Γερμανία. Εκκρεμεί ακόμη όμως ο κανονισμός για δεύτερο εθνική πολυπλεξία.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες
	Πληθυσμός	80,200,000
	Υπηρεσίες	120~150 DAB+
	Κάλυψη	91%
	Σύνολο πωλήσεων	2.700.000

ΚΑΛΥΨΗ

Η συνολική κάλυψη φτάνει το 83% της επικράτειας και το 91% του πληθυσμού της Γερμανίας. Οι πολυπλεξίες της ARD (κοινοπραξία τοπικών σταθμών) καλύπτουν το 75% της επικράτειας και το 86% του πληθυσμού. Ενώ η εθνική

πολυπλεξία καλύπτει το 67% της έκτασης και το 81% του πληθυσμού με το εξάπλωση των περαιτέρω πομπών. Όλες τις μητροπολιτικές περιοχές έχουν ψηφιακή κάλυψη, ενώ και το 75% της πλειονότητας του οδών αρτηριών (Autobahn) καλύπτονται ψηφιακά.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Συνολικά υπάρχουν πάνω από 120 ραδιοφωνικοί σταθμοί που μπορούν να ληφθούν ψηφιακά και στα 16 ομόσπονδα κράτη της Γερμανίας. Η πλειοψηφία των ραδιοφωνικών προγραμμάτων είναι εφοδιασμένα με συνοδευτικές υπηρεσίες δεδομένων όπως: Dynamic Label, slideshows, Ηλεκτρονικός οδηγός προγράμματος (EPG), TPEG, Journaline, υπηρεσίες RadioDNS και κατηγοριοποιημένα slideshow. Υπάρχουν 12 εθνικά προγράμματα σε λειτουργία, πάνω από 60 δημόσιοι σταθμοί και 35 εμπορικοί περιφερειακοί σταθμοί. Όλες οι δημόσιοι πάροχοι ραδιοφωνικού περιεχομένου της ARD εκπέμπουν πρόσθετες υπηρεσίες που συνοδεύουν τις live μεταδόσεις ήχου, το λεγόμενο ελάχιστο σύνολο υπηρεσιών οι οποίες αποτελούνται από:

- Πληροφορίες επόμενου προγράμματος (Now-next information, DLS/DL+)
- Προεπισκοπήσεις προγραμμάτων (EPG)
- Διαγράμματα καιρού, τίτλους ειδήσεων καθώς και τίτλους/covers τραγουδιών (slideshow/κατηγοριοποιημένα slideshow)
- Υπηρεσίες κίνησης (TPEG)
- Υβριδικά EPGs και Slideshows (RadioVIS και RadioEPG)

Η εθνική πολυπλεξία προσφέρει σταθμούς με γενικό αλλά και εξειδικευμένο περιεχόμενο, όπως η ηλεκτρονική, σκληρό ροκ και lounge μουσική, προγράμματα ομιλίας, προγράμματα με εγκυκλοπαιδικά και επιστημονικά θέματα, χριστιανική περιεχόμενο, πολιτισμικό περιεχόμενο καθώς και εθνικά ποδοσφαιρικά γεγονότα.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στη Γερμανία είναι:





- Το 2009 επιλέχθηκε το DAB+ προκειμένου να εξασφαλίσει το μέλλον του ψηφιακού ραδιοφώνου στη Γερμανία.
- Οι ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες μεταδίδονται στην Band III (Channels 5 – 12)
- Λόγω της ομοσπονδιακής δομής της Γερμανίας, το φάσμα έχει εκχωρηθεί σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Υπάρχουν δύο τύποι αδειών:

- Τηλεπικοινωνιακή άδεια, η οποία απονέμεται από την Εθνική Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Δικτύων (BNetzA) στο χειριστή του δικτύου για τη λειτουργία του δικτύου.
- Άδεια Media, η οποία χορηγείται από την αρχή μέσω μαζικής ενημέρωσης των ομοσπονδιακών κρατιδίων, στους ραδιοτηλεοπτικούς οργανισμούς.
- Επίσης συζητάτε το γεγονός να ανανεώνονται άδειες αναλογικής εκπομπής μόνο όταν υπάρχει και ταυτόχρονη μετάδοση μέσω DAB+.

❖ Ιταλία

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Οι μόνιμες υπηρεσίες ξεκίνησαν τον Δεκέμβριο του 2012 στην περιοχή του Τρεντίνο μετά από απόφαση της Ιταλικής ρυθμιστικής αρχής, AGCOM. Η απόφαση αυτή της AGCOM, που δημοσιεύθηκε από τον Μάιο του 2012, εκχώρησε ένα μπλοκ για την εθνική δημόσια ραδιοφωνία (12A) και δύο μπλοκ για την εθνική εμπορική ραδιοφωνία (12B και 12C) όσο για τα πρόσθετα στοιχεία των τοπικών υπηρεσιών εκχώρησε τα μπλοκ (12D, 10A, 10B, 10C και 10D). Το υπουργείο Επικοινωνιών εξέδωσε άδειες για την περιοχή του Τρεντίνο στους εθνικούς παρόχους, το μπλοκ 12B στο δημόσιο ραδιοτηλεοπτικό φορέα RAI και το μπλοκ 12C στον ιδιωτικό εθνικό φορέα Club DAB Italia. Το τρίτο μπλοκ 12A ανατέθηκε στον εθνικό φορέα EURODAB ITALIA.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες με δοκιμές και έναρξη λειτουργίας DAB+
	Πληθυσμός	61,000,000
	Υπηρεσίες	92 simulcast DAB+ & 51 exclusive DAB+
	Κάλυψη	65%

ΚΑΛΥΨΗ

Με τον συνδυασμό των μόνιμων και των δοκιμαστικών εκπομπών εκτιμάται ότι η κάλυψη αγγίζει το 65% του ιταλικού πληθυσμού (εξωτερική κάλυψη).



ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Στην Ιταλία βρίσκονται on air μία δοκιμαστική, τρεις εθνικές και έξι περιφερειακές πολυπλεξίες. Συνολικά υπάρχουν 92 DAB+ προγράμματα με ταυτόχρονη μετάδοση στα FM και 15 DAB+ διατίθεται αποκλειστικά σε DAB+ για λήψη από ψηφιακούς δέκτες. Υπάρχουν 7 υπηρεσίες δεδομένων και επιπλέον, είναι on air για δοκιμαστικούς σκοπούς τα 2 TPEG δίκτυα Euro DAB Italia και Rai Way.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στην Ιταλία:

- Band III και L-Band
- Οι άδειες DAB+/DMB εκδίδονται στους υφιστάμενους κατόχους αδειών FM
- Οι εθνικοί και τοπικοί πολυπλέκτες πρέπει να φέρουν τουλάχιστον πέντε ραδιοφωνικούς σταθμούς ο καθένας
- Η διάρκεια ισχύος της αδειάς για τους παρόχους περιεχομένου είναι 12 έτη ενώ για τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων είναι 20 έτη.
- Η πόλη του Βατικανού στη Ρώμη εκπέμπει τόσο στην Band III όσο και στην L-Band



- Η δομή του DAB+ δικτύου στην Ιταλία εστιάζεται στις εθνικές οδούς με σκοπό την εξασφάλιση της αδιάλειπτης λήψης.
- Επίσης εξετάζεται η ιδέα της ύπαρξης ενός μόνο φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου.



Όπως είπαμε το 2009 η AGCOM (Ιταλική Αρχή Επικοινωνιών) ενέκρινε κανονισμό που καθορίζει τα βήματα για τη σταδιακή εφαρμογή του ψηφιακού ραδιοφώνου σε όλη την Ιταλία. Οι ραδιοηλεκτρονικοί φορείς μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα σε DAB, DAB+ ή DMB ενώ ο κανονισμός είναι αυτός που επιτρέπει και ορίζει τη μετάβαση των υπηρεσιών από την αναλογική στην ψηφιακή εποχή. Επίσης παρέχει σαφείς ρυθμίσεις σχετικά με την κάλυψη, τα δίκτυα των εθνικών υπηρεσιών, την κατανομή του ραδιοφάσματος για τις υπηρεσίες, την τοπική κάλυψη και τους κανόνες σχετικά με την ταυτόχρονη μετάδοση και νέο περιεχόμενο. Ο κανονισμός ορίζει ένα εθνικό δίκτυο για τον δημόσιο φορέα RAI, και δύο εθνικά δίκτυα για την εμπορική ραδιοφωνία επιπρόσθετα έχει δημιουργηθεί "χώρος" για τους τοπικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς αλλά και στον χειριστή του δικτύου έχει δοθεί επιπρόσθετη χωρητικότητα για την παροχή υπηρεσιών δεδομένων. Η AGCOM ενέκρινε επίσημο κανονισμό για DAB/DAB+, φέρνοντας το πειραματικό στάδιο εκπομπών προς το τέλος του, ανοίγοντας έτσι το δρόμο για τη δημιουργία μιας επιτυχημένης ψηφιακής αγοράς ραδιοφώνου. Οι άδειες εκδόθηκαν αρχικά για τους υφιστάμενους κατόχους αδειών FM αφήνοντας όμως υπόλοιπο διαθέσιμο φάσμα για νεοεισερχόμενους σταθμούς.

❖ ΟΛΛΑΝΔΙΑ

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Οι εμπορικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί (VCR) και οι δημόσιοι ραδιοφωνικοί σταθμοί (NPO) έχουν και οι δύο 95% κάλυψη. Οι NPO μετέφεραν τις υπηρεσίες τους στο DAB+ το 2013 αν και στις αρχές του 2014 προχώρησαν στην επέκταση της κάλυψης των υφιστάμενων DAB πολυπλεξιών από 70% έως 95%. Οι εμπορικοί σταθμοί ξεκίνησαν την λειτουργία τους την 1 Σεπτεμβρίου 2013 και ο συνολικός αριθμός των σταθμών αυξήθηκε από 9 σε 21. NPO και VCR μαζί με την κυβέρνηση συνεργάζονται για την προώθηση του Digital Radio+ στις Κάτω Χώρες.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες DAB+ και έναρξη δοκιμών DMB
	Πληθυσμός	16,700,000

	Υπηρεσίες	28 DAB+, 3 simulcast DMB & 1 Data
	Κάλυψη	95%

ΚΑΛΥΨΗ

Η κάλυψη των δημόσιων φορέων αγγίζει το 95% του πληθυσμού ενώ από την άλλη η κάλυψη των εμπορικών φορέων έφτασε επίσης το 95% των εξωτερικών χώρων. Η NPO επέκτεινε το δίκτυο με επιπλέον 14 κέντρα εκπομπής στις αρχές του 2014. Το 2015 το δίκτυο επεκτάθηκε περαιτέρω με επιπλέον 24 κέντρα εκπομπής, επιτρέποντας την καλή λήψη σήματος και στους εσωτερικούς χώρους σχεδόν σε όλη την επικράτεια των Κάτω Χωρών.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Υπάρχουν 15 προγράμματα DAB+ ταυτόχρονης μετάδοσης, 13 DAB+ αποκλειστικής μετάδοσης, 2 DMB ταυτόχρονης μετάδοσης, 1 DMB αποκλειστικής μετάδοσης και 1 πρόγραμμα Data. Υπάρχουν δύο μόνιμες εθνικές DAB+ πολυπλεξίες και μία δοκιμαστική τοπική DMB πολυπλεξία σε λειτουργία. Η εθνική πολυπλεξία μεταφέρει δέκα προγράμματα του δημόσιου ραδιοτηλεοπτικού φορέα NPO. Τα πέντε πρώτα εξ αυτών των προγραμμάτων μεταδίδονται ταυτόχρονα και στα FM/AM ενώ τα άλλα πέντε μεταδίδονται αποκλειστικά ψηφιακά μέσω DAB+ μέσω διαδικτύου. Τον Μάιο του 2014 ο Ολλανδικός δημόσιος ραδιοτηλεοπτικός φορέας NPO ξεκίνησε τη μετάδοση εικόνων slideshow μέσω DAB+ για την πλειονότητα των καναλιών προγράμματος.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στην Ολλανδία είναι τα εξής:

- Δύο εθνικές πολυπλεξίες, και οι δύο δημόσιες και εμπορικές, με την χρήση DAB+
- Όλα οι εθνικοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς που χρησιμοποιούσαν τα FM τώρα εκπέμπουν σε DAB+
- Όλες οι νέες άδειες FM (που χορηγήθηκαν μέχρι και το 2011) περιέχουν έναν όρο που υποχρεώνουν την ψηφιακή ταυτόχρονη μετάδοση.
- Η Ολλανδική κυβέρνηση εκδίδει άδειες DAB και καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις που ισχύουν για τη χρήση της DAB στην Ολλανδία. Είχε ανακοινωθεί ότι η Band III και η L-Band θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τις υπηρεσίες που βασίζονται στο DAB. Οι ραδιοτηλεοπτικοί οργανισμοί μπορούν





να επιλέξουν να χρησιμοποιήσουν DAB, DAB+ ή DMB με την πλειοψηφία των ενδιαφερομένων να επιλέξουν σε μεγάλο ποσοστό το DAB+.

- Οι εθνικοί εμπορικοί σταθμοί έχουν πλέον αποκτήσει πολλαπλή άδεια για τουλάχιστον 16 σταθμούς DAB.
- Η Mobile TV Netherlands (MTVNL) κατέχει άδεια για πανεθνικές υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης, ραδιοφώνου και δεδομένων, οι οποίες μεταδίδονται στην Band III ενώ διαθέτει και ένα εκτεταμένο δίκτυο δοκιμών που εξυπηρετεί τις περιφέρειες Haaglanden, Hilversum και Αϊντχόβεν.
- Δεν υπάρχει καθορισμένη ημερομηνία εναλλαγής από τα FM στην πλήρη χρήση του DAB/DAB+, πάντως όλες οι άδειες FM έχουν παραταθεί μέχρι το τέλος του 2017, βέβαια η κυβέρνηση σχεδιάζει ως ημερομηνία εναλλαγής το έτος 2023. Πάντως η επίσημη πολιτική είναι ότι, τελικά, ένα έως δύο χρόνια πριν από τη λήξη των αδειών FM, θα υπάρξει μια πλήρης ανασκόπηση των εξελίξεων των αναλογικών και ψηφιακών ραδιοφωνικών μεταδόσεων.
- Από τον Σεπτέμβριο του 2015 η NPO “έκλεισε” τις μεταδόσεις στα AM

❖ ΝΟΡΒΗΓΙΑ

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η κυβέρνηση έχει θέσει ως ημερομηνία απενεργοποίησης των ραδιοφωνικών μεταδόσεων στα FM, τον Ιανουάριο του 2017 βέβαια ακόμη και μετά το 2017, μόνο οι μικροί τοπικοί σταθμοί θα μπορούν να συνεχίζουν να εκπέμπουν στα FM. Σε κάθε περίπτωση τα κριτήρια για το ποιο ακριβώς σταθμοί θα έχουν την ευκαιρία αυτή δεν έχουν καθοριστεί ακόμη. Οι ραδιοτηλεοπτικοί οργανισμοί έχουν την ευχέρεια να επιλέξουν ανάμεσα σε μεταδόσεις DAB ή DAB+. Έως το 2017, το σύνολο των εκπομπών DAB στη Νορβηγία πιθανότατα θα είναι εξ' ολοκλήρου σε μορφή DAB+.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες, λειτουργία DAB/DAB+ και έναρξη δοκιμών DMB
	Πληθυσμός	5,603,079
	Υπηρεσίες	14-44 κανάλια
	Κάλυψη	99.5%



Σύνολο πωλήσεων

1.166.000

ΚΑΛΥΨΗ

Στη Νορβηγία, το 99,4% του πληθυσμού έχει πρόσβαση στην λήψη DAB υπηρεσιών. Δημόσιος ραδιοτηλεοπτικός φορέας NRK έχει 98,8 ~ 99,5% πληθυσμιακή κάλυψη. Οι εμπορικοί σταθμοί προσφέρουν κάλυψη της τάξης του 90%. Η εξάπλωση του DAB δικτύου έχει ολοκληρωθεί ήδη από το καλοκαίρι του 2014, ενώ η κάλυψη του μεγαλύτερου ποσοστού του οδικού δικτύου ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Επίσης τουλάχιστον 260 σήραγγες θα έχουν αναβαθμιστεί συνολικά ούτως ώστε να παρέχετε κάλυψη DAB. Στόχος είναι η περιοχή κάλυψης DAB να είναι ίση με ή καλύτερη σε σχέση με τα FM όταν τα εθνικά δίκτυα DAB θα έχουν ολοκληρωθεί.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Υπάρχουν κανάλια 22 εθνικής εμβέλειας, 8 εμπορικά και 14 δημόσια. Οι σταθμοί της NRK διανέμονται κυρίως μέσω του δικού της σε περιφερειακό επίπεδο δικτύου DAB, αν και είναι μερικοί σταθμοί της διανέμονται προσωρινά μέσω του εμπορικού δικτύου DAB. Επίσης υπάρχουν 3 τοπικά δίκτυα σε λειτουργία στη Νορβηγία. Στην περιοχή του Όσλο 16 κανάλια είναι διαθέσιμα, εκτός των εθνικών δικτύων.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στη Νορβηγία είναι:






- Οι ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες μεταδίδονται στην Band III
- Όλα τα σημαντικά FM-κανάλια που μεταδίδονται και σε DAB
- Οι όροι μετάδοσης στη Νορβηγία ρυθμίζονται σύμφωνα με την νομοθεσία περί ραδιοτηλεοπτικής εκπομπής.
- Λειτουργεί μια εθνική DAB πολυπλεξία, επτά περιφερειακές (με συνολική κάλυψη που αντιστοιχεί στην εθνική πολυπλεξία) συν 3 τοπικές πολυπλεξίες.
- Οι περιφερειακές πολυπλεξίες διαχειρίζονται από την NRK, επιτυγχάνοντας συνολική κάλυψη στο 90%.
- Η μετάβαση από το αναλογικό ραδιόφωνο έχει προγραμματιστεί για το 2017, μόνο εάν τα ακόλουθα κριτήρια μετάβασης πληρούνται:
 - Η NRK πρέπει να επιτύχει κάλυψη 99,5% μέχρι το τέλος του 2015. Ενώ όλοι οι εμπορικοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς στο εθνικό δίκτυο #1 υποχρεούνται να φθάσουν το 90% πληθυσμιακή κάλυψη.

