

84

ΠΤΥΧΙΑΚΗ  
ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟ INTERNET



**ΜΥΛΩΝΑ ΚΥΡΙΑΚΗ**

**A.M. 2006025**

**ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**A.M. 2006144**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΙΑΠΕΡΔΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

-ΣΠΑΡΤΗ 2011-

Περιεχόμενα.....	2
Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
1.Εισαγωγή.....	7
1.1 Σκοπός.....	7
2. Δορυφορικό Διαδίκτυο.....	7
2.1 Τι είναι Δορυφορικό Διαδίκτυο.....	7
2.2 Ιστορική εξέλιξη των δορυφόρων.....	8
2.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα δορυφορικού διαδικτύου.....	10
2.3.1 Πλεονεκτήματα.....	11
2.3.2 Μειονεκτήματα.....	12
2.4 Ενδεικτικές εφαρμογές και υπηρεσίες.....	14
2.5 Κατηγορίες δορυφορικών υπηρεσιών ραδιοεπικοινωνίας.....	15
2.5.1 Fixed satellite service (FSS).....	15
2.5.2 Broadcasting satellite service (BSS).....	16
2.5.3 Mobile satellite service (MSS).....	16
2.5.4 Άλλες κατηγορίες δορυφορικών υπηρεσιών.....	17
3. Οι δορυφόροι και η χρησιμότητα τους.....	19
3.1 Τύποι-Κατηγορίες Δορυφόρων.....	20
3.1.1 Εμπορικοί τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.....	21
3.1.2 Μέθοδοι βελτίωσης δορυφορικών Επικοινωνιών.....	21
3.2 Τμήματα δορυφόρων.....	23
3.2.1 Κυρίως σώμα.....	23
3.2.2 Έλεγχος θέσης στη τροχιά.....	25
3.2.3 Πηγές ενέργειας.....	25
3.2.4 Επικοινωνιακό σύστημα.....	26
3.2.5 Υπολογιστικό σύστημα.....	26
3.3 Οι πρώτοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι.....	27
3.3.1 Σειρά Άτλας.....	27
3.3.2 Δορυφόροι Echo 1 και 2.....	28
3.3.3 Δορυφόρος Telstar.....	28
3.3.4 Δορυφόρος Syncom 4.....	29
3.4 Αστερισμοί – Διάταξη δορυφόρων στο χώρο.....	30
3.4.1 Τεχνολογία Globalstar.....	30
3.4.2 Τεχνολογία Iridium.....	31
4. Τροχιές των δορυφόρων.....	32
4.1 Δορυφόροι χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO).....	33
4.1.1 Πλεονεκτήματα.....	34
4.1.2 Μειονεκτήματα.....	34
4.2 Δορυφόροι μεσαίας γήινης τροχιάς (MEO).....	35
4.2.1 Πλεονεκτήματα.....	35
4.2.2 Μειονεκτήματα.....	35
4.3 Δορυφόροι γεωσύγχρονης τροχιάς (GEO).....	36
4.3.1 Πλεονεκτήματα.....	36
4.3.2 Μειονεκτήματα.....	37

4.4 Κριτήρια Επιλογής Τροχιάς.....	37
5. Επίτευξη ζεύξης.....	38
5.1 Απαιτούμενος οικιακός εξοπλισμός.....	40
5.1.1 Δορυφορικό κάτοπτρο.....	40
5.1.2 LNB-Μεταλλάκτης χαμηλού θορύβου.....	41
5.1.3 Δέκτης –Modem .....	43
5.2 Ζώνες συχνοτήτων στις δορυφορικές επικοινωνίες.....	44
5.2.1 L-BAND.....	46
5.2.2 S-BAND.....	48
5.2.3 C-BAND.....	49
5.2.4 X-BAND.....	50
5.2.5 Ku-BAND.....	50
5.2.6 Ka-BAND.....	51
5.2.7 Επιλογή ζώνης συχνοτήτων.....	52
5.3 Το τηλεπικοινωνιακό κανάλι και τα χαρακτηριστικά του.....	53
5.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά επίγειων σταθμών.....	54
5.3.2 Μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης & Προσπέλασης.....	56
5.3.2.1 Polling.....	57
5.3.2.2 ALOHA.....	58
5.3.2.3 FDMA.....	58
5.3.2.4 TDMA.....	59
5.3.2.5 CDMA.....	60
5.3.2.6 Τεχνικές ανάθεσης χωρητικότητα με FAMA και DAMA.....	61
5.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά κεραιών .....	62
5.3.3.1 Απολαβή και ακτινοβολία κεραίας.....	63
5.3.3.2 Κατευθυντικότητα, λοβοί κεραίας πόλωση.....	64
5.3.4 Θόρυβος και απώλειες .....	66
5.3.4.1 Εξωτερικός θόρυβος.....	67
5.3.4.2 Εσωτερικός θόρυβος.....	69
5.3.4.3 Απώλειες ελεύθερου χώρου.....	71
5.4 Διαμόρφωση σημάτων μετάδοσης .....	71
5.4.1 Αναλογική διαμόρφωση.....	73
5.4.1.1 Διαμόρφωση πλάτους (AM).....	74
5.4.1.2 Διαμόρφωση συχνότητας (FM).....	74
5.4.2 Ψηφιακή διαμόρφωση.....	75
5.4.2.1 Διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (FSK).....	75
5.4.2.2 Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους(ASK).....	76
5.4.2.3 Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK).....	76
5.4.2.4 Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK).....	76
5.4.2.5 Quadrature Amplitude Modulation(QAM).....	77
Βιβλιογραφία.....	78

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κύριο ΙΩΑΝΝΗ ΛΙΑΠΕΡΔΟ για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη του σε όλη τη διάρκεια περαιώσης της πτυχιακής μας εργασίας.