- Το 50% των ακροατών θα πρέπει να χρησιμοποιεί καθημερινά μια ψηφιακή πλατφόρμα, μέχρι το τέλος του 2015. Αυτό βέβαια δεν προσδιορίζει την κατανομή του ακροατηρίου με βάση το περιεχόμενο ή τις υπηρεσίες, αλλά μόνο το ποσοστό ακρόασης που πρέπει να επιτευχθεί.
- Ψηφιακές πλατφόρμες θα πρέπει να περιλαμβάνουν ακρόαση μέσω Ίντερνετ καθώς και την ψηφιακή τηλεόραση.
- Επομένως κάποιες από τις παραπάνω καταστάσεις πρέπει να επιτευχθούν για την εναλλαγή από τα FM στο DAB και εάν δεν επιτευχθούν μέχρι το τέλος του 2015 τότε η μετάβαση θα πρέπει να μετατεθεί για το 2019

❖ ΕΛΒΕΤΙΑ

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Μέχρι σήμερα υφίσταται μια εθνική πολυπλεξία με τέσσερις περιφερειακές πολυπλεξίες, οι τρεις εξ αυτών είναι περιφερειακές πολυπλεξίες και μια είναι τοπική (περιοχή Γενεύης), καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό και τις τέσσερις γλωσσικές περιοχές της χώρας (Γερμανική γλώσσα, Γαλλική γλώσσα, Ιταλική γλώσσα, Ρομανσική γλώσσα), με ένα μείγμα δημόσιων και εμπορικών υπηρεσιών. Επίσης μια ακόμη τοπική πολυπλεξία στην περιοχή της Ζυρίχης ξεκίνησε το 2014. Στο τέλος του 2012 πραγματοποιήθηκε το πρώτο βήμα της μετάβασης από το DAB στο DAB+. Η Ελβετία παρουσίασε τις πρώτες ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες DAB το 1999 με τον δημόσιο ραδιοτηλεοπτικό φορέα SRG SSR. Οι DAB+ υπηρεσίες ξεκίνησαν από το 2008.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες, λειτουργία DAB+
	Πληθυσμός	8,081,482
	Υπηρεσίες	50 DAB+ simulcast, 28 exclusive DAB+
	Κάλυψη	96% indoor 99% outdoor
	Σύνολο πωλήσεων	1.520.000

ΚΑΛΥΨΗ

Το ψηφιακό ραδιόφωνο DAB+ στην Ελβετία φθάνει και ίσως ξεπερνάει το 99% της πληθυσμιακής κάλυψης (εξωτερική κάλυψη 99%, εσωτερική κάλυψη πάνω από 96%). Η κάλυψη των σηράγγων στις εθνικές οδούς θα πρέπει να ολοκληρωθεί μέχρι το 2018/2019.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Οι τέσσερις αρχικές πολυπλεξίες διευθύνονται από τον δημόσιο ραδιοτηλεοπτικό φορέα SRG SSR. Η πρώτη εμπορική DAB+ πολυπλεξία, η οποία ξεκίνησε στις 13 Οκτωβρίου 2009, πλέον εκπέμπει 14 εμπορικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς και τρεις δημόσιους ραδιοφωνικούς σταθμούς στο γερμανόφωνο τμήμα της Ελβετίας. Μια δεύτερη εμπορική πολυπλεξία DAB+ ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2012 στο γερμανόφωνο τμήμα, με 12 εμπορικούς και 7 δημόσιους ραδιοφωνικούς σταθμούς και μια πρώτη περιφερειακή εμπορική πολυπλεξία DAB+ άρχισε στα τέλη του 2013 στο γαλλόφωνο τμήμα με 13 εμπορικές πολυπλεξίες και 2 δημόσιους ραδιοφωνικούς σταθμούς. Στην περιοχή της Γενεύης το Μάιο του 2014 ξεκίνησε μια τοπική πολυπλεξία, με 12 εμπορικούς και μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα ραδιοφωνικούς σταθμούς. Ο αριθμός των σταθμών ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή σύμφωνα με τη γλώσσα. Υπάρχουν οκτώ μόνιμες DAB/DAB+ πολυπλεξίες σε λειτουργία με 47 σταθμούς στο Γερμανόφωνο τμήμα της Ελβετίας, με 39 σταθμούς στο Γαλλόφωνο τμήμα της Ελβετίας και με 11 σταθμούς στο Ιταλόφωνο τμήμα της Ελβετίας. Μέχρι στιγμής υπάρχουν 50 στον αριθμό DAB+ προγράμματα ταυτόχρονης μετάδοσης σε AM/FM και 28 DAB+ προγράμματα αποκλειστικά σε ψηφιακή μετάδοση.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στην Ελβετία είναι:

- Band III
- Εθνικές πολυπλεξίες
- Το 2013 τα αυτόνομα σύνολα της Band III που εγκρίθηκαν από τη ρυθμιστική αρχή για τις κύριες αστικές περιοχές προορίζονται ως πλατφόρμα DAB+ για τους μικρότερους, μη εμπορικούς ραδιοτηλεοπτικούς φορείς.
- Στα τέλη του 2014 οι πάροχοι περιεχομένου παρουσίασαν στη ρυθμιστική αρχή ένα λεπτομερές σχέδιο ψηφιακής μετάβασης.
- Το 2016, θα αποφασιστεί εάν όλες οι υπηρεσίες στο μέλλον θα πρέπει να είναι DAB+
- Η OFCOM κατέχει την άδεια φάσματος
- Στα μέσα Φεβρουαρίου του 2012, η OFCOM χορήγησε σχετική άδεια μετάδοσης στο Romandie Médias SA, για τη λειτουργία μιας επιπλέον πολυπλεξίας δικτύου DAB+ στη Γαλλόφωνη περιοχή της Ελβετίας. Η νέα

πλατφόρμα, η οποία έχει χωρητικότητα έως και 18 DAB+ σταθμούς, βγήκε στον αέρα τον Απρίλιο του 2014.

- Η άδεια της SRG περιλαμβάνει τη λειτουργία μιας πολυπλεξίας DAB και δίκτυο μετάδοσης στην Band III .Το κέντρα εκπομπής λειτουργούν από τη Swisscom Broadcast, αλλά η SRG είναι υπεύθυνη για τον σχεδιασμό του δικτύου, για τη δημιουργία σήματος καθώς και για την πολυπλεξία αυτού.

Το καλοκαίρι του 2007 χορηγήθηκαν 8 άδειες σε εμπορικά ραδιόφωνα και επιχειρήσεις μέσων ενημέρωσης για το Γερμανόφωνο κομμάτι της Ελβετίας. Στη SwissMediaCast AG χορηγήθηκε άδεια για τη μετάδοση στο κανάλι 7D και στο κανάλι 9A από την Ελβετική ρυθμιστική αρχή OFCOM, η SMC AG τρέχει την πρώτη εμπορική πολυπλεξία DAB+ στη γερμανόφωνη Ελβετία.


❖ ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ





ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η ραδιοφωνική βιομηχανία του Ηνωμένου Βασιλείου έχει δεσμευθεί για το ψηφιακό μέλλον του ραδιοφώνου. Η Ψηφιακή ακρόαση αγγίζει το 36,6%. Οι δέκτες DAB είναι οι πιο δημοφιλείς συσκευές ψηφιακής ακρόασης με 25 εκατομμύρια ενήλικες να έχουν πρόσβαση στο ψηφιακό ραδιόφωνο. Η ζήτηση των DAB δεκτών στα αυτοκίνητα συνεχίζει να αυξάνεται. Ήδη από τον Μάιο του 2014, ανακοινώθηκε ότι το 55% των νέων αυτοκινήτων είχε ψηφιακό ραδιόφωνο DAB στον βασικό του εξοπλισμό. Τον Ιούνιο του 2014, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου δήλωσε ότι έχει οριστεί πλήρη υποστήριξη για μια μακροπρόθεσμη μετάβαση σε ένα ψηφιακό μέλλον χωρίς όμως να έχει οριστεί επίσημη ημερομηνία για την τελική μετάβαση στο ψηφιακό ραδιόφωνο. Τα κριτήρια της κυβέρνησης για να ορίσει ημερομηνία για την καθολική μετάβαση στο ψηφιακό ραδιόφωνο είναι:

- Το ψηφιακό μερίδιο της ακρόασης να φθάσει στο 50% του συνόλου των ωρών ακρόασης (επί του παρόντος το ποσοστό αυτό είναι στο 36,6%).
- Όταν η τοπική εμπορική και εθνική κάλυψη του DAB φτάσει σε ισοδύναμα επίπεδα με την κάλυψη των FM.

Τον Ιούλιο του 2014, η ρυθμιστική αρχή Ofcom του Ηνωμένου Βασιλείου ανακοίνωσε ότι είχε διενεργήσει πλειοδοτικό διαγωνισμό προκειμένου να “τρέξει” και ένα δεύτερο εθνικό ψηφιακό ραδιόφωνο πολυπλεξίας DAB, με σκοπό να λειτουργήσει παράλληλα με το υφιστάμενο ψηφιακό δίκτυο και όλες τις τοπικές ψηφιακές ραδιοφωνικές πλατφόρμες που λειτουργούν έως σήμερα.

	Επεξήγηση	Ανάλυση
	Κατάσταση	Μόνιμες υπηρεσίες, λειτουργία DAB

	Πληθυσμός	63,200,000
	Υπηρεσίες	415 DAB
	Κάλυψη	94% indoor
	Σύνολο πωλήσεων	19.000.000

ΚΑΛΥΨΗ

Η επί του παρόντος πληθυσμιακή κάλυψη του Ηνωμένου Βασιλείου είναι:

- 94.5% για τους εθνικούς BBC σταθμούς
- 89% για τους εθνικούς εμπορικούς σταθμούς
- 70% τοπική κάλυψη DAB

Ένα σημαντικό διετές πρόγραμμα κάλυψης DAB είναι τώρα σε εξέλιξη, το οποίο περιλαμβάνει:

- Τον διπλασιασμό του αριθμού των τοπικών πομπών DAB (περίπου 200 νέοι πομποί) για να αποκτήσει το τοπικό DAB ισοδυναμία με το FM,
- πάνω από 162 νέους πομπούς για το εθνικό δίκτυο BBC προκειμένου να αναπτυχθεί από το 94% της πληθυσμιακής κάλυψης στο 97% μέχρι το τέλος του 2015,
- και περισσότερους πομπούς για το εθνικό εμπορικό δίκτυο, Digital One.

Αυτό το υπό κατασκευή πρόγραμμα θα επικεντρωθεί επίσης στο κύριο οδικό δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου με την τοπική επέκταση του DAB να επιφέρει από μόνη της κάλυψη 6700km οδικού δικτύου. Η Κυβέρνηση, το BBC και οι εμπορικοί ραδιοτηλεοπτικοί φορείς έχουν υπογράψει μια συμφωνία για τη χρηματοδότηση του υπό κατασκευή τοπικού DAB με στόχο την επέκταση της κάλυψης στο 90% μέχρι το τέλος του 2016.

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ON AIR

Υπάρχουν επί του παρόντος δύο μόνιμες εθνικές πολυπλεξίες (μια του BBC και μια εθνική εμπορική), πέντε περιφερειακές πολυπλεξίες και 47 μόνιμες τοπικές πολυπλεξίες σε λειτουργία. 415 DAB προγράμματα βρίσκονται on air με τα 111 από αυτά αποκλειστικά για το DAB.

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΩΤΗΤΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του κανονισμού για το ψηφιακό ραδιόφωνο στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι:

- Οι ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες να μεταδίδονται στην Band III
- Εθνικά κριτήρια για την μετάβαση από την αναλογική εποχή:
 - Πάνω από το 50% της ακρόασης θα πρέπει να γίνεται μέσω ψηφιακής πλατφόρμας
 - Η ψηφιακή κάλυψη για τις εθνικές υπηρεσίες πρέπει να είναι συγκρίσιμη με το FM και το τοπικό DAB θα πρέπει να φθάσει το 90% της κάλυψης του πληθυσμού, καθώς και να είναι σε θέση να καλύπτει τα κυριότερα κομμάτια του οδικού δικτύου.
- Ένα βασιλικό διάταγμα και μια συμφωνία διέπουν τη δημόσια ραδιοτηλεόραση (BBC) με νέους σταθμούς που υπόκεινται στην έγκριση της Κυβέρνησης και της ρυθμιστικής αρχής μέσω μαζικής ενημέρωσης και επικοινωνίας, Ofcom.
- Η Ofcom ρυθμίζει τον εμπορικό τομέα, ενώ διαφημίζει και χορηγεί άδειες για τις ψηφιακές υπηρεσίες ραδιοφώνου σύμφωνα με τις διατάξεις ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων του 1990 και του 1996
- Η Ofcom χορηγεί άδειες για ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας και της πλατφόρμας:
- Άδειες για νέα σύνολα ψηφιακού ραδιοφώνου υπόκεινται σε ανοικτό διαγωνισμό και δίδονται για δώδεκα χρόνια σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο.
- Οι άδειες πολυπλεξίας χορηγούνται σε με την λογική διαγωνισμού ομορφιάς και όχι σε πλειστηριασμό, ενώ η ρυθμιστική αρχή καλύπτει τον ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης (bit-rate) για τους σταθμούς μουσικής, τις «must carry» υποχρεώσεις, την συντήρηση των υπηρεσιών των σταθμών, τις δεσμεύσεις των παρόχων και την ποσότητα του περιεχομένου των δεδομένων.

6.7.2 Το Βασικό ερώτημα για την βιωσιμότητα του DAB

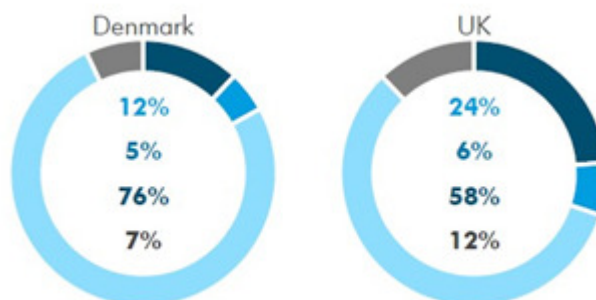
Βέβαια ακόμη και μετά από όλα αυτά τα στοιχεία για τις κινήσεις διάφορων Χωρών για την ψηφιοποίηση του ραδιοφώνου το βασικό ερώτημα που προκύπτει και έχει τεθεί από πολλούς φορείς είναι αν κατά πόσο θα μπορέσει το DAB στο άμεσο μέλλον να συνυπάρξει με το Internet Radio ή αν θα επικρατήσει το ένα από τα δύο.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΡΟΑΤΩΝ ΑΝΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

the % of total listening hours which are listened to via DAB/DAB+

Q1 2013

● DAB ● IP ● AM / FM ● Other



Εικόνα 6.7.2: Κατανομή ακροατών ανά τεχνολογία κατά την διάρκεια του 1ου τετράμηνου του 2013

Πρόσφατα η αυστραλιανή ραδιοφωνική βιομηχανία αντέδρασε έντονα με την σύσταση της ABC και SBS στο να μειωθούν οι παροχές υπηρεσιών της για την ψηφιακή ραδιοφωνία κάτι που είχε ως αποτέλεσμα το να μην εξαπλωθεί το DAB στις περιφερειακές περιοχές. Το τμήμα επικοινωνιών αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας για τους δημόσιους ραδιοτηλεοπτικούς φορείς συνιστά ότι με την πάροδο του χρόνου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σημαντική εξοικονόμηση πόρων με την προϋπόθεση ότι οι επίγειες ψηφιακές ραδιοφωνικές υπηρεσίες δεν θα λειτουργούν πλέον αλλά θα χρησιμοποιούνται διαδικτυακές και κινητές εναλλακτικές μέθοδοι.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι το ψηφιακό ραδιόφωνο είναι μια συμπληρωματική υπηρεσία η οποία λειτουργεί παράλληλα με το AM/FM ραδιόφωνο, όπως ακριβώς είδαμε και στις παραπάνω παραγράφους και ότι η συντριπτική πλειοψηφία του ψηφιακού ραδιοφωνικού περιεχομένου αναπαράγεται στο αναλογικό ραδιόφωνο, διαδικτυακά, σε κινητά τηλέφωνα μέσω ειδικών εφαρμογών καθώς επίσης και στην ψηφιακή τηλεόραση.

Τα ραδιοφωνικά στελέχη αναφέρουν ότι το ABC εγκαταλείποντας τη μορφή DAB+ θα μπορούσε να «σκοτώσει» το ψηφιακό ραδιόφωνο σε αυτή τη χώρα. Η πρόταση αυτή θεωρείται καταστροφική ιδιαίτερα όταν έχουν προηγηθεί μεγάλες επενδύσεις για προγράμματα εκπαίδευσης των καταναλωτών από τους ραδιοτηλεοπτικούς οργανισμούς.

Το εμπορικό ραδιόφωνο της Αυστραλίας και τα μέλη του σημειώνουν σχεδόν 1,7 εκατομμύρια Αυστραλούς οι οποίοι κατέχουν ένα συμβατό ραδιόφωνο με το DAB+ και το συνολικό ποσοστό ακρόασης από τις DAB+ συσκευές πλησιάζει το ποσοστό του 20%. Η απαξίωση εκατομμύρια συσκευών DAB+ θα αποτελέσει έναν πολιτικό «πονοκέφαλο» καθώς η κυβέρνηση της Αυστραλίας

έχει δηλώσει εμπιστευτικά ότι δεν γνωρίζει από που θα προέλθει η χρηματοδότηση για την εγκατάσταση των αγροτικών ψηφιακών ραδιοφωνικών εγκαταστάσεων για την παροχή υπηρεσιών στα πλαίσια των υφιστάμενων περιορισμών του προϋπολογισμού. Ένας στους τρεις ιδιοκτήτες σταθμών οι οποίοι αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο ποσοστό των περιφερειακών φορέων, δεν διαθέτουν τους απαραίτητους πόρους για την ψηφιακή εγκατάσταση.

Ήδη ένας αριθμός από τους περιφερειακούς φορείς έχει απενεργοποιήσει τις ψηφιακές ταυτόχρονες εκπομπές ως διαφωνία με την Phonographic Performance Company της Αυστραλίας για τα πρόσθετα τέλη για την συνέχιση της ψηφιακής ταυτόχρονης εκπομπής.

Ο ραδιοφωνικός κλάδος διατηρεί επίσης την δυσπιστία του σχετικά με τη βιωσιμότητα της ροής απο το Διαδίκτυο για την ακρόαση ραδιοφώνου παρά την αύξηση της διαδικτυακής ακρόασης.

Έτσι η απάντηση στο ερώτημα είναι ότι μόνο ο χρόνος θα μας δείξει αν το DAB θα συνεχίσει να κυβερνά την ψηφιακή ροή ή όχι, αλλά μέχρι στιγμής οι τρέχουσες πιθανότητες είναι υπέρ του Internet Radio.

Κεφάλαιο 7

7.1 Η ιστορία της διαμόρφωσης OFDM

Η διαμόρφωση OFDM ήταν γνωστή από το 1966, παρόλα αυτά η έρευνα γύρω από το αντικείμενο έφτασε σε στάδιο ωριμότητας μόλις τη δεκαετία του 1990.

Τη δεκαετία του 1960 και στην αρχή της χρήσης της τεχνικής OFDM χρησιμοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά στις στρατιωτικές επικοινωνίες, σε συστήματα τα οποία λειτουργούσαν σε ζώνες υψηλών συχνοτήτων. Στη συνέχεια, κατά τη δεκαετία του 1980, μελετήθηκε περεταίρω για την αποδοτικότητά της σε modems υψηλών ταχυτήτων καθώς και σε ψηφιακές κινητές επικοινωνίες ενώ η καθιέρωση της επιτεύχθηκε την δεκαετία του 1990 και το ενδιαφέρον για αυτή την τεχνική αυξήθηκε εξαιτίας της εξέλιξης στα πεδία της επεξεργασίας σήματος και της μικροηλεκτρονικής και με την χρήση της τεχνικής αυτής στις ευρυζωνικές επικοινωνίες πάνω στα κινητά ραδιοφωνικά κανάλια FM καθώς και σε τεχνολογίες όπως το ADSL, το VDSL (Very-high-speed Digital Subscriber Lines), τα **συστήματα DAB** (Digital Audio Broadcasting) και την HDTV (High Definition Television).

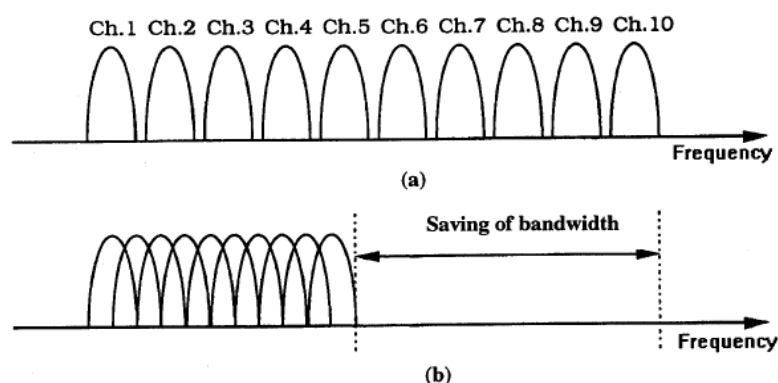
7.2 Η λογική της διαμόρφωσης OFDM

Ξεκινώντας, καλό είναι να αναφέρουμε ότι η OFDM μπορεί να θεωρηθεί και σαν τεχνική διαμόρφωσης, αλλά και ως τεχνική πολυπλεξίας. Γενικότερα η OFDM αποτελεί τεχνική μετάδοσης φέρουσας μέσα στην οποία μεταδίδονται μια σειρά από πληροφορίες με την χρήση πολλαπλών υποφερουσών. Η OFDM είναι σε θέση να αντιμετωπίσει δύο βασικά προβλήματα που συναντάμε στα ασύρματα δίκτυα, αυτό της παρεμβολής και του fading. Στην περίπτωση ενός συστήματος απλού φορέα, η εμφάνιση μιας απλής πολυόδευσης ή παρεμβολής μπορεί να οδηγήσει στην ολική κατάρρευση του συστήματος (μη απολαβή σήματος), αντιθέτως στην περίπτωση συστήματος πολλών φορέων η εμφάνιση επίσης μιας απλής πολυόδευσης ή παρεμβολής θα επηρεάσει μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτών. Τα σφάλματα που προκύπτουν μπορούν να αντιμετωπιστούν από κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης.

Η συνολική ζώνη συχνοτήτων σε ένα κλασικό σύστημα πολύπλεξης συχνότητας αποτελείται από N μη αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων, με το κάθε υποκάνάλι να μεταδίδει ένα διαφορετικό σήμα, επομένως με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η επικάλυψη των καναλιών και μειώνεται η αλληλοπαρεμβολή. Ωστόσο φίλτρα και ζώνες ασφαλείας

καθίστανται απαραίτητα για το διαχωρισμό των υποκαναλιών. Παρόλα αυτά η ιδέα αυτή είναι μη αποδοτική και για την αντιμετώπισή της στα μέσα της δεκαετίας του 1960 προτάθηκε η διαμόρφωση FDM της οποίας η βασική ιδέα, όπως και της OFDM διαμόρφωσης, ήταν η φασματική διαίρεση του προς μετάδοση σήματος ευρείας ζώνης (wideband) σε μεγάλο αριθμό υποκαναλιών (subchannels) στενής ζώνης (narrowband), με αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια όπου σύμφωνα με αυτή κάθε κανάλι διαθέτει έναν ρυθμό μετάδοσης b και απέχει από το επόμενο υποκανάλι κατά b στη συχνότητα, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την συνολική φασματική απόδοση του συστήματος.

Στην εικόνα 7.2.1 παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της διαφοράς ανάμεσα στην κλασική μέθοδο με χρήση μη αλληλοκαλυπτόμενων υποκαναλιών συχνοτήτων και στην μέθοδο με χρήση αλληλοκαλυπτόμενων υποκαναλιών υποφερουσών με διαμόρφωση. Βλέπουμε ότι υιοθετώντας τη δεύτερη μέθοδο, μπορούμε να μειώσουμε το απαιτούμενο εύρος ζώνης κατά το ήμισυ. Βέβαια, είναι αναγκαία, προκειμένου να μειώσουμε τη διακαναλική αλληλοπαρεμβολή (Inter-Channel Interference) στα αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια, η χρήση της ορθογωνιότητας ανάμεσα στις διαμορφωμένες υποφέρουσες.



Εικόνα 7.2.1: Η ιδέα της διαμόρφωσης OFDM, (α) συμβατική μέθοδος πολύπλεξης με μη αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια, (β) μέθοδος με αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια και ορθογωνίες υποφέρουσες.

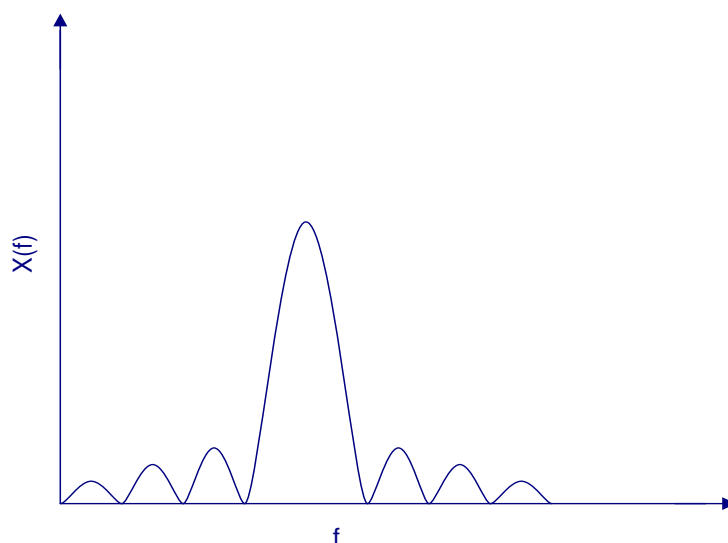
7.3 Ιδιότητα της Ορθογωνιότητας

Το κύριο σημείο διαφοροποίησης της OFDM από την απλή FDM είναι η ορθογωνιότητα των παράλληλα μεταδιδόμενων παλμών. Η ορθογωνιότητα επιτρέπει σε πολλαπλά σήματα να μεταδίδονται σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας και να ανιχνεύονται χωρίς να παρεμβάλει το ένα στο άλλο. Τα υποκανάλια μεταδίδουν παράλληλα πληροφορία στο πεδίο του χρόνου, ενώ μπορούν να επικαλύπτονται σε ένα τμήμα του φάσματος χωρίς τον κίνδυνο

αλλοίωσής τους, στο πεδίο της συχνότητας, με την προϋπόθεση ότι είναι μεταξύ τους ορθογώνια. Επομένως δεν χρειάζεται πλέον να υπάρχουν αποστάσεις μεταξύ των παράλληλα μεταδιδόμενων συμβόλων στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας αλλά μπορούν να μεταδίδονται το ένα σχεδόν πάνω στο άλλο, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό την μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση φάσματος διατηρώντας ταυτόχρονα αναλλοίωτη την πληροφορία, που είναι και το ζητούμενο. Για να ισχύει η αρχή της ορθογωνιότητας θα πρέπει στα σημεία όπου το φάσμα ενός υποκαναλιού παρουσιάζει κορυφή, εκεί το φάσμα των γειτονικών υποκαναλιών θα πρέπει να παρουσιάζει μηδενισμό και για να ισχύει αυτό θα πρέπει τα υποκανάλια να έχουν φέρουσες συχνότητες που να είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας βασικής συχνότητας.

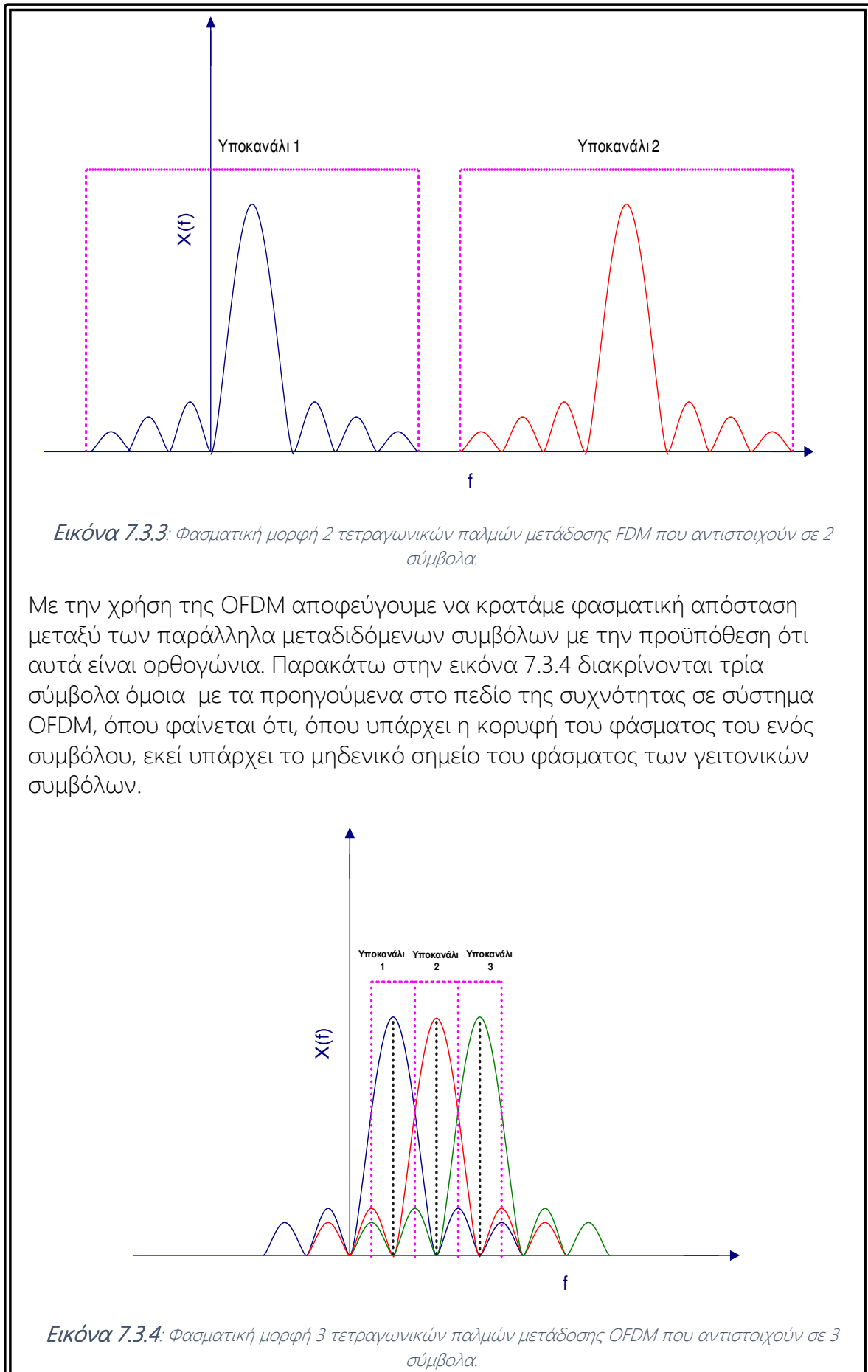
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Δεδομένου ότι τα σύμβολα μεταδίδονται με τετραγωνικούς παλμούς, ένα σύμβολο αντιστοιχεί σε ένα τετραγωνικό παλμό. Η φασματική μορφή του στο πεδίο της συχνότητας θα είναι όπως στην εικόνα 7.3.2.



Εικόνα 7.3.2: Φασματική μορφή τετραγωνικού παλμού που αντιστοιχεί σε σύμβολο.

Παρακάτω στην εικόνα 7.3.3 φαίνονται δύο μεταδιδόμενα σύμβολα όμοια με το προηγούμενο στο πεδίο της συχνότητας σε σύστημα FDM. Για να μην υπάρχει μεταξύ τους επικάλυψη (ICI) λόγω των πλευρικών συνιστωσών των τετραγωνικών παλμών, είναι απαραίτητο να κρατήσουμε μια σεβαστή απόσταση μεταξύ των δύο συμβόλων. Με αυτό τον τρόπο όμως μεγάλο μέρος του διαθέσιμου φάσματος μένει αναξιοποίητο.



Επομένως οδηγούμαστε ασφαλώς στο συμπέρασμα ότι δια της μείωση της φασματικής απόστασης μεταξύ των υποκαναλιών, επιτυγχάνεται ξεκάθαρα και η φασματική εξοικονόμηση. Το σύνολο των συμβόλων (φερόντων) που μεταδίδονται σε μια χρονική περίοδο T και καταλαμβάνουν ολόκληρο το εύρος συχνοτήτων B του καναλιού ενός OFDM συστήματος αποτελούν ένα OFDM σύμβολο.

7.4 Γενικά Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της διαμόρφωσης OFDM

Η μετάδοση με διαμόρφωση OFDM χρησιμοποιείται σε ασύρματα συστήματα υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων της, τα κυριότερα των οποίων παρατίθενται ακολούθως:

- Αντιμετώπιση πολυόδευσης:
Παρέχει όπως προαναφέραμε ικανοποιητική αποτελεσματικότητα στην αντιμετώπιση και ελαχιστοποίηση των προβλημάτων που προκύπτουν από τα φαινόμενα πολυόδευσης του σήματος.
- Αντοχή & ευελιξία στην διασυμβολική παρεμβολή (ISI):
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της OFDM είναι ότι **α)** είναι πολύ ανθεκτική στην ISI, μη επιτρέποντας την παρουσίαση του φαινομένου σε μεγάλο βαθμό, λόγω του χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τον αρχικό ρυθμό, για κάθε ένα από τα υποκανάλια και **β)** παρουσιάζει μεγάλη ευελιξία στην αποκατάσταση των παρουσιαζομένων παρεμβολών, λόγω της ευκολίας χρήσεως κατάλληλων κωδίκων ανίχνευσης και διόρθωσης.
- Προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης:
Διευκολύνει την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης κάθε φορέα, στον λόγο σήματος προς θόρυβο της υποφέρουσας, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων για κανάλια τα οποία μεταβάλλονται αργά στον χρόνο.
- Οικονομία διαχείρισης φάσματος:
Ο καταμερισμός του εύρους ζώνης σε αλληλοκαλυπτόμενα υποκανάλια προσφέρει νέες δυνατότητες για το επίπεδο των παρεχομένων υπηρεσιών και τη διαχείριση των ραδιοπύλων μιας και είναι εφικτή, αφενός η ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών και αφετέρου παράλληλα η μέγιστη εξοικονόμηση του διαθέσιμου φάσματος και η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων πύλων.

- Αντοχή στην επιλεκτική εξασθένηση:
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της OFDM είναι ότι, είναι περισσότερο ανθεκτική στην επιλεκτική εξασθένηση της συχνότητας σε σύγκριση με τα συστήματα μονού φορέα, επειδή διαιρεί το συνολικό κανάλι σε πολλαπλά κανάλια στενής ζώνης, τα οποία λειτουργώντας ουσιαστικά μεμονωμένα, επηρεάζονται σε πολύ μικρότερο βαθμό και σχεδόν αποκλειστικά ως προς την επίπεδη εξασθένηση των υποκαναλιών.
- Ανθεκτικότητα, ευκολία αντιμετώπισης και ελαχιστοποίηση των παρεμβολών:
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της OFDM είναι ότι οι οποιεσδήποτε υφιστάμενες παρεμβολές, παρουσιάζονται και απομονώνονται σε έναν μικρό αριθμό υποκαναλιών και όχι σε όλο τον δίαυλο, καθιστώντας με τον τρόπο αυτό **α)** το σύστημα ανθεκτικότερο **β)** την παρεμβολή ευκόλως αντιμετωπίσιμη και **γ)** την επικοινωνία με ελάχιστες παρεμβολές.
- Η φιλοσοφία της OFDM επιτρέπει την υλοποίηση SFN δικτύων τα όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι πρόσφορα για εφαρμογές ευρείας εκπομπής.