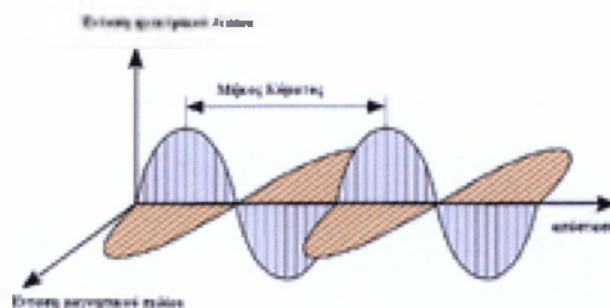
Επίσης, πολύ σημαντική ήταν η στήριξη της οικογένειας μας τόσο σε οικονομικό όσο και σε ψυχολογικό επίπεδο σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

## Περίληψη

Από τα αρχαία χρόνια οι άνθρωποι είχαν την τάση να ψάχνουν τρόπους ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους σε μεγάλες αποστάσεις. Αρχικά υπήρχαν δρομείς που διένυαν μεγάλες αποστάσεις με σκοπό να μεταφέρουν ένα σοβαρό και επείγον μήνυμα συνήθως κρυπτογραφημένο. Σε αυτή την περίπτωση είχαν δημιουργήσει ένα περίεργο τρόπο αποκρυπτογράφησης για την αποφυγή υποκλοπής του μηνύματος. Ως κρυπτογράφηση χρησιμοποιούσαν παπούρους που περιείχαν το μήνυμα γραμμένο με περίτεχνο τρόπο για να αλλοιώνεται το νόημα. Σε άλλες περιπτώσεις το μήνυμα γράφονταν στο κεφάλι του δρομέα και αφού μετά από καιρό οι τρίχες του είχαν μακρύνει, τότε ήταν έτοιμος να εκτελέσει την αποστολή του. Το πρόβλημα της κρυπτογράφησης είναι σοβαρό ιδιαίτερα στις μέρες μας όπου οι δορυφόροι εκπέμπουν ένα σήμα που είναι εφικτό να το παραλάβουν πολλοί. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μέθοδοι που θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Τα πρώτα οπτικά σήματα ήταν σύννεφα καπνού ή το άναμμα φωτιάς στις κορυφές των βουνών για να είναι ορατές από μεγάλη απόσταση. Αυτό φυσικά συνεχίστηκε μέχρι το 1840 όπου ανακαλυφθούν οι ενσύρματες επικοινωνίες, οι οποίες εξελίχθηκαν πολύ με το πέρασμα των χρόνων και έχουν φτάσει στο σημερινό επίπεδο όπου δεν νοείται πλέον σίτι χωρίς τηλεφωνική γραμμή. Η μεγάλη αλλαγή όμως ήρθε όταν ξεκίνησαν οι πρώτες ασύρματες μεταδόσεις. Ο Ιταλός φυσικός Μαρκόνι ήταν αυτός που ασχολήθηκε πολύ με τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και κατασκεύασε το πρώτο σύστημα μετάδοσης χωρίς τη χρήση καλωδίων βασισμένος στις θεμελιωμένες θεωρίες του πρωτοπόρου Κλάρκ Μάξγουελ. Έπειτα προς το 1893-1894 ασχολήθηκαν με την εξέλιξη των πομπών και των δεκτών οι N. Tesla Alexander Popov. Βέβαια την εποχή εκείνη υπήρχαν κι άλλοι ερευνητές οι οποίοι είχαν προβεί σε παρόμοιες ενέργειες και ανακαλύψεις αλλά δεν είχαν δημοσιεύσει τις έρευνες τους. Ορισμένες μονάδες μέτρησης ή και μαθηματικοί τύποι, φέρουν το όνομα τους όπως ο Κλάρκ Μάξγουελ (J.C.Maxwell) ο οποίος απεικόνισε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (βλ. Εικόνα 1) και δημιούργησε τους ομώνυμους τύπους. Κάποιοι από τους οποίους είναι ο Tesla που επινόησε και το ομώνυμο πηνίο και ασχολήθηκε πολύ με το εναλλασσόμενο ρεύμα. και ο Hertz στον οποίο σαν εύσημο για την προσφορά του στο ανθρώπινο γένος έχει ονομαστεί η ομώνυμη μονάδα μέτρησης της συχνότητας. Με την βοήθεια όλων αυτών πραγματοποιήθηκε το 1906 από τον Reginald Fessenden το μεγαλύτερο επίτευγμα για τις τηλεπικοινωνίες που κατάφερε να ενώσει δυο ηπείρους με αμφίδρομη ασύρματη επικοινωνία. Με την διεκπεραίωση της χρήσης δορυφόρων και τις υψηλές συχνότητες που εκπέμπουν επιτεύχθηκε με την βοήθεια της τεχνολογίας να ενώσουμε όλη τη γη σε ένα κοινό δίκτυο. Με τους δορυφόρους αποφύγαμε τη χρήση ενσύρματων μέσων, και πολλά απ' τα προβλήματά που προκαλούν, καθιστώντας τα ιδιαίτερα αναγκαία σε μέρη όπου δεν ήταν εφικτή η επικοινωνία όπως σε απρόσιτες περιοχές ή ακόμα περισσότερο σε κινούμενα οχήματα. Ακόμα οι αναμεταδότες που θα έπρεπε να εγκατασταθούν ανά κάποια απόσταση θα δημιουργούσαν θόρυβο στην πληροφορία που θα μετέφερε το σήμα. Το σήμα αυτό



μπορεί να καλύψει πολλές υπηρεσίες όπως θα δούμε πιο κάτω και μπορεί να είναι ήχος, εικόνα ή οποιοδήποτε δεδομένο κυρίως ηλεκτρονικής μορφής. Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω οι δορυφόροι χρησιμοποιούν ζώνες με υψηλή συχνότητα για τις ζεύξεις αυτές. Αυτό μας επιτρέπει λόγω διαμορφώσεως να «χωρέσουμε» μεγάλο όγκο πληροφορίας στο φέρον σήμα που αποστέλλεται. Αυτή η τεχνική σε συνδυασμό με άλλες που θα επακολουθήσουν μας δίνουν τη δυνατότητα να αυξηθούν οι παρερχόμενες υπηρεσίες για την 'εκμετάλλευση' τους από ολοένα και περισσότερους χρήστες. Για τα προβλήματα που αναφέρθηκαν πρώτιστος δηλαδή η χρήση των χιλιόμετρων καλωδίων για μια ενσύρματη ζεύξη και η ανεπάρκεια υποστήριξης δύσβατων περιοχών και κινούμενων οχημάτων τη λύση έρχεται να φέρει η δορυφορική επικοινωνία. Πλέον υπάρχει η δυνατότητα για επικοινωνία και μεταφορά αρχείων από τη μία ήπειρο στην άλλη χωρίς την ύπαρξη πολλών επίγειων αναμεταδοτών όπου ούτε σ' αυτή την περίπτωση θα επαρκούσαν καθώς το σήμα θα έπρεπε να είναι πολύ ισχυρό. Αλλά ακόμη και αν μπορούσε να επιτευχθεί δεν θα είχε ο ένας αναμεταδότης απευθείας ορατότητα προς τον άλλο λόγω της καμπυλότητας της γης. Επιπλέον, με τους δορυφόρους υπάρχει η δυνατότητα ύπαρξης πολλών διαφορετικών εφαρμογών όπως η παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών αλλά και η χρήση του διαδικτύου ακόμα και σε πλοίο ή τρένο. Μία ακόμα εφαρμογή που δημιουργήθηκε είναι το GPS (Global Positioning System) με το οποίο μας δίνεται η δυνατότητα να εντοπίσουμε τη θέση ενός αντικειμένου σε οποιοδήποτε σημείο της γης με μεγάλη ακρίβεια. Τέτοιου είδους εφαρμογές θα αναλυθούν προς το τέλος της εργασίας. Το βασικότερο απ' όλα όμως είναι ότι οι δορυφόροι λόγω της τεχνολογίας BSS (Broadcasting Satellite Service) έχουν την ικανότητα της ταυτόχρονης εκπομπής του ίδιου σήματος προς το ευρύ κοινό, δηλαδή σε πολλούς χρήστες που βρίσκονται σε μία μεγάλη γεωγραφικά περιοχή, αλλά να είναι υπό το εύρος εμβέλειας του δορυφόρου. Λόγω αυτής της τεχνολογίας γίνεται εφικτή και η παρακολούθηση δορυφορικών τηλεοπτικών καναλιών (π.χ. NOVA).



Εικόνα 1

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Σκοπός

Ο σκοπός αυτού του εγγράφου είναι ο προσδιορισμός και η κατανόηση των εννοιών, των χαρακτηριστικών και των υπηρεσιών του Δορυφορικού διαδικτύου. Κύριο στοιχείο αυτής της εργασίας είναι η απλουστευμένη διατύπωση των προαναφερθέντων ώστε να είναι κατανοητά σε οποιονδήποτε θελήσει να ενημερωθεί από αυτήν για το συγκεκριμένο θέμα.

## 2. Δορυφορικό Διαδίκτυο

### 2.1 Τι είναι Δορυφορικό Διαδίκτυο

Το Internet καθώς και η χρήση του είναι διαδεδομένα, όλοι το γνωρίζουμε και το χρησιμοποιούμε, είναι ένας τρόπος να συνδεόμαστε σε ένα παγκόσμιο Δίκτυο, όπου εκεί μπορούμε να αναζητήσουμε πληροφορίες για οποιοδήποτε θέμα, να ενημερωθούμε ή ακόμη και να διαφημιστούμε. Επίσης έχουμε την δυνατότητα να επικοινωνήσουμε με όλο τον κόσμο μέσω VoIP (φωνή) για την οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, ή ακόμη με την βοήθεια μίας κάμερας να έχουμε και την εικόνα αυτού με τον οποίο μιλάμε. Μπορούμε επίσης να παρακολουθήσουμε δορυφορικά κανάλια για ψυχαγωγία ή να μεταβούμε σε βιβλιοθήκες για επιμορφωτικούς σκοπούς. Έτσι το Δορυφορικό Διαδίκτυο είναι μία μορφή ευρυζωνικής πρόσβασης στο Ιντερνέτ που επιτρέπει τη σύνδεση ενός υπολογιστή ή ενός δικτύου υπολογιστών στο Internet μέσω δορυφόρου και όχι με την χρήση ενσύρματων μέσων όπως γίνεται στο απλό μέσω της τηλεφωνικής γραμμής. Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές όπου η παραδοσιακή επίγεια πρόσβαση στο internet (DSL, Ενσύρματα) δεν είναι διαθέσιμη και σε σημεία με συχνή μετακίνηση, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων και των οχημάτων. Το Δορυφορικό Internet απαιτεί ειδικό εξοπλισμό (βλ 5.1) που μεταδίδει ή λαμβάνει το δορυφορικό σήμα καθώς και μια συνδρομή σε Πάροχο Δορυφορικού Δικτύου (ISP) όπως είναι η First Telecom που παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες υπηρεσίες που προσφέρει (βλ2.4).

Με βάση τον τρόπο επικοινωνίας, υπάρχουν δύο είδη Δορυφορικού Internet, και αυτά είναι ,του παλαιότερου τύπου, το 1-Way (λήψη μόνο) και το Αμφίδρομο (upload και download). Οι συνδέσεις αυτές διαφέρουν η μία από την άλλη, στη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εκπομπή πληροφοριών (upload) προς τον δορυφόρο. Στην περίπτωση της μονόδρομης επικοινωνίας δεν απαιτείται τόσο ακριβός και πολύπλοκος εξοπλισμός και αυτό γιατί στην 2η περίπτωση

χρειαζόμαστε και έναν πομπό που κάνει πιο πολύπλοκες τις συσκευές όπως το LNB και τον δέκτη που πρέπει να μπορεί να στέλνει δεδομένα μέσω μιας κεραίας (βλ 5.1). Η First Telecom προσφέρει την Αμφίδρομη σύνδεση, η οποία είναι εντελώς ανεξάρτητη από οποιαδήποτε επίγεια καλωδίωση και αποκομμένη από όλους τους περιορισμούς που αυτή συνεπάγεται.

Σήμερα, οι περισσότερες εταιρίες που παρέχουν Δορυφορικά Δίκτυα προσφέρουν ταχύτητες που κυμαίνονται από 512 Kbps έως 4 Mbps, οι οποίες είναι σε μεγάλο βαθμό συγκρίσιμες με μια τυπική σύνδεση DSL για το σπίτι ή το γραφείο. Καμιά φορά βέβαια δεν πετυχαίνουμε πάντα τις ενδεικτικές ταχύτητες που σου προσφέρουν και συνήθως τείνουν προς μία ταχύτητα χαμηλότερη, αυτό βέβαια συμβαίνει και στην DSL σύνδεση και το πρόβλημα αυτό αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν το δίκτυο την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αν και η δορυφορική πρόσβαση είναι συνήθως ακριβότερη από ό, τι μια επίγεια ή DSL σύνδεση, το επίπεδο των παρεχόμενων υπηρεσιών είναι εξίσου καλό, αν όχι καλύτερο και είναι πάντα διαθέσιμο. Εξαιτίας του κόστους, οι εταιρίες που χειρίζονται μεγάλο όγκο δεδομένων προτιμούν αυτό το τύπο σύνδεσης, καθώς επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στο ενσύρματο δίκτυο.