Βέβαια, αν και η διαμόρφωση OFDM χρησιμοποιείται πλέον ευρέως υπάρχουν ακόμη κάποια μειονεκτήματα έναντι της διαμόρφωσης απλού φορέα, τα κυριότερα των οποίων είναι τα κάτωθι:

- Η OFDM παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στο θόρυβο φάσης αλλά και στις αποκλίσεις συχνότητας φορέα (carrier frequency offsets).

Τέλος το σημαντικότερο μειονέκτημα της OFDM τεχνολογίας είναι το πρόβλημα προκύπτει από τον λόγο της μέγιστης ισχύος προς την μέση ισχύ (peak-to-average-power ratio) των υποκαναλιών. Το OFDM σήμα αποτελείται από N ανεξάρτητα διαμορφωμένα σήματα (σήματα υποκαναλιών) τα οποία, όταν προστίθενται με την ίδια φάση, έχουν ως αποτέλεσμα, την δημιουργία ισχύος εξόδου N φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή της ισχύος. Αυτές οι διακυμάνσεις του σήματος ισχύος αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στον σχεδιασμό τόσο των RF ενισχυτών όσο και των AD/DA μετατροπέων.

7.5 Ασύρματα συστήματα OFDM

Οι πιο σημαντικές ασύρματες εφαρμογές που χρησιμοποιούν διαμόρφωση OFDM και απευθύνονται για χρήση από το ευρύ κοινό είναι οι: **Digital Audio Broadcasting (DAB)**, **Digital Video Broadcasting (DVB)**, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που βασίζονται στα πρωτόκολλα IEEE802.11a/g/n και, πρόσφατα, οι ασύρματοι τοπικοί βρόγχοι (WLL ή WMAN) κ.α. Όμως παρόλα αυτά παρακάτω παραθέτουμε ορισμένα στοιχεία μόνο για τα συστήματα DAB (αναλυτικά) & DVB (επιγραμματικά) μιας και αυτά αποτελούν το κύριο αντικείμενο της παρούσης μελέτης.

Συστήματα DAB: Πρωταρχικός στόχος για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων ήταν η αντικατάσταση των υπάρχοντων αναλογικών ραδιοφωνικών συστημάτων διαμόρφωσης AM/FM. Ο σχεδιασμός τους έγινε για επίγειες αλλά και για δορυφορικές ασύρματες τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές και αυτό επιτεύχθηκε κυρίως με την ψηφιακή μετάδοση που επιτρέπει χρήση αλγορίθμων συμπίεσης ήχου με βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας DAB να είναι η ικανότητα, μέσω μιας απλής συχνότητας, να μεταδίδονται μέχρι και έξι στερεοφωνικές ή 12 μονοφωνικές υπηρεσίες. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στη χρήση της OFDM-DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). Το βασικότερο πλεονέκτημα χρήσης της OFDM στο DAB είναι η εγκαθίδρυση SFN δικτύων όπου πολλοί πομποί κατανομημένοι γεωγραφικά μπορούν να στέλνουν το ίδιο σήμα ταυτόχρονα και μ'αυτόν τον τρόπο ο δέκτης λαμβάνει ένα άθροισμα σημάτων καθένα από τα οποία φτάνει με διαφορετική εξάπλωση καθυστέρησης (propagation delay).

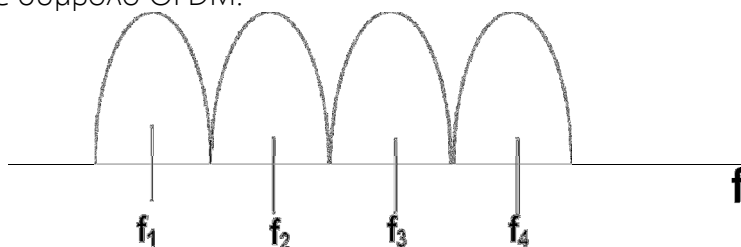
Συστήματα DVB: Τα συστήματα αυτά λειτουργούν στα πρότυπα των DAB με τη διαφορά ότι έχουμε εκπομπή ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος. Η κωδικοποίηση εικόνας γίνεται με το πρότυπο MPEG-2 ενώ το σήμα OFDM διαμορφώνεται με QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

7.6 OFDM: Η βασική ιδέα

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η OFDM είναι ένας συνδυασμός διαμόρφωσης και πολυπλεξίας παρόλα αυτά η πολυπλεξία στην γενική της εφαρμογή αφορά ανεξάρτητα σήματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, για την OFDM όμως η έννοια της πολυπλεξίας αφορά σε ανεξάρτητα μεν σήματα που αποτελούν όμως υποσύνολα του ίδιου αρχικού σήματος.

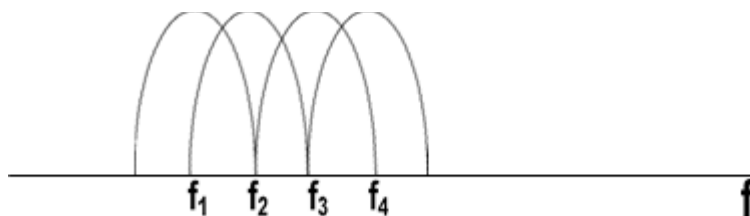
Βασικά στην OFDM χωρίζουμε το διαθέσιμο φάσμα στο οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα σε έναν αριθμό περιοχών και μεταδίδουμε σε κάθε υποφέρουσα (εικόνα 7.6.1). Η μετάδοση γίνεται ταυτόχρονα, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης σε

κάθε υποφέρουσα είναι χαμηλότερος σε σχέση με τον αρχικό ρυθμό μετάδοσης. Με δεδομένο ότι η μετάδοση σε κάθε περιοχή γίνεται πιο "αργά" έχουμε ως αποτέλεσμα την μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής που προκαλείται από την πολυόδευση. Η διασυμβολική παρεμβολή μπορεί να εξουδετερωθεί εντελώς αν εισάγουμε ένα χρονικό διάστημα "φύλαξης"(guard time) σε κάθε σύμβολο OFDM.



Εικόνα 7.6.1: Φάσμα τεσσάρων μη επικαλυπτόμενων καναλιών.

Ταυτόχρονα για την υλοποίηση του συστήματος, απαιτούνται φίλτρα και αποστάσεις ασφαλείας στο φάσμα (ζώνες φύλαξης-guard bands) γεγονός που οδηγεί σε απώλεια μέρους του διαθέσιμου φάσματος. Επόμενως για να εκμεταλλευτούμε καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα μειώνουμε την απόσταση μεταξύ των υποφερουσών (εικόνα 7.6.2) έτσι οι φασματικές περιοχές (κανάλια) επικαλύπτονται και μπορούμε να μεταδώσουμε με μεγαλύτερο ρυθμό για συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Εμφανίζεται όμως στην περίπτωση αυτή το φαινόμενο της διακαναλικής παρεμβολής.



Εικόνα 7.6.2: Η βασική ιδέα της OFDM. Φάσμα τεσσάρων αλληλεπικαλυπτόμενων καναλιών.

Όπως αναφέραμε στην ιδιότητα της ορθογωνιότητας σκοπός είναι η χρήση ορθογώνιων συναρτήσεων ώστε τα διαστήματα "φύλαξης" των συμβόλων OFDM να επεκτείνονται κυκλικά για τον μηδενισμό και την αποφυγή της διακαναλικής παρεμβολής σε αυτές τις περιοχές. Η διαδικασία δημιουργίας ενός συμβόλου OFDM, καθώς και οι τεχνικές εξάλειψης τόσο της διασυμβολικής όσο και της διακαναλικής παρεμβολής θα παρουσιαστούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος OFDM εκτός από:

- το διαθέσιμο εύρος ζώνης
- τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης και
- την ταχύτητα Doppler

που αποτελούν τα βασικά κριτήρια σχεδίασης θα πρέπει επιπλέον να λαμβάνονται υπόψη και αρκετοί άλλοι, κατά περίπτωση, παράμετροι όπως:

- ο χρόνος φύλαξης,
- η διάρκεια του συμβόλου,
- οι αποστάσεις ανάμεσα στις υποφέρουσες,
- ο τύπος της διαμόρφωσης και
- ο κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων.

Η επιλογή των παραμέτρων που θα χρησιμοποιήσουμε εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συστήματος και από φυσικούς περιορισμούς.

7.7 Δημιουργία υποφερουσών με χρήση IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)

Επειδή σε ένα γραμμικό χρονικώς αμετάβλητο σύστημα, οι συναρτήσεις της μορφής $e^{j2\pi f_k t}$ αποτελούν ιδιοσυναρτήσεις του συστήματος, τότε εάν η είσοδος στο σύστημα $h(t)$ είναι $x(t) = e^{j2\pi f_k t}$ τότε η έξοδος ισούται με $y(t) = H(f_k)e^{j2\pi f_k t}$, όπου η $H(f_k)$ είναι η απόκριση της συχνότητας του συστήματος που ουσιαστικά αποτελεί την ιδιοτιμή της παραπάνω ιδιοσυνάρτησης και με γνώμονα ότι επιθυμούμε να μεταδώσουμε N σύμβολα αυτό μπορεί να γίνει ως εξής:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{j2\pi f_n t}$$

επιτυγχάνοντας έτσι την επιθυμητή ταυτόχρονη μετάδοση N σύμβολων από τον πομπό και με δεδομένο ότι το σύστημα είναι γραμμικό στο δέκτη παίρνουμε:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} H(f_n) a_n e^{j2\pi f_n t}$$

Επειδή όμως οι προαναφερόμενες ιδιοσυναρτήσεις έχουν άπειρη διάρκεια και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες, στην πράξη χρησιμοποιούμε συναρτήσεις πεπερασμένης διάρκειας. Δηλαδή εάν σε ένα σήμα OFDM που αποτελείτε από ένα άθροισμα υποφερουσών με διαμόρφωση PSK (Phase Shift Keying) ή με QAM (Quadrature Amplitude Modulation), όπου:

- a_n είναι τα μιγαδικά σύμβολα QAM
- N είναι ο αριθμός των υποφερουσών
- T η διάρκεια του συμβόλου και
- f_c η συχνότητα του φορέα

Τότε το σύμβολο OFDM που ξεκινάει σε χρόνο $t = t_s$ μπορεί να δοθεί από την παρακάτω σχέση:

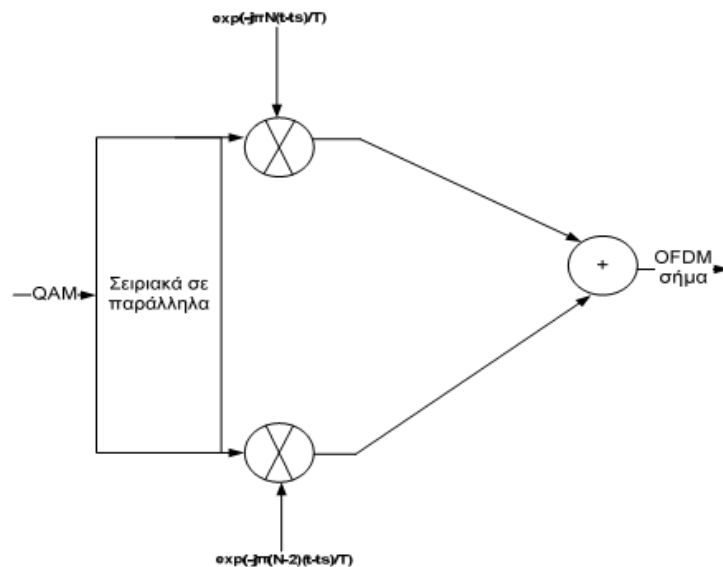
$$s(t) = R \left\{ \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp \left(j2\pi \left(f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) (t-t_s) \right) \right\}, t_s \leq t \leq T+t_s \quad (1)$$

και: $s(t) = 0, t < t_s \text{ και } t > t_s + T \quad (2)$

παρατηρώντας ότι με τον τρόπο αυτό αντί να μεταδίδουμε διαδοχικά σύμβολα ανά T_s με χρήση όλου του διαθέσιμου φάσματος, μεταδίδουμε ταυτόχρονα ανά χρονικές περιόδους T_s μια ομάδα από N σύμβολα καταλαμβάνοντας κάθε ένα από αυτά και από μια εκ των N υποφερουσών του διαθέσιμου φάσματος και ότι το μιγαδικό ισοδύναμο της βασικής ζώνης όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση δίδεται με τον παρακάτω τύπο:

$$s(t) = \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp \left(j2\pi \frac{i}{T} (t-t_s) \right), t_s \leq t \leq T+t_s \quad (3)$$

και: $s(t) = 0, t < t_s \text{ και } t > t_s + T \quad (4)$



Εικόνα 7.6.1: Λειτουργία διαμορφωτή OFDM

Σε αυτήν την αναπαράσταση το πραγματικό και το φανταστικό μέρος αποτελούν τα μέρη του συμβόλου OFDM που πρέπει να πολλαπλασιαστούν με ένα ημίτονο ή ένα συνημίτονο της επιθυμητής συχνότητας φορέα, προκειμένου να δώσουν το τελικό σήμα OFDM. Η συχνότητα κάθε υποφέρουσας είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του $1/T$.

Επομένως, το σήμα σε κάθε υποφέρουσα έχει ακέραιο αριθμό περιόδων στο διάστημα T . Η ιδιότητα αυτή εξασφαλίζει την ορθογωνιότητα μεταξύ των

υποφερουσών. Για παράδειγμα η j -οστή υποφέρουσα της Σχέσης (3) αποδιαμορφώνεται αν κατεβάσουμε το σήμα με συχνότητα j/T σε χαμηλότερη συχνότητα (down conversion) και μετά το ολοκληρώσουμε σε χρόνο T δευτερολέπτων. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εξίσωση (5)

$$\int_{t_s}^{t_s+T} \exp(-j2\pi \frac{k}{T}(t-t_s)) \sum_{i=\frac{N}{2}}^{\frac{N-1}{2}} d_{i+\frac{N}{2}} \exp\left(j2\pi \frac{i}{T}(t-t_s)\right) dt$$

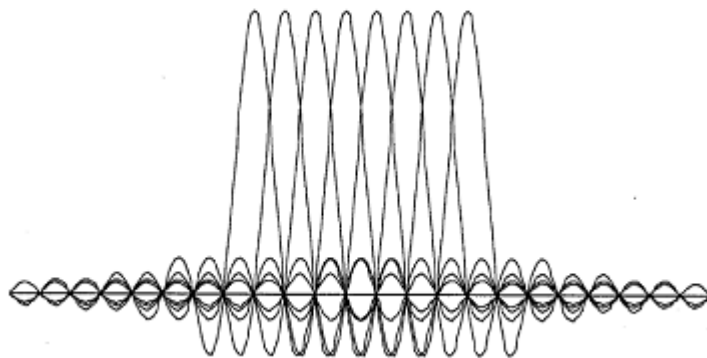
$$= \sum_{i=\frac{N}{2}}^{\frac{N-1}{2}} d_{i+\frac{N}{2}} \int_{t_s}^{t_s+T} \exp\left(j2\pi \frac{i-j}{T}(t-t_s)\right) dt = d_{j+\frac{N}{2}} T \quad (5)$$

Παρατηρώντας τη Σχέση (5), βλέπουμε ότι για την $d_{j+\frac{N}{2}}$ αποδιαμορφωμένη υποφέρουσα j , η ολοκλήρωση δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα επί έναν παράγοντα T .

Η τιμή αυτή αποτελεί την τιμή του συμβόλου QAM για τη συγκεκριμένη υποφέρουσα, j . Για όλες τις υπόλοιπες υποφέρουσες η ολοκλήρωση δίνει μηδενικό αποτέλεσμα, γιατί η διαφορά συχνότητας $\frac{i-j}{T}$, έχει έναν ακέραιο αριθμό επαναλήψεων μέσα στο διάστημα ολοκλήρωσης. Το γεγονός ότι οι υποφέρουσες είναι ορθογώνιες μεταξύ τους μπορεί να αποδειχθεί και με άλλο τρόπο.

Από τη Σχέση (1) βλέπουμε πως κάθε σύμβολο OFDM έχει υποφέρουσες που είναι μη μηδενικές (άθροισμα μιγαδικών εκθετικών συναρτήσεων) σε ένα διάστημα T δευτερολέπτων. Άρα, στη συχνότητα, είναι ένα άθροισμα συναρτήσεων sinc με κέντρο τις συχνότητες υποφερουσας i/T (εικόνα 7.6.2).

$$S(f) = \sqrt{T} \sum_{i=\frac{N}{2}}^{\frac{N-1}{2}} d_{i+\frac{N}{2}} \exp\left(-j2\pi t_s \frac{i}{T}\right) \text{sinc}\left(\left(f - \frac{i}{T}\right)T\right) \quad (6)$$



Εικόνα 7.6.2: Φάσμα συμβόλου OFDM

Κατά την αποδιαμόρφωση γίνεται υπολογισμός του σήματος στις συχνότητες $\frac{i}{T}$

Επειδή τα σήματα όλων των άλλων υποφερουσών είναι μηδενικά μπορεί να ανακτηθεί το σήμα της υποφέρουσας i . Αυτό που δε γνωρίζουμε είναι ο θόρυβος. Βασικά, η εικόνα 7.6.2 δείχνει ότι ικανοποιείται το κριτήριο του Nyquist για τη διασυμβολική παρεμβολή. Στην προκειμένη περίπτωση, όμως, είμαστε στον πεδίο της συχνότητας και όχι στο πεδίο του χρόνου. Για το λόγο αυτό και αναφερόμαστε σε διακαναλική και όχι διασυμβολική παρεμβολή. Επομένως η διακαναλική παρεμβολή (Inter Channel Interference-ICI), είναι ίση με μηδέν. Σε κανάλια AWGN λοιπόν, δεν εμφανίζεται διακαναλική παρεμβολή, εφόσον, βέβαια, ο δέκτης γνωρίζει τις συχνότητες $\frac{i}{T}$

Αυτό εξαρτάται από τη γνώση της φέρουσας συχνότητας f_c .