## 2.2 Ιστορική εξέλιξη των δορυφόρων

Η όλη επίτευξη της τεχνολογίας των δορυφορικών συστημάτων, ξεκίνησε σαν μια μακρινή ιδέα. Πλέον υπάρχει μια ραγδαία εξέλιξη αλλά και πάλι ο άνθρωπος προσπαθεί να βελτιώσει τα μέχρι τώρα επιτεύγματα του. Από την εποχή που καθιέρωσε τις επικοινωνίες και τις απλές μεταδόσεις ηλεκτρομαγνητικού κύματος, όνειρο του ήταν να πετύχει επικοινωνία όσο το δυνατό σε πιο μακρινές αποστάσεις . Και στη συνέχεια στόχος ήταν οι ζεύξεις αυτές να γίνουν και παγκόσμιες. Επειδή τα μέσα της εποχής αλλά και τα χρήματα δεν επαρκούσαν για κάτι τέτοιο καθώς όπως ήδη αναφέρθηκε, θα χρειαζόμασταν χιλιόμετρα συρμάτων αγωγών και αναμεταδότες ανά διαστήματα. Αυτό εκτός του κόστους θα είχε και προβλήματα στην επικοινωνία καθώς σε δυσπρόσιτες περιοχές δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένα δίκτυο και δεν θα είχε τα πλεονεκτήματα των δορυφόρων όπως πολλαπλή μετάδοση (broadcasting) και άλλα όπως θα δούμε στη συνέχεια. Η δορυφορική εποχή ξεκίνησε όπως προαναφέρθηκε σαν όραμα. Πρωτοπόρος για το έτος 1945 ήταν ο Βρετανός A.J.Clarke, ο οποίος σκέφτηκε ότι στέλνοντας 3 δορυφόρους και με διάταξη τέτοια (120ο διαφορά ο ένας από τον άλλο λόγω της σφαιρικής μορφής της γης) σε αρκετά μεγάλη απόσταση, αυτοί θα είχαν την δυνατότητα να παρακολουθούν ολόκληρη τη γη (βλ εικόνα 3). Το πρόβλημα για την εποχή αυτή ήταν η εκτόξευση των δορυφόρων σε τόσο μεγάλο ύψος καθώς και τα υψηλής συχνότητας σήματα που έπρεπε να χρησιμοποιηθούν



για να είναι αυτά ικανά να φτάσουν στο προορισμό τους. Αυτές οι θεωρίες έγιναν πράξη 12 χρόνια αργότερα με την αφετηρία των πρώτων δορυφόρων. Και λίγο αργότερα το 1964 ο πρώτος δορυφόρος σε κανονική γεωστατική τροχιά ήταν γεγονός. Για πρώτη φορά μετά από μελέτες η Ρωσία ήταν η χώρα που έθεσε σε τροχιά το 1957 το πρώτο τεχνητό δορυφόρο ονόματι (Sputnik I). Αυτός είχε απώτερο σκοπό την εξερεύνηση του διαστήματος γύρω από τη γη αλλά και να «περάσει» τεχνολογικά την Αμερική. Το Νοέμβριο του ίδιου έτους η ΕΣΣΔ αποστέλλει και δεύτερο δορυφόρο, τον Sputnik II, που μεταφέρει το πρώτο ζωντανό πλάσμα στο διάστημα. Αυτό για την εποχή εκείνη ήταν κάτι πρωτοφανές καθώς για να επιτευχθεί η αποστολή εκτόξευσης ενός αντικειμένου 170 τόνων σε κίνηση για ένα αντικείμενο μόλις 83 κιλών ήταν κάτι σχεδόν ακατόρθωτο. Για να τεθεί στην προγραμματισμένη τροχιά ο δορυφόρος, δεν έπρεπε η ταχύτητά του να αποκλίνει από τις προγραμματισμένες τιμές. Έτσι πραγματοποιήθηκε η πρώτη ελλειπτική τροχιά που στο απόγειο της έφτανε τα 1000 χιλιόμετρα. Η Αμερική μετά από το κατόρθωμα της Σοβιετικής Ένωσης για να την ανταγωνιστεί κατάφερε τον Φεβρουάριο του 1958 να μπει στην κούρσα εξερεύνησης και κατάκτησης του διαστήματος με το πρώτο της δορυφόρο Explorer I. Τα δεδομένα τηλεμετρίας που συνέλεξε και απέστειλε στη γη οδήγησαν στην ανακάλυψη των ζωνών Van Allen. Τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους εκτοξεύεται ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, Άτλας I του σχεδίου S.C.O.R.E. (Signal Communication by Orbiting Relay Experiment). Αργότερα τον Απρίλιο του 1961 πραγματοποιείται η πρώτη πτήση ανθρώπου στο διάστημα, όπου ο Σοβιετικός Yuri Gagarin κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη σε χρόνο 108 λεπτά με μέσο του το διαστημόπλοιο Vostok 1. Ένα χρόνο αργότερα, το 1962 γίνεται η αποστολή του πρώτου ενεργού δορυφόρου αναμετάδοσης TELSTAR I της κατασκευάστριας εταιρίας AT & T και ήταν δορυφόρος σε τροχιά μέσου ύψους 7.200Km (βλ. Παρ. 4.2 - MEO). Λάμβανε σήμα στα 6GHz, στη συνέχεια το μετέτρεπε σε χαμηλότερη συχνότητα και συγκεκριμένα στα 4GHz και αφού το ενίσχυε, το εξέπεμπε. Ο δορυφόρος αυτός επιτρέπει στα αμερικανικά και στα ευρωπαϊκά δίκτυα τηλεόρασης να ανταλλάσσουν τα προγράμματά τους. Αυτό ήταν το ξεκίνημα της DVB υπηρεσίας και της δορυφορικής τηλεόρασης ανά τον κόσμο. Το 1963 πραγματοποιήθηκε η αποστολή δορυφόρου σε τροχιά σχεδόν γεωστατική (SYNCOM II) και στη συνέχεια το 1964, πραγματοποιείται η εκτόξευση του πρώτου γεωστατικού δορυφόρου SYNCOM III(βλ. 4.3). Αυτό ήταν ένα πολύ σοβαρό κατόρθωμα γιατί έπρεπε να μετριάσει ο όγκος του διαστημόπλοιου που θα μετέφερε τον δορυφόρο, αλλά και να είναι ικανό με τα καύσιμα που διέθετε να τον στείλει σε τροχιά σε ένα τόσο μεγάλο ύψος. Εφόσον είχε κατορθωθεί για πρώτη φορά, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, να τεθούν στη GEO τροχιά δορυφόροι, οι Σοβιετικοί είχαν πλέον καλύτερο εξοπλισμό και εμπειρία. Έτσι το 1965 έγινε η χρονιά-σταθμός στην ιστορία των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς τότε τίθεται σε τροχιά ο πρώτος γεωστατικός εμπορικός δορυφόρος, Intelsat I (Early Bird), εγκαινιάζοντας τη μεγάλη ακολουθία των δορυφόρων Intelsat. Εν συνεχεία την ίδια μόλις χρονιά ο πρώτος ρωσικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος της σειράς MOLNIYA στέλνεται στο διάστημα.