Το μιγαδικό σύμβολο OFDM βασικής ζώνης που δόθηκε στη Σχέση (3) αποτελεί, στην ουσία, τον αντίστροφο Fourier των N συμβολών d_i περιορισμένο σε διάστημα $[t_s, t_s+T]$. Το σήμα στο διακριτό χρόνο προκύπτει εάν χωρίσουμε το διάστημα $[t_s, t_s+T]$ σε N δείγματα και αντικαταστήσουμε το χρόνο t με τον αριθμό των δειγμάτων n . Παίρνουμε έτσι, την παρακάτω εξίσωση που περιγράφει το διακριτό μοντέλο:

$$(7) \quad s[n] = s\left(t_s + n\frac{T}{N}\right) = \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp\left(j2\pi\frac{i}{T}\left(n\frac{T}{N}\right)\right) = \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp\left(j2\pi\frac{in}{N}\right)$$

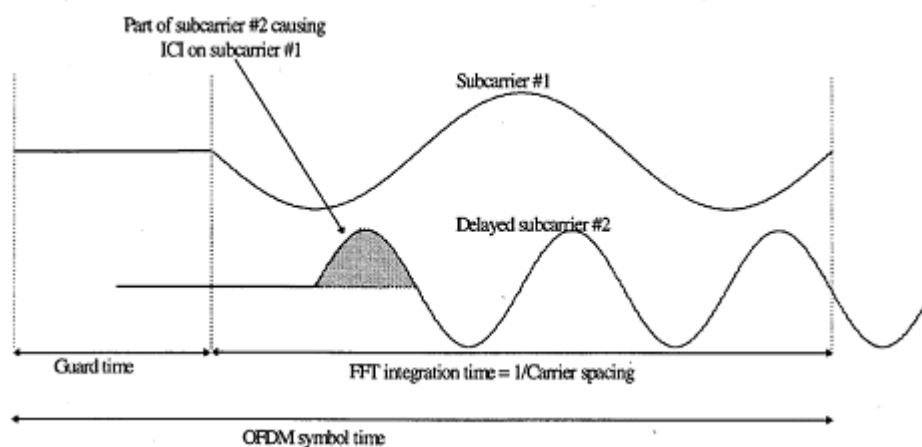
Εάν το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί το σύστημα δεν υπερβαίνει το N/T , τα δείγματα που έχουμε στη διάθεση μας αρκούν για την αναπαράσταση του σήματος $s(t)$ και το διακριτό σύμβολο OFDM μπορεί να υπολογιστεί με τη χρήση αντίστροφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier (Inverse Discrete Fourier Transform-IDFT):

$$s(n) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i \exp\left(j2\pi\frac{in}{N}\right) \quad (8)$$

IDFT (και oDFT) μπορούν να υλοποιηθούν με χρήση του αλγορίθμου Fast Fourier Transform- FFT, ο οποίος απαιτεί $N/\log_2 N$ πολλαπλασιασμούς αντί για N^2 όταν η υλοποίηση γίνεται με τον ορισμό του DFT.

7.7 OFDM σε κανάλια με Διασυμβολική Παρεμβολή (ISI)

Η χρήση της OFDM μας παρέχει την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της εξάπλωσης καθυστέρησης που προκαλείται από το φαινόμενο της πολυόδευσης (multipath delay spread), αφού με τον καταμερισμό του διαθέσιμου φάσματος σε N υποφέρουσες, μεγαλώνει N φορές περισσότερο και η διάρκεια του συμβόλου το οποίο διαρκεί πάρα πολύ με αποτέλεσμα το τμήμα του συμβόλου που παραμορφώνεται από το delay spread να γίνεται ολοένα και μικρότερο. Για να επιτύχουμε ολοκληρωτικό μηδενισμό της διασυμβολικής παρεμβολής σε κάθε σύμβολο OFDM εισάγουμε και ένα guard time (διάστημα φύλαξης), το οποίο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το αναμενόμενο delay spread του καναλιού και έτσι τα μέρη ενός συμβόλου που έχουν προέλθει από την πολυόδευση, δεν παρεμβάλλονται στο επόμενο σύμβολο. Ενίοτε το διάστημα φύλαξης μπορεί να μην περιέχει καθόλου σήμα και έτσι έχουμε αλληλοπαρεμβολή μεταξύ των υποφερουσών, επειδή αυτές παύουν να είναι ορθογώνιες, ονομάζοντας αυτό το φαινόμενο διακαναλική παρεμβολή (Inter Channel Interference – ICI) και που για να αντιμετωπιστεί αρκεί να επεκτείνουμε κυκλικά το σύμβολο OFDM μέσα στο διάστημα φύλαξης, ονομάζοντας αυτή την επέκταση ως κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix-CP).

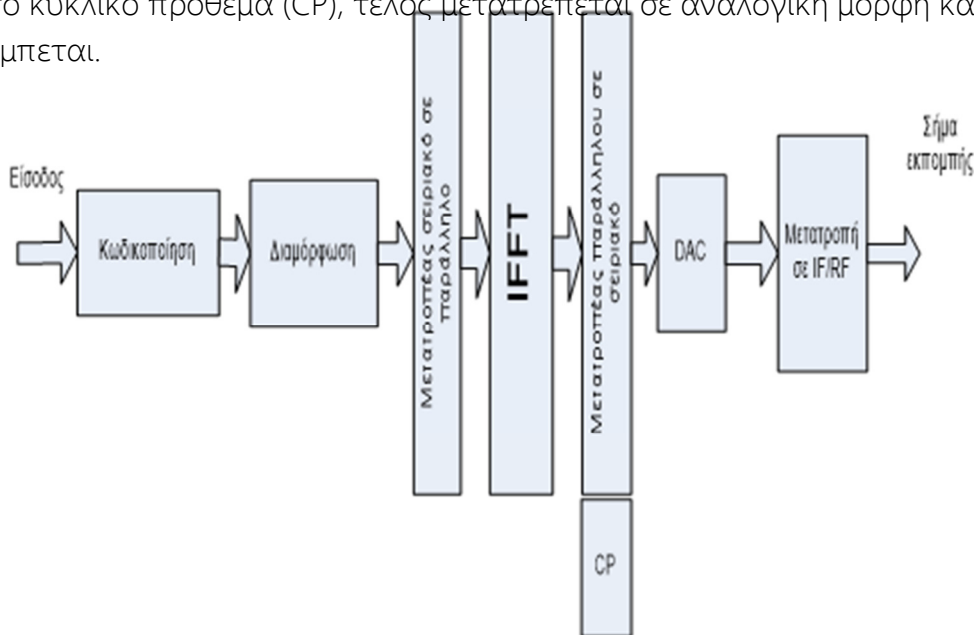


Εικόνα 7.7.1: Η επίδραση της πολυόδευσης για μηδενικό σήμα στο guard time. Η καθυστερημένη υποφέρουσα 2, προκαλεί ICI στην 1 και αντίστροφα

7.8 Αρχιτεκτονική δομή συστήματος OFDM

Σε ένα διάγραμμα ενός πομπού OFDM παρατηρούμε ότι αρχικά το σήμα κωδικοποιείται και διαχωρίζεται σε πακέτα κατόπιν με μια μέθοδο ψηφιακής διαμόρφωσης, διαμορφώνετε ψηφιακά στην βασική ζώνη, εν συνεχεία μετατρέπεται από σειριακό σε παράλληλες σειρές N συμβόλων και προωθείται σε ένα κύκλωμα IFFT, θεωρώντας βέβαια πως τα ψηφιακά σήματα στην

είσοδο του κυκλώματος αντιστοιχούν στο πεδίο της συχνότητας ενώ στην έξοδο αυτού, στο πεδίο του χρόνου. Στην συνέχεια το σήμα διέρχεται μέσα από ένα μετατροπέα παράλληλου προς σειριακό όπου προστίθεται σε αυτό και το κυκλικό πρόθεμα (CP), τέλος μετατρέπεται σε αναλογική μορφή και εκπέμπεται.

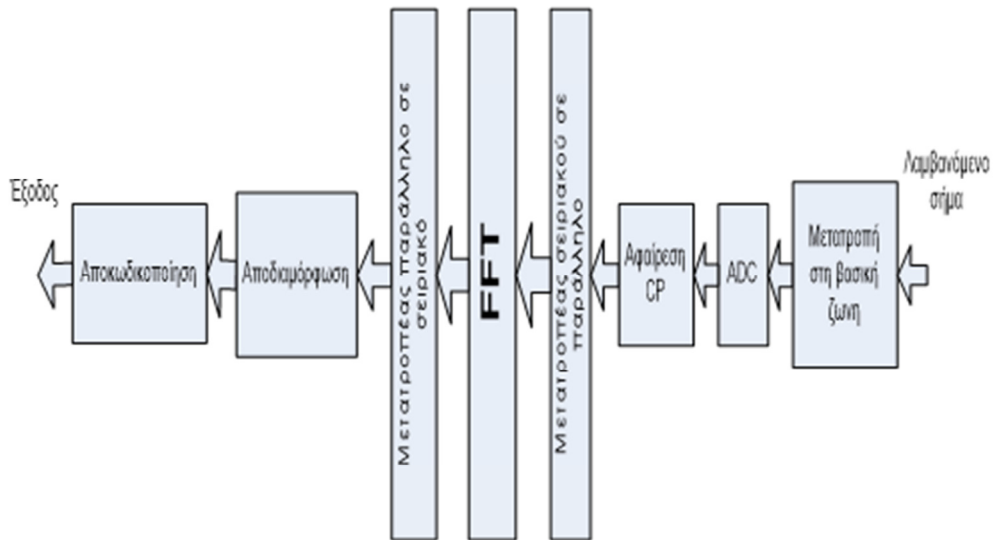


Εικόνα 7.8.1: Δομή πομπού OFDM

Αν έχουμε να μεταδώσουμε τα σύμβολα $\{X_k\}_{k=0}^{N-1}$ τότε η n-οστή έξοδος του IFFT θα είναι:

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j2\pi nk/N}, 0 \leq n < N - 1$$

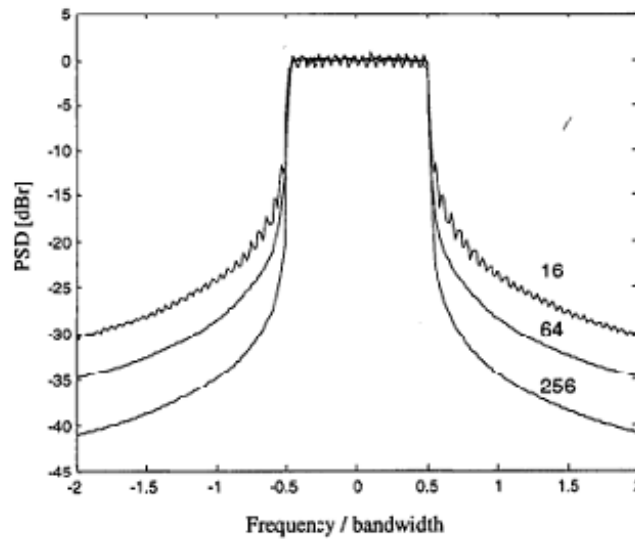
Σε ένα διάγραμμα ενός δέκτη OFDM παρατηρούμε ότι ακολουθείτε η αντίστροφη από τον πομπό διαδικασία και το λαμβανόμενο σήμα, μετατρέπεται από αναλογικό ξανά σε ψηφιακό, αφαιρείτε το κυκλικό πρόθεμα και με την βοήθεια ενός μετατροπέα μετατρέπεται από σειριακό σε παράλληλο και αφού περάσει από το κύκλωμα FFT του δέκτη ξανά μετατρέπεται σε σειριακό και τέλος αποδιαμορφώνεται και αποκωδικοποιείται.



Εικόνα 7.8.2: Δομή δέκτη OFDM

Η έξοδος του FFT θα είναι:

$$\begin{aligned}
 Y_m &= \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} y_n \cdot e^{-j2\pi nm/N} \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j2\pi nk/N} \cdot e^{-j2\pi nm/N} \\
 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j2\pi n(k-m)/N} \\
 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} X_m = X_m, 0 \leq m \leq N-1
 \end{aligned}$$



Εικόνα 7.9.1: Ισχύς φασματικής πυκνότητας χωρίς windowing για 16, 64 και 256 υποφέρουσες

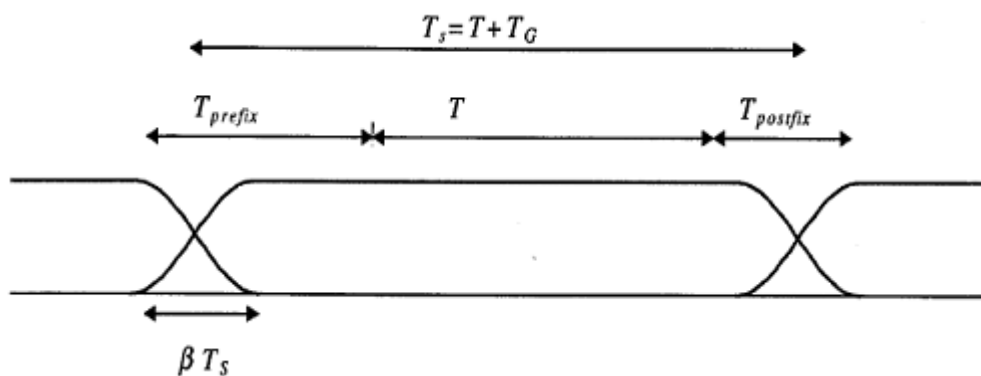
Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να γίνει ως εξής:

- ❖ Με απομόνωση του συστήματος από άλλα γειτονικά συστήματα που λειτουργούν σε γειτονικές φέρουσες με την χρήση ζωνών φύλαξης αλλά αν και αυτό θα ήταν εύκολα υλοποιήσιμο δυστυχώς θα μας οδηγούσε σε μεγάλης κλίμακας απώλεια εύρους φάσματος και για αυτό αποτελεί μια ιδεατή λύση.
- ❖ Με μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος που θα έχει σαν αποτέλεσμα την παράλληλη μείωση των παρεμβολών αλλά δυστυχώς στην περίπτωση αυτή θα μειωνόταν παράλληλα και ο ρυθμός μετάδοσης και κάτι που δεν επιθυμητό.
- ❖ Με χρήση εικονικών υποφερουσών (virtual subcarriers), που υλοποιείται με μη μετάδοση σήματος σε κάποιες από τις υποφέρουσες στα άκρα του συμβόλου επιτυγχάνοντας έτσι **α)** την ελάττωση του φάσματος στις παρυφές του συμβόλου και **β)** εξοικονόμηση ισχύος επειδή δεν μεταδίδονται οι ανάλογες υποφέρουσες. Αλλά δυστυχώς και σε αυτή την περίπτωση όπως και στην προηγούμενη υφιστάμεθα μεγάλη απώλεια ρυθμού μετάδοσης, πράγμα που καθιστά το τίμημα σημαντικό και δυσανάλογο προς το όφελος.
- ❖ Με εξαναγκασμό του φάσματος σε γρήγορη πτώση με ομαλή μείωση του πλάτους ανάμεσα στα όρια των συμβόλων, που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της τεχνικής παραθύρωσης (windowing) η οποία αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη λύση αυτού του προβλήματος.

Για να εφαρμοστεί αυτό πολλαπλασιάζουμε το σύμβολο OFDM στον χρόνο με μια συνάρτηση $w(t)$, που ελαττώνει το πλάτος του και καθιστά τις αλλαγές μεταξύ των συμβόλων λιγότερο απότομες. Έτσι το OFDM σύμβολο που αρχίζει σε χρόνο $t=t_s=kT_s$ δίνεται από την εξίσωση:

$$s(t) = R \left\{ w(t-t_s) \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp \left(j2\pi \left(f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) (t-t_s - T_{CP}) \right) \right\}, t_s \leq t \leq t_s + T_s(1+\beta)$$

και: $s(t) = 0, t < t_s$ και $t > t_s + T_s(1+\beta)$

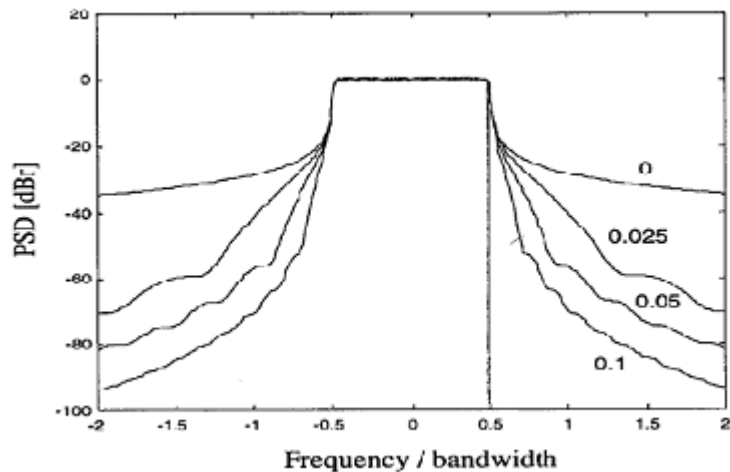


Εικόνα 7.9.2: Σύμβολο OFDM και windowing

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνεται το ολοκληρωμένο σύμβολο OFDM με χρήση windowing, όπου:

- T_s : είναι η περίοδος του συμβόλου
- T : το διάστημα του FFT
- T_g : ο χρόνος guard time
- T_{prefix} : ο χρόνος του κυκλικού προθέματος
- $T_{postfix}$: ο χρόνος του πιθανού κυκλικού επιθέματος και
- β : ο παράγοντας ανυψωμένου συνημίτονου (roll off factor)

και στο οποίο παρατηρούμε ότι η περίοδος μετάδοσης του συμβόλου OFDM T_s είναι μικρότερη από τη διάρκεια μετάδοσης του ολοκληρωμένου συμβόλου OFDM, που περιλαμβάνει το άθροισμα του ίδιου του συμβόλου, του κυκλικού προθέματος και πιθανώς του κυκλικού επιθέματος, δηλαδή διαδοχικά ολοκληρωμένα σύμβολα OFDM επικαλύπτονται στο χρόνο κατά βT_s . Με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε παραμόρφωση και σε ελάττωση του delay spread που δύναται να αντιμετωπίσει ένα σύστημα, άρα η επιλογή των $w(t)$, T_s , β είναι σημαντική και απαιτεί μεγάλη προσοχή.



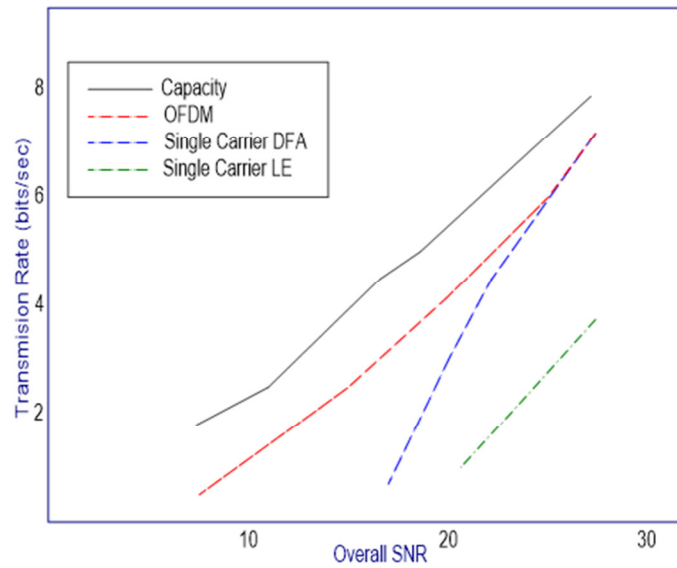
Εικόνα 7.9.3: Ισχύς φασματικής πυκνότητας με windowing για 16 υποφέρουσες και διαφορετικά β

Μιας και η τεχνική windowing ουσιαστικά αποτελεί μια λύση εναλλακτικής μορφής φιλτραρισμού, το ίδιο αποτέλεσμα, (δηλ. εφαρμογή των αποτελεσμάτων της τεχνικής windowing), μπορεί να επιτευχθεί και με την χρήση μιας διάταξης φίλτρου (συνέλιξη στο χρόνο).

7.10 Αδυναμίες της OFDM

Στο σημείο αυτό και αφού η ορολογία που διέπει την OFDM μας είναι οικία κρίνεται αναγκαίο να πούμε δυο λόγια για τις πιο βασικές αδυναμίες της. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα – διάγραμμα του ρυθμού μετάδοσης προς το σηματοθορυβικό λόγο η OFDM υπερέρχει αισθητά εν σύγκρισή με τις διαμορφώσεις απλού φέροντος εξασφαλίζοντας να μεν πιο αποδοτική μεταφορά δεδομένων παρουσιάζει δε όμως και κάποια προβλήματα, τα κυριότερα των οποίων είναι:

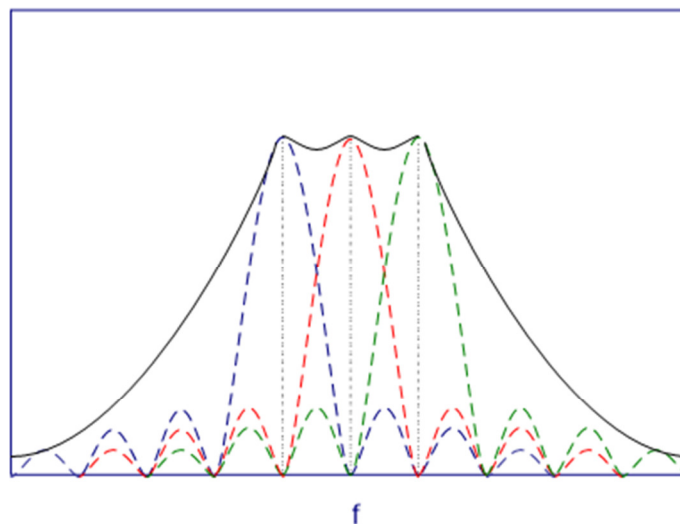
- Οι πλευρικοί λοβοί και
- Η ολίσθηση Doppler.



Εικόνα 7.10.1: Σύγκριση OFDM και μετάδοσης απλού φέροντος DFA και LE

7.10.1 Πλευρικοί Λοβοί

Αν και έχουμε αναφέρει πως η OFDM επιτυγχάνει μεγαλύτερη εξοικονόμηση φάσματος σε σύγκρισή με την απλή FDM εντούτοις καταλαμβάνεται ένα μεγάλο μέρος γειτονικών, (στο φάσμα του συστήματος), συχνοτήτων χωρίς να μεταδίδεται σε αυτές καμιά χρήσιμη πληροφορία λόγω της μορφής στη συχνότητα του τετραγωνικού παλμού.



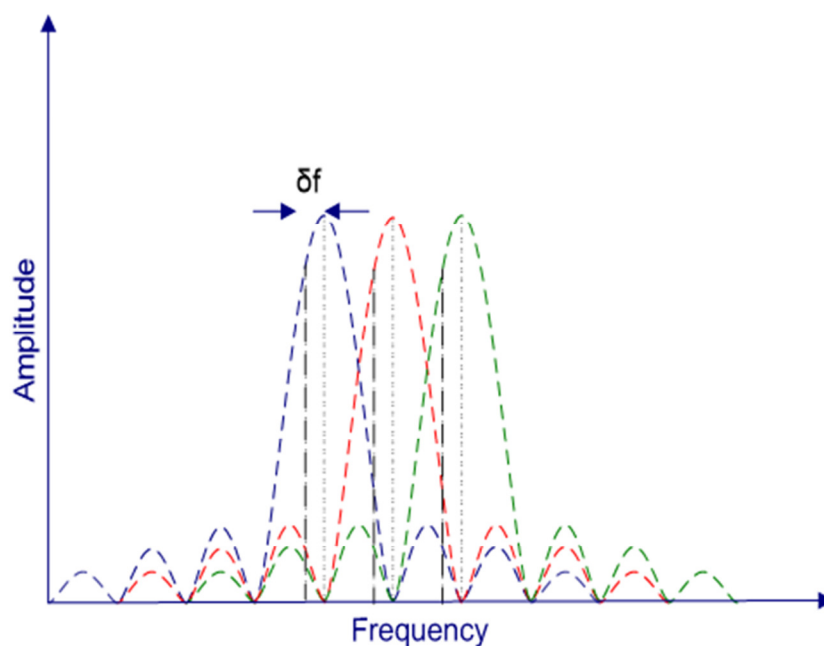
Εικόνα 7.10.1: Πλευρικοί λοβοί τριών φερόντων OFDM

Στο παραπάνω σχήμα σε σύστημα OFDM διακρίνονται τρεις γειτονικοί τετραγωνικοί πλευρικοί παλμοί και γίνεται αντιληπτό ότι οι συχνότητες των πλευρικών λοβών διαθέτουν μεγάλες τιμές δημιουργώντας το σημαντικό

πρόβλημα που προαναφέραμε ότι ενώ καταλαμβάνουν φασματικό χώρο δεν μεταφέρουν δεδομένα και παράλληλα δεν είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν από γειτονικά συστήματα.

7.10.2 Ολίσθηση Doppler

Όπως και η διακαναλική παρεμβολή έτσι και η ολίσθηση Doppler αποτελούν περιπτώσεις απόκλισης της συχνότητας, φαινόμενα κατά τα οποία η OFDM παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία. Βέβαια στην διακαναλική παρεμβολή η απόκλιση προκαλείται εξαιτίας μιας μικρής διαφοράς στη συχνότητα των τοπικών ταλαντωτών πομπού και δέκτη και έχει ως επακόλουθο την εξασθένηση του σήματος σε κάθε υποκανάλι καθώς και παρεμβολές μεταξύ γειτονικών υποκαναλιών. Το ίδιο αποτέλεσμα ισχύει και για την περίπτωση της ολίσθησης Doppler στην οποία όμως η απόκλιση προκαλείται από την σχετική κίνηση του δέκτη ως προς τον πομπό.



Εικόνα 7.10.2: Απόκλιση συχνότητας δειγματοληψίας σε τρία φέροντα OFDM λόγω ολίσθησης Doppler.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

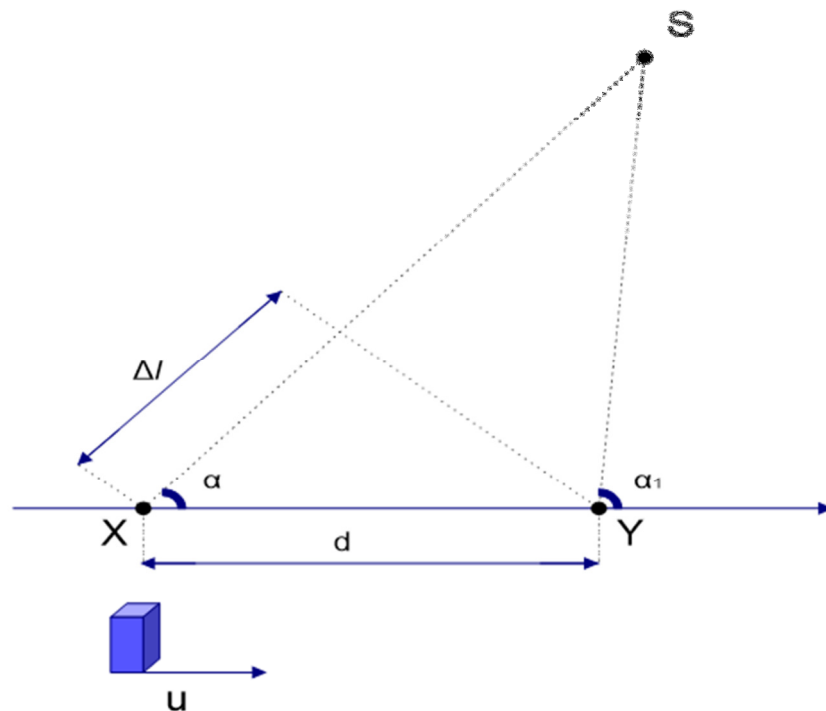
Έστω ότι διαθέτουμε ένα κινούμενο τερματικό που κινείται με σταθερή ταχύτητα \vec{u} σε μια διαδρομή μήκους d από το αρχικό σημείο X στο τελικό σημείο Y και το συμβολίζουμε με $X \rightarrow Y$ ενώ παράλληλα λαμβάνει σήματα από μια απομακρυσμένη ως προς αυτό πηγή S . Η διαφορά στο μήκος που διανύει το σήμα από το σημείο S στο τελικό σημείο $Y (S \rightarrow Y)$ σε σχέση με το μήκος που διανύει το σήμα από το σημείο S στο $X (S \rightarrow X)$ που θα διένυε αν το τερματικό

ήταν ακίνητο στο σημείο X προσεγγιστικά δίδετε ως:

$$\Delta l = d \cos(a) = u \Delta t \cos(a)$$

Όπου:

- το Δt είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μετατόπιση του τερματικού από το σημείο X στο σημείο Y εφόσον κινείται με ταχύτητα u και
- α, α_1 οι γωνίες που σχηματίζουν τα $S \rightarrow X$ και $S \rightarrow Y$ με το $X \rightarrow Y$ αντίστοιχα.



Εικόνα 7.10.3: Παράδειγμα ολίσθησης Doppler

Θεωρούμε την γωνία $\alpha_1 \approx \alpha$ λόγω του ότι το σημείο της πηγής S είναι πολύ μακριά. Η μεταβολή της φάσης στο λαμβανόμενο σήμα δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi u \Delta t}{\lambda} \cos a$$

Και η ολίσθηση συχνότητας Doppler θα είναι ίση με:

$$\delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{u}{\lambda} \cos a$$

Κεφάλαιο 8

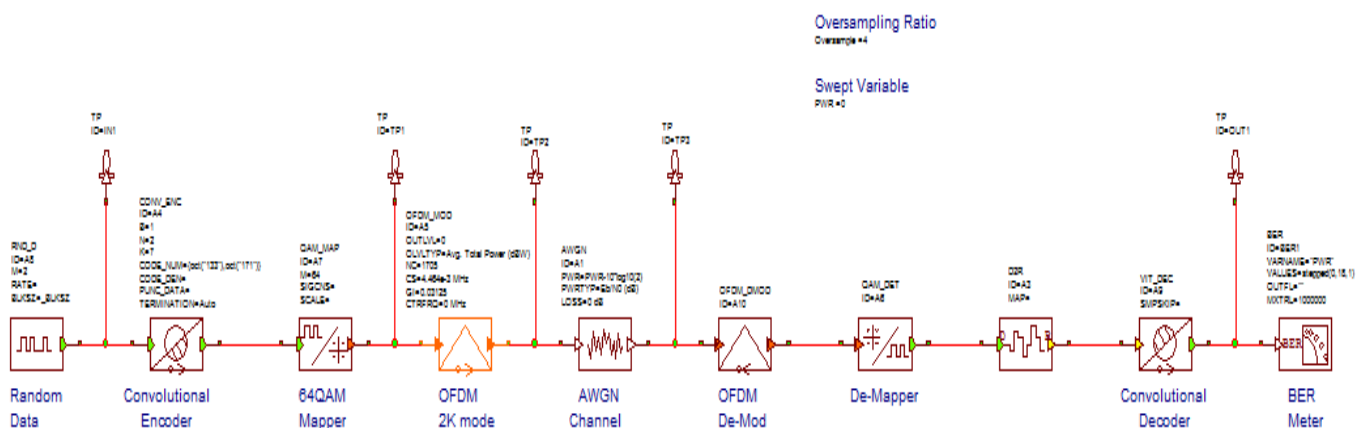
8.1 Πειραματικό / πρακτικό σκέλος

Όσα αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια αποτελούν το θεωρητικό σκέλος στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Το 8^ο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο αποκλειστικά στο πρακτικό σκέλος της πτυχιακής στο οποίο θα πραγματοποιηθεί αρχικά η γνωριμία με το περιβάλλον προσομοίωσης στο οποίο θα εργαστούμε και η επεξήγηση των εργαλείων που μας παρέχει για την προσομοίωση μέσω της οποίας θα εξετάσουμε την συμπεριφορά της ορθογωνικής πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) από τον πομπό μέχρι και τον δέκτη σχετικά με την επεξεργασία στην οποία υποβάλλει το σήμα.

8.1.1 Προσομοίωση της OFDM στο AWR Design Environment







Θα χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον προσομοίωσης AWR ώστε να υλοποιηθεί προσομοίωση διαμόρφωσης OFDM. Συγκεκριμένα, θα προσομοιωθεί πομποδέκτης OFDM σε κανάλι θορύβου AWGN.



Το παράδειγμα είναι το BER με κωδικοποίηση συνέλιξης, 64 QAM και διαμόρφωση OFDM. Αυτό το παράδειγμα δείχνει τις επιπτώσεις της συνελκτικής κωδικοποίησης και την χρήση ενός 64QAM Mapper και ενός πομπού OFDM. Η τοπολογία προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 8.1.1: Τοπολογία προσομοίωσης

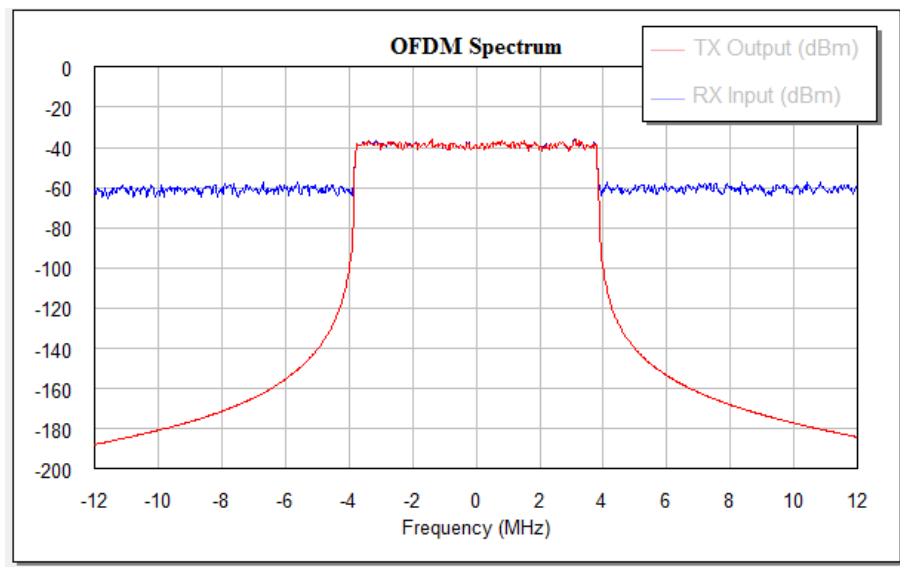
Στην παραπάνω προσομοίωση τοποθετήσαμε τα εξής στοιχεία:

Στοιχείο	Επεξήγηση
<pre>RND_D ID=A8 M=2 RATE= BLKSZ=_BLKSZ</pre> 	<p>Γεννήτρια Τυχαίων Σημάτων. Είναι μια γεννήτρια που παράγει τυχαίους αριθμούς</p>
<pre>CONV_ENC ID=A4 B=1 N=2 K=7 CODE_NUM={oct("133"),oct("171")} CODE_DEN= PUNC_DATA= TERMINATION=Auto</pre> 	<p>Συνελικτικός Κωδικοποιητής. Είναι ένας δυαδικός συνελικτικός κωδικοποιητής με προαιρετική διάτρηση κώδικα.</p>
	<p>Μετρητής Σημείων (Test Point). Τοποθετούμε Μετρητές Σημείων σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος επιθυμούμε τα οποία μετρούν διάφορα χαρακτηριστικά των σημάτων.</p>
<pre>QAM_MAP ID=A7 M=64 SIGCNS= SCALE=</pre> 	<p>64QAM Mapper. Παράγει ένα QAM (Quadrature Amplitude Modulation) σύνολο I/Q συντελεστών από ένα σήμα εισόδου. Οι συντελεστές μπορούν να τροφοδοτηθούν σε έναν διαμορφωτή για την παραγωγή μιας αναλογικής κυματομορφής.. Ο 64QAM Mapper δέχεται 2 bits M-ary ψηφιακά σύμβολα. Αν η είσοδος είναι δυαδική τα bits ομαδοποιούνται σε σύνολά των $\log_2 M$ πριν χαρτογραφηθούν σε ένα από τα M σημεία στον αστερισμό εξόδου.</p>
<pre>OFDM_MOD ID=A5 OUTLVL=0 OLVLTYP=Avg. Total Power (dBW) NC=1705 CS=0.004464 MHz GI=0.03125 CTRFREQ=0 MHz</pre> 	<p>Διαμορφωτής OFDM. Μεταμορφώνει μια ακολουθία μιγαδικών συμβόλων σε μια πολλαπλή OFDM κυματομορφή.</p>
<pre>AWGN ID=A1 PWR=PWR*10*log10(2) PWRTP=Eb/N0 (dB) LOSS=0 dB</pre> 	<p>Στοιχείο Προσθήκης Αθροιστικού Λευκού Γκαουσιανού Θορύβου. Με αυτό το στοιχείο προσθέτουμε Λευκό(δηλαδή τυχαίο) Προσθετικό Θόρυβο.</p>

<p>OFDM_DMOD ID=A10</p> 	<p>Από-διαμορφωτής OFDM. Λειτουργεί σε μια θορυβώδης κυματομορφή δεδομένων δειγματοληψίας για την από-διαμόρφωση πολυμετοφορικού σήματος.</p>
<p>QAM_DET ID=A6</p> 	<p>Ανιχνευτής QAM. Παράγει μια αλληλουχία ψηφιακών ή δυαδικών συμβόλων από ένα από-διαμορφωμένο σήμα QAM.</p>
<p>D2R ID=A3 MAP=</p> 	<p>Μετατροπέας Ψηφιακού σε Πραγματικό(D2R). Μετατρέπει μια ψηφιακή είσοδο σε πραγματική έξοδο. Η ψηφιακή είσοδος μπορεί να είναι $\{0,1,\dots,M-1\}$ όπου το M μέγεθος ψηφιακού αλφαβήτου. Αυτό διαφέρει από ένα ψηφιακό σε αναλογικό μετατροπέα από το ο'τι το σήμα εξόδου δεν είναι μια αναλογική κυματομορφή δειγματοληψίας. (D2R)</p>
<p>VIT_DEC ID=A9 SMPSKIP=</p> 	<p>Αποκωδικοποιητής Viterbi. Ένας αποκωδικοποιητής Viterbi χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο Viterbi για την αποκωδικοποίηση ενός συρμού δυαδικών ψηφίων που έχει κωδικοποιηθεί με τη χρήση ενός συνελκτικού κώδικα.</p>
<p>BER ID=BER1 VARNAME="PWR" VALUES=stepped(0,18,1) OUTFL="" MXTRL=1e6</p> 	<p>Μετρητής BER (BER meter). Υπολογίζει το the bit error rate (BER) ενός ψηφιακού σήματος. Το μπλοκ αυτό χρησιμοποιείται για την δημιουργία της γραφικής απεικόνισης του BER καθώς και για την παρουσίαση του σε μορφή παραθύρου τιμών.</p>

8.1.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

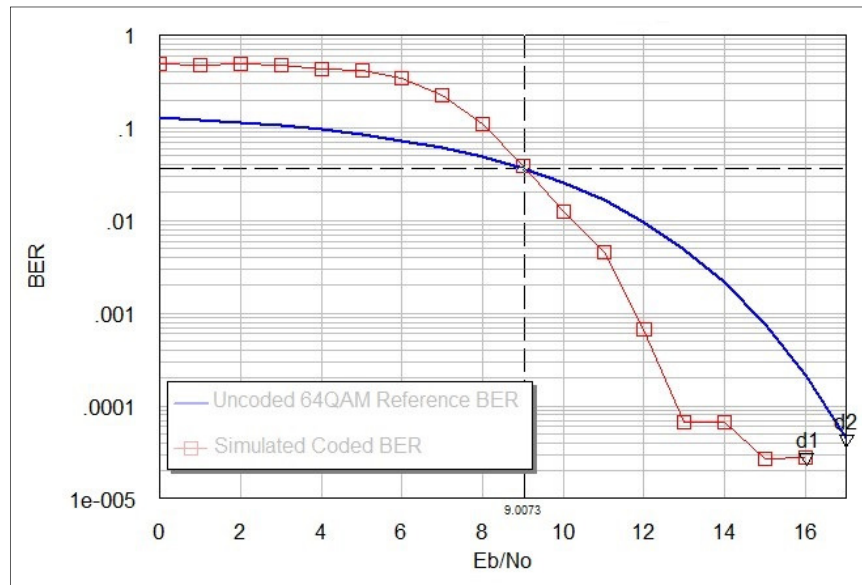
Με την υλοποίηση της προσομοίωσης παράξαμε τα διαγράμματα που παραθέτουμε εδώ. Το πρώτο διάγραμμα παρουσιάζει το φάσμα της OFDM διαμόρφωσης, τόσο στην πλευρά του πομπού όσο και στην πλευρά του δέκτη. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζεται η συχνότητα του σήματος και στον κάθετο άξονα το επίπεδο ισχύος σε dB.



Διάγραμμα φάσματος

Στο παρακάτω διάγραμμα παριστάνεται το BER του σήματος στο δέκτη μέσω της προσομοίωσης που δημιουργήσαμε. Το διάγραμμα περιλαμβάνει δύο καμπύλες: Η πρώτη καμπύλη (μπλε τμήμα) αφορά το θεωρητικά αναμενόμενο BER για την 64QAM διαμόρφωση χωρίς κωδικοποίηση. Η δεύτερη καμπύλη (κόκκινο τμήμα) παριστάνει το BER που προέκυψε από την προσομοίωση του συστήματος με τη χρήση κωδικοποιητή.

Παρατηρούμε ότι για επίπεδο σηματοθρομβικού λόγου (E_b/N_0) μικρότερου των 9dB το κωδικοποιημένο σήμα παρουσιάζει χειρότερη επίδοση (μεγαλύτερο BER) από την 64QAM χωρίς κωδικοποίηση. Από τα 9dB όμως και καθώς αυξάνεται ο λόγος σήματος προς θόρυβο, η επίδραση της συνελκτικής κωδικοποίησης παράγει μικρότερο BER και άρα καλύτερης ποιότητας μετάδοση.



Διάγραμμα BER

Σημειώνουμε ότι για την παραγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι στον OFDM διαμορφωτή, τιμές που καθορίζονται από το Ευρωπαϊκό πρότυπο DVB Standard ETSI-30044. Το πρότυπο αυτό προβλέπει συγκεκριμένο πλήθος υπομεταφορέων $NC=1705$, φασματική απόσταση μεταξύ των υπομεταφορέων $CS= 4.464e-3$ MHz, και μέση τιμή επιπέδου λευκού προσθετικού θορύβου (AWGN) καναλιού $LOSS=0$ dB.

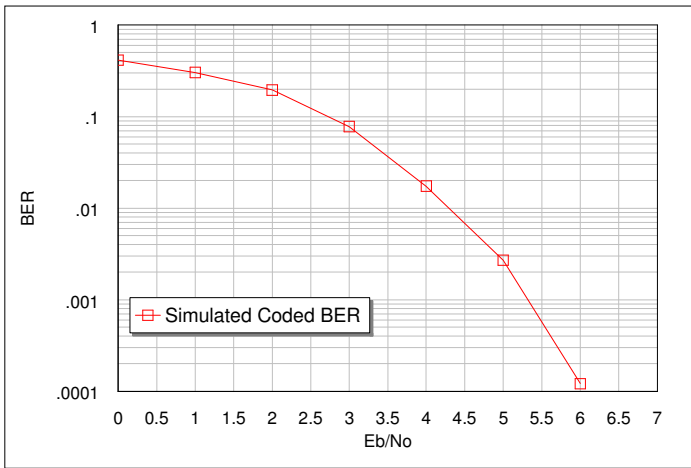
Στα παρακάτω διαγράμματα εμφανίζονται οι μετρήσεις για τις διαμορφώσεις

- QPSK - OFDM
- BPSK - OFDM
- 16PSK - OFDM
- 64PSK - OFDM
- 4QAM - OFDM
- 16QAM - OFDM
- 64QAM - OFDM
- 256QAM - OFDM

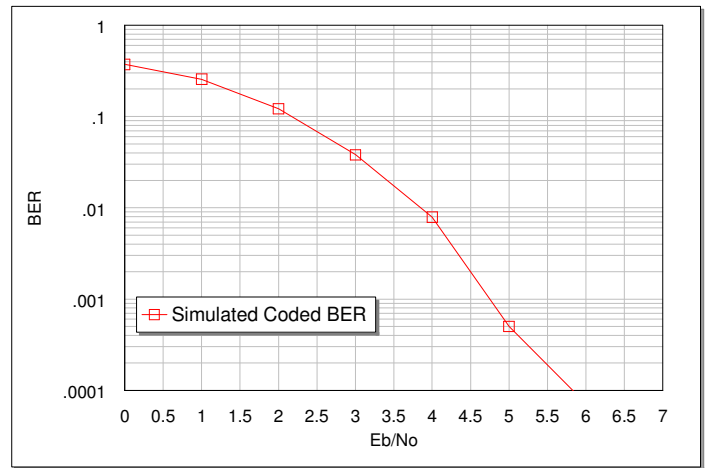
Όλες οι μετρήσεις έγιναν με $Loss=0$ και $Loss=0.5$ αντίστοιχα. Βάζοντας τα κατάλληλα blocks για κάθε διαμόρφωση στην τοπολογία προσομοίωσης μπορούμε να έχουμε και διαφορετική διαμόρφωση. Παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ $LOSS=0$ και $LOSS=0.5$ δεν είναι μεγάλη μεταξύ των διαμορφώσεων. Επίσης άλλο που παρατηρούμε όσο πιο εξελιγμένη είναι η

κωδικοποίηση τόσο μεγαλύτερο ρυθμό δεδομένων μπορούμε να αποστείλουμε.

Στο παρακάτω παράδειγμα με QPSK-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή.

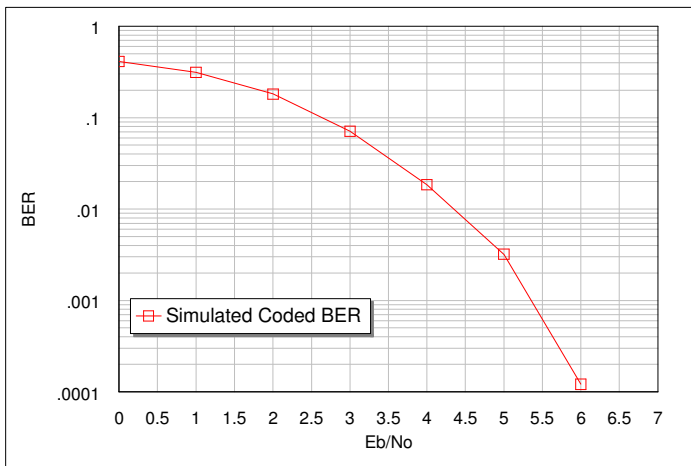


Διάγραμμα με QPSK LOSS 0.5

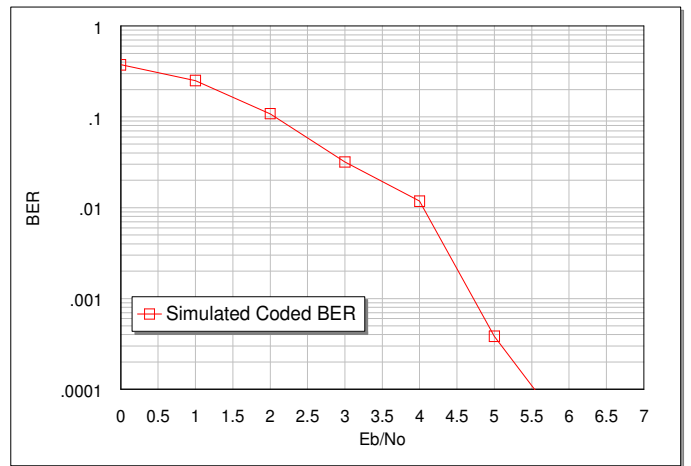


Διάγραμμα με QPSK LOSS 0

Στα παρακάτω διαγράμματα με BPSK-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή.

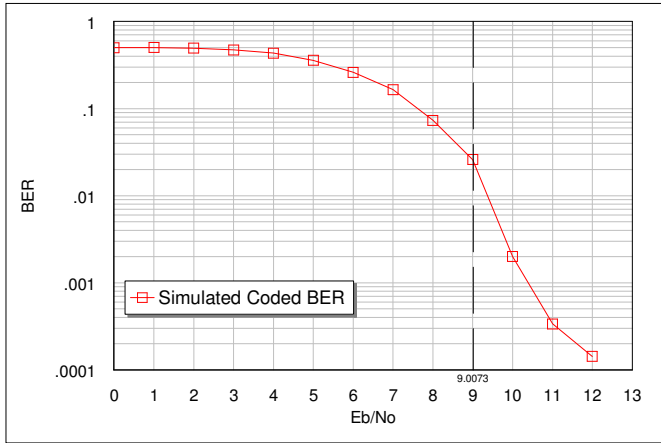


Διάγραμμα με BPSK LOSS 0.5

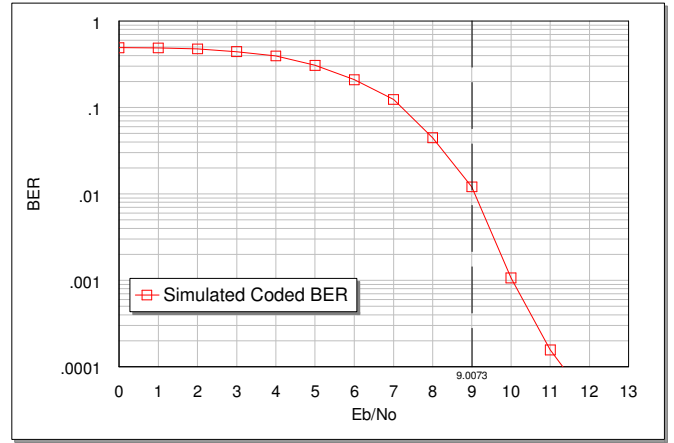


Διάγραμμα με BPSK LOSS 0

Στα παρακάτω διαγράμματα με 16PSK-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή.

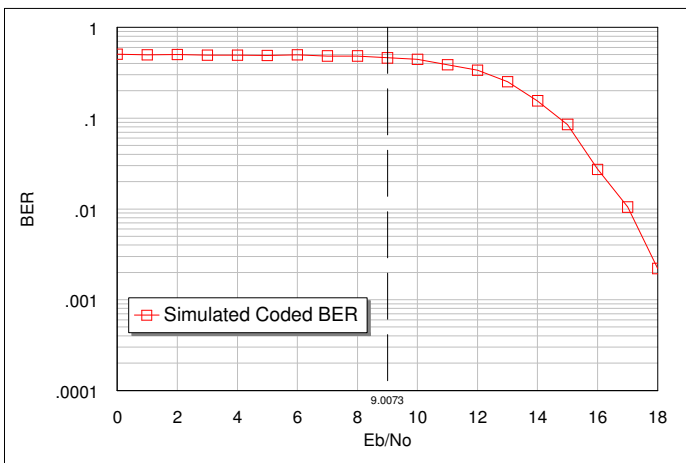


Διάγραμμα με 16PSK LOSS 0.5

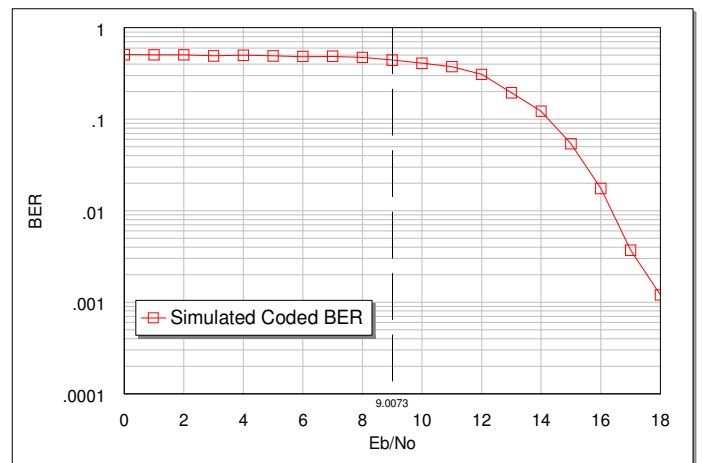


Διάγραμμα με 16PSK LOSS 0

Στο παρακάτω διαγράμματα με 64 PSK-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι ή απώλεια είναι πολύ μικρή.