Ακολουθεί ο Intelsat II με δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης 240 τηλεφωνικών συνδιαλέξεων ή ενός τηλεοπτικού καναλιού, που αποτελούσε την μεγαλύτερη καινοτομία μέχρι αυτή την στιγμή. Οι παραπάνω οικογένειες των δορυφόρων εξακολουθούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους μέχρι και σήμερα. Μετά από αυτή τη συναρπαστική χρονιά του 1965, ο πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος, ο ATS 3 είναι γεγονός και όλα αυτά μόλις το έτος 1967. Για πρώτη φορά στην ανθρωπότητα στάλθηκαν οι πρώτες έγχρωμες φωτογραφίες από το διάστημα που απεικόνιζαν το γαλάζιο πλανήτη μας. Το 1977 ιδρύεται ο EUTELSAT όπου ξεκίνησε το στερέωμα του από την δυτική και στο πέρασμα των χρόνων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι είχε αποκτήσει κύρος λόγω της επέκτασής της και το 1983 γίνεται η εκτόξευση του πρώτου Ευρωπαϊκού Δορυφόρου ECS (EUTELSAT 1). Αργότερα επεκτάθηκε σε Αφρική, σε τμήματα της Ασίας και στις αρχές του 1990 και στην Αμερική. Πολύ αργότερα το 2001 η Ελλάδα γίνεται μέλος της ESA. Ενός οργανισμού με έδρα την Ευρώπη που πλέον διαχειρίζεται δορυφορικές υπηρεσίες και έχει υπό την κατοχή τους περισσότερους δορυφόρους. Έτσι το 2002 νοικιάστηκε ο πρώτος Ελληνικός δορυφόρος με το όνομα Koronikous. Τέλος, το 2003, τίθεται σε τροχιά ο πρώτος Ελληνικός Δορυφόρος HELLAS-SAT μέσω του οποίου παρέχονται μέχρι στιγμής οι περισσότερες υπηρεσίες στο ελληνικό κοινό και την Κύπρο. Σήμερα ο ουρανός έχει γεμίσει με πολλά είδη δορυφόρων οι οποίοι υποστηρίζουν τις υπηρεσίες που έχουμε αυτή τη στιγμή στην διάθεσή μας. Τέτοιοι είναι οι επικοινωνιακοί, πλοήγησης και άλλοι σε διάφορες διατάξεις όπως Iridium και Global star για την αποδοτικότερη λειτουργία τους και την αποφυγή άλλων προβλημάτων.

### 2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του δορυφορικού διαδικτύου.

Πάντα όταν αναφερόμαστε στη σύγκριση δυο πραγμάτων θα καταλήγουμε σε πλεονεκτήματα του ενός είδους, και τα αντίστοιχα μειονεκτήματα του άλλου. Το δορυφορικό Internet δεν απευθύνεται σε απλούς χρήστες συνήθως λόγω του κόστους. Αφορά κυρίως επαγγελματίες, μικρομεσαίες (ενδεχομένως και μεγαλύτερες) επιχειρήσεις ή χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ως μέσο λήψης μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω web ή email. Αποτελεί δε σήμερα τη μία από τις δύο επιλογές για σύνδεση σε υψηλές ταχύτητες στη χώρα μας, όπου η άλλη είναι η σύνδεση DSL μέσω καλωδίων της τηλεφωνικής γραμμής.

### 2.3.1 Πλεονεκτήματα

Η δορυφορική επικοινωνία όπως προείπαμε έχει το μοναδικό πλεονέκτημα να παρέχει υπηρεσίες σε περιοχές όπου δεν είναι δυνατή η καλωδίωση. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι περιοχές όπου δεν μπορεί να φτάσει και να χρησιμοποιηθεί η τηλεφωνική γραμμή (έρημος, βουνά) αλλά και σε ακόμα πιο δύσκολες περιπτώσεις όπως τα πλοία που εκτελούν υπερατλαντικά ταξίδια και σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν αποκομμένα από τον έξω κόσμο. Επίσης το κόστος για την κάλυψη μιας τεράστιας περιοχής με κάθε άλλο τρόπο εκτός της δορυφορικής, θα ήταν τεράστιο λόγω της αναγκαιότητας ύπαρξης χιλιομέτρων καλωδίωσης και αναμεταδοτών. Ενώ κάτι τέτοιο θα ήταν εφικτό πολύ πιο οικονομικά με την εκτόξευση ενός δορυφόρου ο οποίος έχει την δυνατότητα να εκτελεί υπηρεσίες multicast και broadcast. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να στείλουν ένα μήνυμα σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, και λόγω της μεγάλης εμβέλειας που έχουν οι δορυφόροι θα έλυνε το εν λόγω πρόβλημα με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Και τέλος αναφέραμε ότι οι δορυφόροι εκπέμπουν σε μεγάλες συχνότητες άρα μπορούν να στείλουν μεγάλο όγκο δεδομένων καθώς και να εξυπηρετήσουν μεγάλο αριθμό χρηστών με τις κατάλληλες τεχνικές.

- Το κόστος χρήσης δεν παίζει ρόλο στην απόσταση των επικοινωνούντων σταθμών επειδή δεν συνυπολογίζεται το μήκος των μη υπάρχοντων καλωδίων.
- Παρέχεται ακόμα η δυνατότητα ελέγχου του ιδιωτικού δικτύου από το χρήστη.
- Για την τηλεπικοινωνιακή κάλυψη δύσβατων περιοχών, όπου η χρήση ενσύρματων συστημάτων είναι αδύνατη ή έχει εξαιρετικά υψηλό κόστος λόγω πολλών μέτρων χάλκινων αγωγών ή αναμεταδοτών μπορεί να γίνει χρήση των δορυφόρων.
- Εκτός από τις δύσβατες και δυσπρόσιτες περιοχές, η μόνη λύση για παροχή υπηρεσιών σε πλοία, αεροπλάνα και άλλα κινούμενα οχήματα είναι η χρήση δορυφορικής σύνδεσης.
- Οι δορυφόροι καλύπτουν εύκολα απαιτήσεις εκπομπής σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων (βλ. 5.3)
- Σε περίπτωση παγκόσμιας καταστροφής, όπως είναι ο πόλεμος, των επίγειων μέσων, η δορυφορική σύνδεση είναι η μόνη λύση για επικοινωνία.
- Η εγκατάσταση ενός οικιακού εξοπλισμού είναι εύκολη και τροποποιήσιμη.
- Το συνολικό κόστος δημιουργίας ενός παγκόσμιου δικτύου με χρήση δορυφόρων είναι μικρότερο και σαφώς γρηγορότερο από την εγκατάσταση χιλιάδων καλωδίων και αναμεταδοτών.

### 2.3.2 Μειονεκτήματα

Κυρίως στη χρήση της GEO τροχιάς παρουσιάζεται ένα πρόβλημα και δεν είναι άλλο από τη χρονική καθυστέρηση που παρατηρείται κατά μήκος όλης της σύνδεσης στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι, λόγω των μεγάλων αποστάσεων. Κάτι τέτοιο δεν είναι υποφερτό ειδικά σε αμφίδρομες εφαρμογές, όπως το VoIP και το Video Conference όπου έχουμε ταυτόχρονη συνομιλία και οι καθυστερήσεις σε αυτή την περίπτωση αγγίζουν τα 250ms.

Όταν μάλιστα ο αριθμός των χρηστών υπερβεί το όριο που μπορεί να «σηκώσει» το δίκτυο τότε ξεκινούν προβλήματα αστάθειας στην ποιότητα των συνδέσεων. Αυτό γίνεται ευδιάκριτο ειδικά σε μεγάλες εταιρίες που μισθώνουν ένα πακέτο υπηρεσιών και χρησιμοποιούν συνδέσεις σε ένα κοινό δίκτυο κορμού για όλους τους εργαζομένους. Κάποιες φορές αυτό το κοινό κανάλι δεν έχει διαθέσιμους πόρους για να μπορεί να αντέξει τον φόρτο από όλους του εργαζομένους.

Είδαμε ότι οι δορυφόροι έχουν την δυνατότητα να στέλνουν ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες το ίδιο μήνυμα, όμως αυτό συνεπάγεται ότι η δορυφορική επικοινωνία είναι ευάλωτη από πλευράς ασφάλειας δεδομένων και είναι σχετικά εύκολο για κάποιον να υποκλέψει τα δεδομένα που διακινούνται, καθώς εκπέμπονται ελεύθερα στον αέρα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και σε κάποια τηλεοπτικά κανάλια που κανονικά παρέχονται μόνο σε χρήστες που μισθώνουν για αυτή τη υπηρεσία. Έτσι το φέρον αυτό σήμα εκτός της διαμόρφωσης που πρέπει να υποστεί πρέπει να κρυπτογραφηθεί και να ασφαλιστεί με κάποιες τεχνικές για την αποφυγή της τυχόν υποκλοπής του. Τέλος, η μίσθωση μιας δορυφορικής σύνδεσης έχει υψηλό το κόστος λόγω των αυξημένων εξόδων για την εκτόξευση και συντήρηση των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων. Το κόστος της σύνδεσης δεν είναι ίδιο από όλες τις εταιρίες που την παρέχουν. Συνήθως υπάρχει ογκοχρέωση (ανά Gigabyte που "κατεβαίνει" μέσω δορυφόρου, και άλλοτε η χρέωση τροποποιείται ανάλογα με τον χρόνο παραμονής μας στην οποιαδήποτε υπηρεσία ή ακόμα και τους δορυφόρους που έχει στην κατοχή της η εκάστοτε εταιρία.



- Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι συνήθως η καθυστέρηση μετάδοσης ειδικά σε ένα γεωστατικό δορυφόρο όπου όπως αναφέραμε παραπάνω είναι μεγάλη και δημιουργεί πρόβλημα στην επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- Σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της επικοινωνίας κατά τη μετάδοση παίζουν τα καιρικά φαινόμενα όπως η βροχή και ιδιαίτερα στις χαμηλές ζώνες συχνοτήτων (βλ. Παρ. 5.2.1 – L-Band).
- Λόγω της εύκολης σχετικά υποκλοπής που αναφέραμε τα δορυφορικά συστήματα χρειάζονται εξειδικευμένες τεχνικές κρυπτογράφησης και ασφάλειας.
- Λόγω του υψηλού κόστους εκτόξευσης των δορυφόρων και της δύσκολης τοποθέτησης τους σε τροχιά σε συνδυασμό με το σχετικά περιορισμένο χρόνο ζωής των διαστημικών δορυφορικών σταθμών (7-10 χρόνια), θα υπάρξει ανταγωνισμός από τις υπηρεσίες των επίγειων συνδέσεων. Οι τελευταίες θα δυσφημούν αυτό το μειονέκτημα και θα κηρύττουν εμπορικό πόλεμο για το κόστος των δορυφορικών συνδέσεων.
- Πολλές φορές η έλλειψη των απαιτούμενων δορυφόρων πάνω από μία περιοχή μπορεί να προκαλέσει μπλοκάρισμα του δικτύου σε κάποιες ζώνες συχνοτήτων και να έχουμε ανεπάρκεια υποστήριξης των χρηστών.
- Ο χρόνος ζωής ενός δορυφόρου είναι περιορισμένος καμιά φορά ανέρχεται και στα 6 χρόνια περίπου ειδικά στις ΗΕΟ τροχιές όπου ο δορυφόρος στο απόγειο του «ζει» σε αντίξοες περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Το κόστος εκτόξευσης ενός νέου δορυφόρου είναι μεγάλο και συνήθως ανεβάζει και το κόστος που πρέπει να καταβάλουν οι χρήστες του συγκεκριμένου δικτύου.

## 2.4 Ενδεικτικές εφαρμογές και υπηρεσίες

Υπάρχει μια σειρά υπηρεσιών που μπορούν να επωφεληθούν άμεσα απ' τη χρήση δορυφορικού Internet:

- Τηλε-Ιατρική
- Τηλε- Εκπαίδευση
- Τηλε-εργασία
- Μεταφορά Μεγάλου Περιεχομένου
- (Ταυτόχρονη διανομή περιεχομένου μέσω Multi-casting).

**Σημείωση:** οι υπηρεσίες αυτές είναι ενδεικτικές για την εταιρία **First Telecom** από το site [www.go-online.gr](http://www.go-online.gr) και αφορούν συνήθως επιχειρήσεις για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω.

Επίσης κάποιες εταιρίες, προσφέρουν:

- Ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο
- VoIP τηλεφωνία
- Private IP για εταιρικά intranet
- Multicast δεδομένων
- Multimedia, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας MPEG βίντεο και ψηφιακά αρχεία βίντεο
- Εκτεταμένη suite υπηρεσιών
- Ενσωματωμένη ασφάλεια δικτύου με κρυπτογράφηση εξερχόμενων και πρόσβαση «υπό όρους»
- Αποτελεσματική αξιοποίηση του εύρους inroute
- Υψηλή ταχύτητα DVB/DVB-S2 outroute
- Πλήρης σειρά ολοκληρωμένων εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων της TCP επιτάχυνσης, IP routing, και προαιρετικά " pre-fetching" περιεχομένου HTTP έλεγχο του επιπέδου της υπηρεσίας που παρέχει τη δυνατότητα να διατίθενται πολύ-επίπεδες QoS δυνατότητες
- Πλήρης σειρά απομακρυσμένων ευρυζωνικών τερματικών
- Υποστήριξη ταχύτατης εγκατάστασης και λειτουργίας δικτύου στα επιλεγμένα σημεία παρουσίας του πελάτη, σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές
- Η διάρκεια της σύμβασης μπορεί να διαρκεί 12/24/36 μήνες (διαφορετικές εκπτώσεις ισχύουν σε κάθε περίπτωση)

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η χρέωση και οι υπηρεσίες που προσφέρει η κάθε εταιρία διαφέρουν.