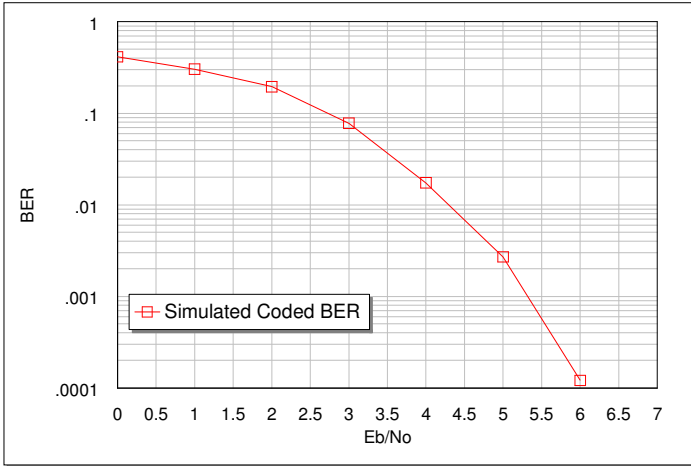


Διάγραμμα με 64PSK LOSS 0.5

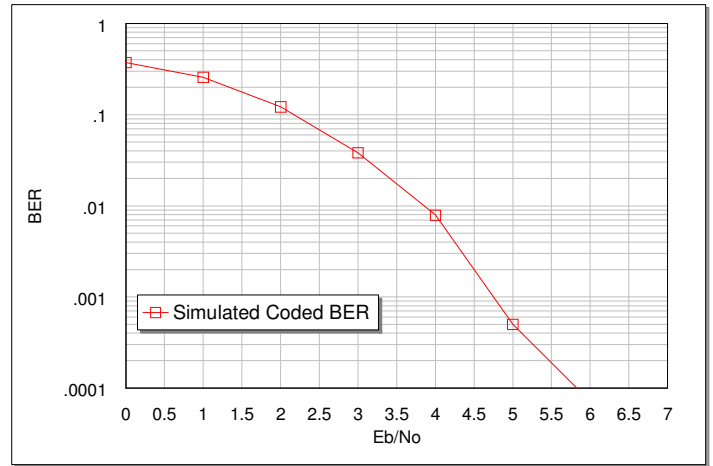


Διάγραμμα με 64PSK LOSS 0

Στα παρακάτω διαγράμματα με 4QAM-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι ή απώλεια είναι πολύ μικρή.

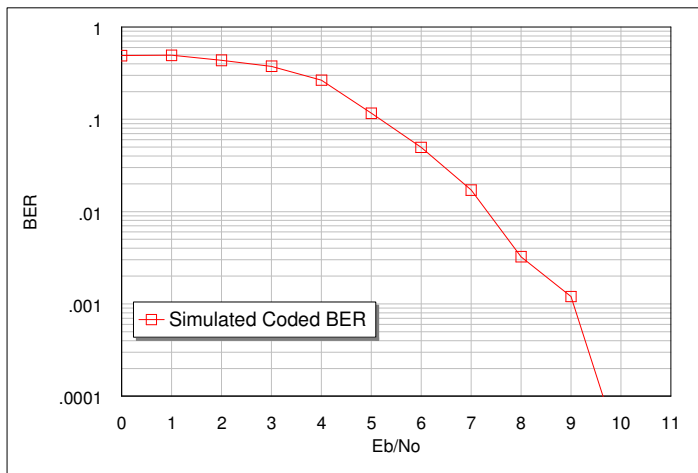


Διάγραμμα με 4QAM LOSS 0.5

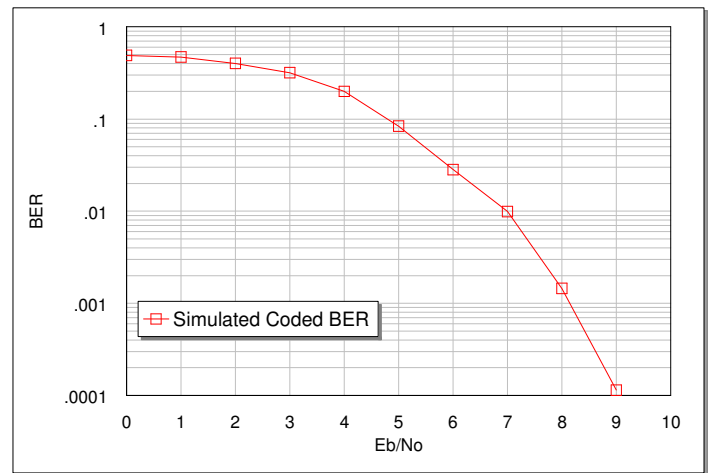


Διάγραμμα με 4QAM LOSS 0

Στα παρακάτω διαγράμματα με 16 QAM-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή.

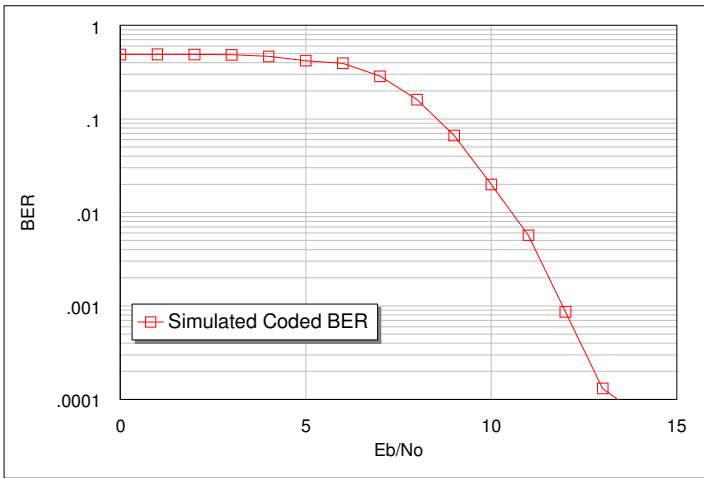


Διάγραμμα με 16QAM LOSS 0.5

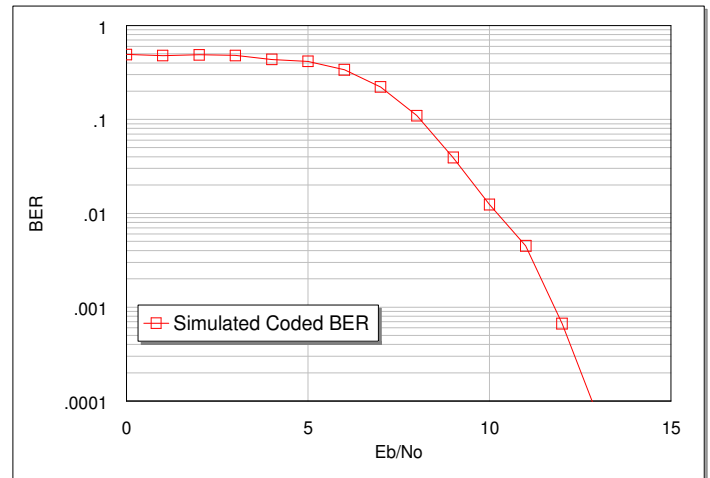


Διάγραμμα με 16QAM LOSS 0

Στα παρακάτω διαγράμματα με 64 QAM-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή.

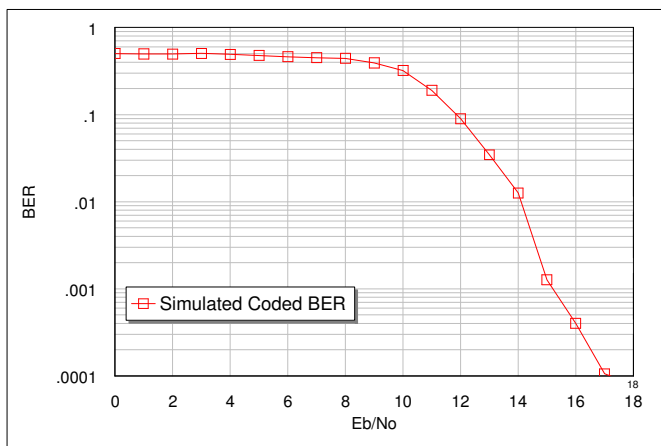


Διάγραμμα με 64QAM LOSS 0.5

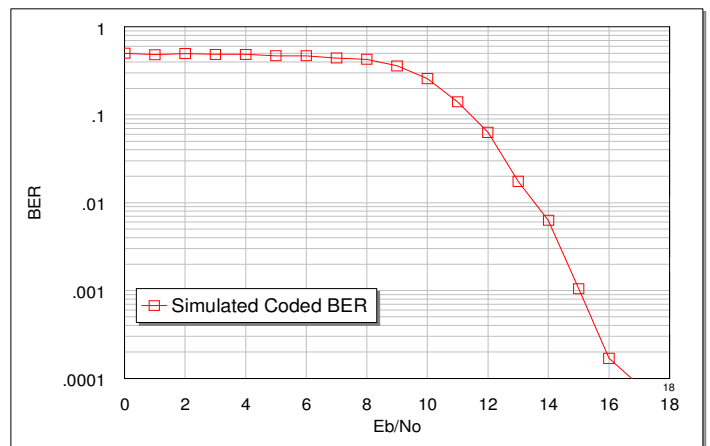


Διάγραμμα με 64QAM LOSS 0

Στο παρακάτω παράδειγμα με 256 QAM-OFDM παρατηρούμε ότι όταν έχει LOSS 0 έχει ελάχιστα καλύτερη απόδοση σε σχέση με LOSS 0.5. Σε αυτό ευθύνεται ότι η απώλεια είναι πολύ μικρή

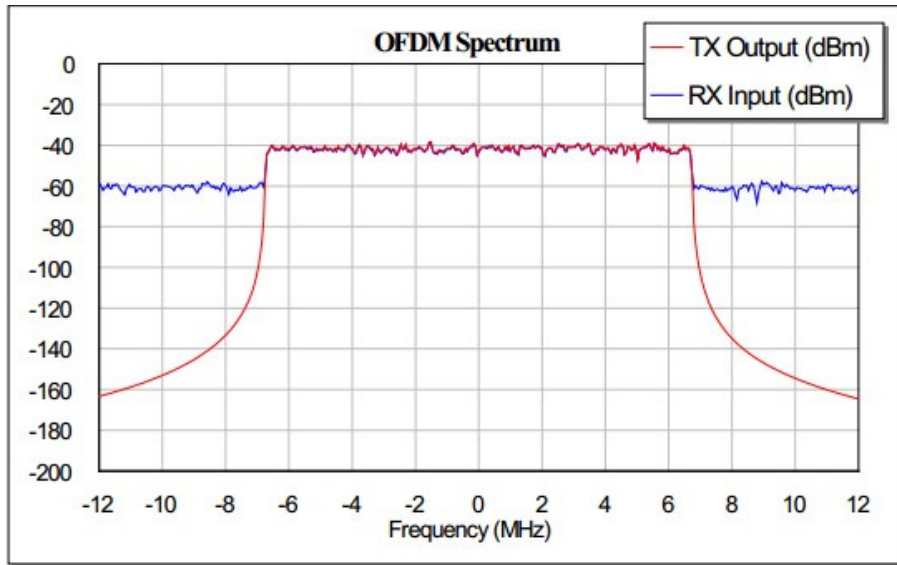


Διάγραμμα με 256QAM LOSS 0.5

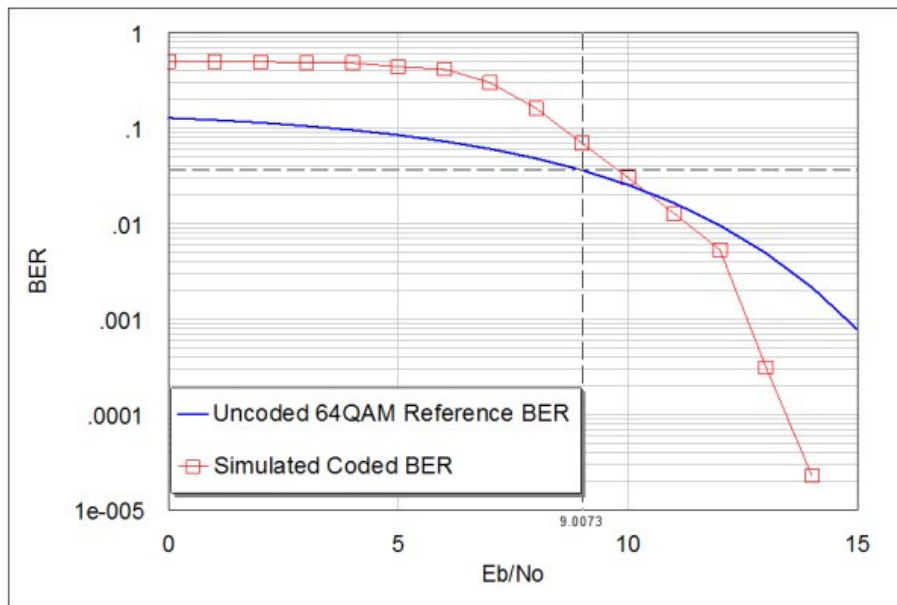


Διάγραμμα με 256QAM LOSS 0

Τέλος να αναφέρουμε πως, επαναλαμβάνοντας την αρχική προσομοίωση και αλλάζοντας το πλήθος των υπομεταφορέων από 1705 σε 3000 και την μέση τιμή θορύβου από 0dB σε 0.5dB εμφανίζονται οι εξής αλλαγές:



Φάσμα με αυξημένο το πλήθος των υπομεταφορέων



Διάγραμμα BER με αυξημένο το επίπεδο θορύβου από 0 σε 0.5dB

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα φάσματος διαπιστώνουμε ότι η αύξηση του πλήθους των υποφορέων του OFDM αύξησε το φάσμα του σήματος χωρίς να επηρεάσει εν τούτοις την ισχύ η οποία διατηρήθηκε στο ίδιο επίπεδο με αυτή της αρχικής προσομοίωσης

Όσον αφορά το BER η αύξηση της μέσης τιμής του επιπέδου θορύβου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου του σηματοθορυβικού λόγου για τον οποίο εξισώνεται το BER με τη χρήση κωδικοποιητή της 64-QAM και της διαμόρφωσης χωρίς κωδικοποιητή. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση του

κωδικοποιητή γίνεται αποδοτικότερη για επίπεδο σηματοθορυβικού λόγου (E_b/N_0), στην τιμή των 11dB, αυξημένη κατά 2 περίπου db σε σχέση με τη περίπτωση της προσομοίωσης με χαμηλότερο επίπεδο θορύβου.

Συμπεράσματα – Επίλογος

Όπως είδαμε στην έκταση όλης αυτής της πτυχιακής η τεχνολογία και μαζί με αυτήν και η ραδιοφωνία συνεχίζουν την πορεία τους προς το μέλλον. Βέβαια παρόλη την τεχνολογική άνοδο και την αλλαγή του προσώπου της ραδιοφωνίας που και αυτή εισέρχεται στην ψηφιακή εποχή, ακόμη πολλές Χώρες ή χρήστες δεν είναι ακόμη, σε μεγάλο ποσοστό, έτοιμοι για το μεγάλο βήμα είτε για λόγους οικονομικούς είτε για λόγους βιοτικού αλλά και μορφωτικού επιπέδου. Παρόλο που γενικά το DAB προσφέρει εξοικονόμηση φάσματος και οικονομία σε θέματα συντήρησης εξοπλισμού παραμένει σε αρχικά ή ακόμη και δοκιμαστικά στάδια σε πολλές Χώρες του κόσμου αφήνοντας ακόμη μια ανάσα για τα FM, τα οποία για τα δεδομένα της εποχής μας είναι ξεπερασμένα. Για πόσο ακόμη όμως δεν το γνωρίζουμε και μόνο χρόνος θα το δείξει...

Βιβλιογραφία

- 1) Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων Ενότητα1: Σήματα Διακριτού Χρόνου
Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς Επίκουρος Καθηγητής
- 2) **Ανάλυση και μελέτη διαμόρφωσης OFDM πομποδέκτη σε περιβάλλον AWR KAN**
ΑΡΤΟΥΡ, ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ CIED
- 3) **Θεωρητική μελέτη και προσομοίωση Ορθογωνικής Πολύπλεξης Διάρθρωσης Συχνότητας – OFDM** Παπαδήμας Χρήστος Παπαλεξανδρόπουλος Διονύσιος Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνολογίες και Συστήματα Ευρυζωνικών Εφαρμογών και Υπηρεσιών» CIED
- 4) **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΗΧΟΥ** Χρυσάνθου Μαρία
- 5) **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΚΤΗ DAB** Παπαδάκης Μιχάλης
- 6) **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ OFDM** Γκιργκινούδη Αντωνίας
- 7) **Βασικές αρχές OFDM και διαμόρφωση OFDM/OQAM** Γεώργιος Ι. Τσακμακίδης
- 8) **TECHNICAL BASES FOR T-DAB SERVICES NETWORK PLANNING AND COMPATIBILITY WITH EXISTING BROADCASTING SERVICES** BPN 003 Third Issue EBU
- 9) **Digital Audio Signal Processing 2nd_edition** Udo Zölzer
- 10) **INTRODUCTION TO DIGITAL AUDIO CODING AND STANDARDS**
Marina Bosi, Richard E. Goldberg
- 11) **Digital Audio Broadcasting, Principles and Applications of Digital Radio 2nd ed** - W. Hoeg, T. Lauterbach
- 12) **Technical Advances in Digital Audio Radio Broadcasting** CHRISTOF FALLER, BING-HWANG JUANG, PETER KROON, HUI-LING LOU, SEAN A. RAMPRASHAD, AND CARL-ERIK W. SUNDBERG, FELLOW & MEMBERS IEEE
- 13) **WorldDMB Global Update Digital radio broadcasting using the DAB family of standards**
September 2014 WordDAB Forum
- 14) Εισαγωγή Στις Τηλεπικοινωνίες Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών Διδάσκων Θωμάς Καμαλάκης :
http://galaxy.hua.gr/~thkam/Courses/slides_intro_to_comm.pdf
- 15) Discrete-Time Signals and Systems:
https://www.pearsonhighered.com/assets/hip/us/hip_us_pearsonhighered/samplechapter/0131988425.pdf
- 16) AM & FM:
<http://electronicslab.eu/el/epikoinoniesgr/315-diamorfosh-syxnottas.html>
- 17) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ:
http://moag.phys.uoa.gr/moag_gr/sites/default/files/moag_files/Telecom_Chapter_3.pdf
- 18) Amplitude Modulation Fundamentals: http://www.pa2old.nl/files/am_fundamentals.pdf
- 19) Ψηφιακές διαμορφώσεις:
http://anamorfosi.teicm.gr/ekp_yliko/e-notes/Data/comm2/main.htm
- 20) Η Επίδραση της Τεχνολογίας στην Ραδιοφωνική Εξέλιξη:
<http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2009-2010/RADIOFONO.htm>
- 21) Digital Signal Processing for Measurement Systems Theory and Applications

Authors: D'Antona, Gabriele, Ferrero, Alessandro:
<http://www.springer.com/gp/book/9780387249667>