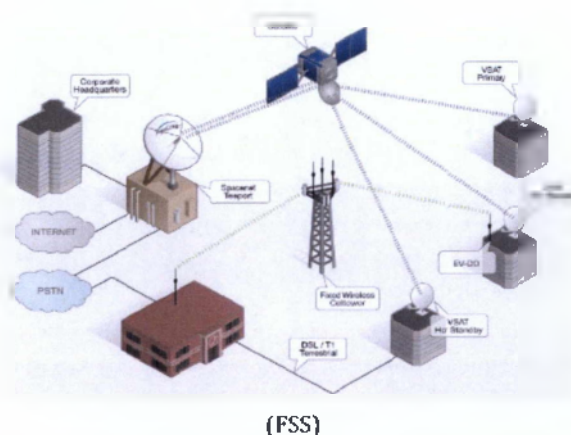
## 2.5 Κατηγορίες δορυφορικών υπηρεσιών ραδιοεπικοινωνίας

Σε αυτή την υποενότητα θα αναλυθούν οι υπηρεσίες ραδιοεπικοινωνιών που χρησιμοποιούνται για την ορθή λειτουργία των δορυφορικών συστημάτων. Οι σημαντικότερες που μας απασχολούν για το δορυφορικό διαδίκτυο καθώς και για τις νέες υπηρεσίες που θα αναφερθούν σε αυτή την εργασία προς το τέλος της, είναι οι ακόλουθες: FSS, BSS, και MSS. Και αυτές αφορούν περισσότερο την επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων για ανταλλαγή δεδομένων ή τον απευθείας τρόπο μεταφοράς δεδομένων από τους δορυφόρους προς τους χρήστες του δικτύου.

Ωστόσο υπάρχουν και άλλες κατηγορίες που είναι απαραίτητες για την σταθεροποίηση των δορυφόρων στη σωστή τροχιά με την μέτρηση της ταχύτητας κίνησης τους και για την επικοινωνία μεταξύ των διαστημικών δορυφόρων. Ακόμα για την παρατήρηση της γης, τη μέτρηση του χρόνου και της συχνότητας για τη σωστή αποστολή και λήψη τη σωστή χρονική στιγμή και άλλου τέτοιου είδους δικτυακές επεξεργασίες λειτουργίας.

### 2.5.1 Fixed satellite service (FSS)

Αυτή η υπηρεσία επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ επίγειων σταθμών που συνήθως βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη θέση και μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα σήματα που λαμβάνουν αυτοί οι σταθμοί προέρχονται από έναν ή ακόμα και από δύο ανεξάρτητους δορυφόρους που καμιά φορά ο ένας υποστηρίζει τον άλλο. Με τη σειρά τους οι σταθμοί βάσης στέλνουν το σήμα που έλαβαν σε άλλα τερματικά απευθείας ή με τη βοήθεια διαμεσολάβησης. Τα τερματικά αυτά μπορεί να είναι και μεταφερόμενοι σταθμοί οι οποίοι όμως λειτουργούν σε σταθερά σημεία.



### 2.5.2 Broadcasting satellite service (BSS)

Αυτή η υπηρεσία εκτελεί λειτουργίες εκπομπών σε ευρεία ζώνη για το κοινό. Το εκπεμπόμενο σήμα δεν στέλνεται πρώτα σε κάποιο μεσολαβητή ή άλλο δορυφόρο αλλά άμεσα από τον διαστημικό σταθμό προς πολλούς χρήστες. Οι χρήστες αυτοί πρέπει να έχουν βέβαια τον απαιτούμενο εξοπλισμό και σε ορισμένες περιπτώσεις να πληρώνουν συνδρομή για την εκάστοτε υπηρεσία (π.χ. Δορυφορικά τηλεοπτικά κανάλια).

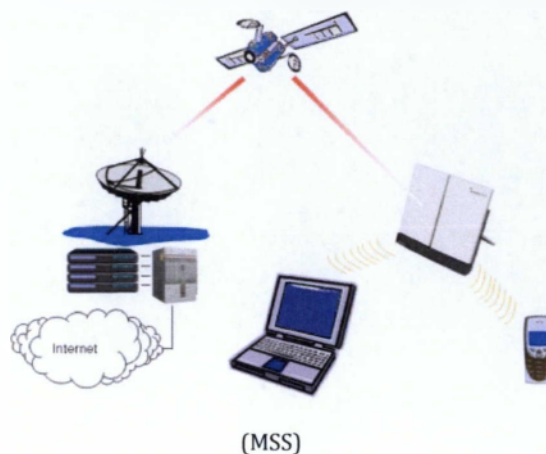


(BSS)

### 2.5.3 Mobile satellite service (MSS)

Η υπηρεσία αυτή μοιάζει αρκετά με τις παραπάνω καθώς απευθύνεται για απευθείας σύνδεση από δορυφόρο προς τα τερματικά ή μέσω κάποιων επίγειων δορυφορικών σταθμών. Οι χρήστες της συγκεκριμένης υπηρεσίας μπορεί να είναι είτε κινητοί σταθμοί (δορυφορικό κινητό τηλέφωνο ή κινούμενα οχήματα σε στεριά, αέρα και θάλασσα), είτε επίγειοι σταθεροί σταθμοί. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι είναι ή καλύτερη υπηρεσία, χωρίς βέβαια να αναιρεί τις άλλες γιατί συγκρίνοντας την με οποιαδήποτε άλλη ειδικά αν δεν είναι δορυφορική, είναι η μόνη που προσφέρει πλήρης κάλυψη και φορητότητα σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη άνευ χρήση καλωδίων.





#### 2.5.4 Άλλες κατηγορίες δορυφορικών υπηρεσιών

Μια ακόμα υπηρεσία είναι η Amateur satellite service (AmSS) η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον όχι για επαγγελματικούς λόγους, αλλά είναι ελεύθερη προς χρήση για ερασιτέχνες που επιθυμούν να ασχοληθούν με το είδος και να εκπαιδευτούν κάνοντας διατριβή σε αυτό το αντικείμενο. Θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί από κάποιο ίδρυμα για πειραματικούς, εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Η επικοινωνία και σε αυτή την κατηγορία γίνεται μεταξύ των δορυφορικών σταθμών και των επίγειων.

Άλλες τρεις κατηγορίες απαραίτητες για την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών στο χώρο του διαστήματος είναι οι: Inter satellite service (ISS) , Space operation service (SpO) και η Space research service (SRS). Η πρώτη (ISS) υφίσταται καθαρά για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δορυφορικών σταθμών στο διάστημα. Η SpO αφορά το τμήμα του δορυφόρου που ελέγχει την θέση του για να μην αποκλίνει από την τροχιά του. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που ο δορυφόρος τείνει να παρεκτραπεί από την θέση του και κατά την πρώτη φορά που τίθεται σε τροχιά μετά την εκτόξευση του. Στη δεύτερη περίπτωση η λειτουργία γίνεται ημιαυτόματα καθώς στέλνονται και βοηθητικά σήματα (σε διαφορετική συχνότητα από αυτή που θα λειτουργεί μετά) από επίγειους σταθμούς για την σωστή τοποθέτησή του στο χώρο. Και τέλος η SRS απαιτείται για την επικοινωνία διαστημόπλοιων με άλλους δορυφόρους. Με την χρήση αυτής επιτυγχάνεται η ζεύξη μεταξύ των ανθρώπων στο διάστημα με τη γη.

Η υπηρεσία ραδιοεπικοινωνιών Earth exploration satellite service (EESS), έχει αρκετές ομοιότητες με την (ISS) καθώς υποστηρίζει την διαδορυφορική επικοινωνία αλλά ταυτόχρονα και με άλλους επίγειους σταθμούς. Μέσω κάποιων αισθητήριων οργάνων στους δορυφόρους συλλέγονται σημαντικές πληροφορίες

για τα χαρακτηριστικά και τις κλιματικές και γεωγραφικές αλλαγές στη γη και στέλνονται στους επίγειους σταθμούς για επεξεργασία.

Υπάρχουν ακόμα δύο κατηγορίες που προορίζονται για την σωστή αποστολή και λήψη των δεδομένων από διαφορετική σκοπιά η καθεμία. Πιο συγκεκριμένα η Radio determination service (RDSS) σύμφωνα με τις ιδιότητες διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ελέγχοντας τη θέση και την ταχύτητα κίνησης των σταθμών προσαρμόζει τα συστήματα λήψης και μετάδοσης ώστε να μην υπάρχουν λάθη. Τα σήματα αυτά βοηθούν στη σωστή πλοήγηση των κινούμενων οχημάτων σε στεριά, θάλασσα και αέρα. Χάρη στην υπηρεσία αυτή λειτουργεί και το GPS (Global Positioning System) για τη στεριά με σήματα RNSS (Radio Navigation Satellite Services). Τα σήματα για την πλοήγηση στην θάλασσα και στον αέρα είναι τα (MRNSS) και (AeRNSS) αντίστοιχα. Και τέλος η άλλη κατηγορία υπηρεσιών είναι η Standard frequency & time signal satellite service (SFSS). Λόγω των μεγάλων αποστάσεων ειδικά για τις διηπειρωτικές ζεύξεις και των διαφορετικών προτύπων που χρησιμοποιεί η Ευρώπη και η Αμερική για παράδειγμα στους χρονισμούς των σημάτων δημιουργούνται διάφορα προβλήματα καθυστέρησης των σημάτων αυτών. Έτσι λοιπόν η SFSS παρακολουθεί τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης και κυρίως της συχνότητας (βάση ιδιοτήτων διάδοσης του κύματος και απόστασης) και αναμεταδίδει υπολογίζοντας τις σωστές χρονικές στιγμές για την εξάλειψη του προβλήματος.

### 3. Οι δορυφόροι και η χρησιμότητά τους

Ο όρος δορυφόρος προέρχεται από την αρχαιότητα όπου ένας οπλισμένος στρατιώτης, αποτελούσε μέλος της σωματοφυλακής ενός άρχοντα και τον φρουρούσε τοποθετημένος σε μια νοητή τροχιά γύρω του. Σημσιολογικά ο φυσικός δορυφόρος είναι ένα ουράνιο σώμα που κινείται γύρω από τον ήλιο. Από εκεί πήραν και το όνομά τους και οι τεχνητοί δορυφόροι που έχει κατασκευάσει ο άνθρωπος. Είναι δηλαδή ένα διαστημικό όχημα που μπαίνει σε τροχιά γύρω από τη γη και κατά ένα μέρος κατευθύνεται και ελέγχεται από ένα επίγειο σταθμό. Οι δορυφόροι πρέπει να είναι ανθεκτικοί εξαιτίας των καιρικών φαινομένων που επικρατούν στο διάστημα αλλά και να έχουν μικρό όγκο και βάρος για να είναι εφικτή η τοποθέτησή τους στο διάστημα. Επίσης σημαντική είναι η τοποθέτηση κεραιών με μεγάλη απολαβή ώστε να μεταδίδεται το σήμα, πράγμα που απαιτεί και υψηλά ποσοστά παροχής ενέργειας. Έτσι εκτός του μηχανολόγων μηχανικών χρειάστηκαν και άλλοι τομείς για να εκτοξεύσουμε και να θέσουμε σε τροχιά ένα δορυφόρο. Χρειάστηκαν μετεωρολόγοι και παρατηρητές του διαστήματος για να μπορέσει να κατασκευαστεί ένα τέτοιο επίτευγμα ώστε να μην είναι τρωτό στις αντίξοες συνθήκες. Απαραίτητη δε ήταν η συμβολή των φυσικών για να υπολογιστεί η ταχύτητα, η τριβή, η κίνηση της γης και πολλά άλλα, όπως και οι πυρηνικοί φυσικοί οι οποίοι συνέβαλαν στην πυρηνική ενέργεια που χρησιμοποιούν οι δορυφόροι για να εκτελούν τις λειτουργίες τους.

Ανάλογα τις υπηρεσίες που αποσκοπεί ο κάθε δορυφόρος, έχουν δημιουργηθεί κάποιες κατηγορίες όπως θα δούμε και παρακάτω. Για παράδειγμα ένας τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, κατά κύριο λόγο ασχολείται με την μεταφορά κάθε είδους δεδομένων. Αυτές τις υπηρεσίες μπορεί να τις παρέχει σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα και σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Όπως είχε αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο η παροχή υπηρεσιών δεν σταματά εκεί που δεν μπορούν να φτάσουν τα ενσύρματα μέσα και οι απλές ασύρματες επικοινωνίες. Έτσι έχουμε την δυνατότητα να διασυνδεθούν ευρείς και δυσπρόσιτες περιοχές και κινητά οχήματα (multicast) με τις υπηρεσίες που αναφέρθηκαν στην (Παρ. 2.5). Σε συνδυασμό με τους αστερισμούς (είδη διάταξης δορυφόρων στο χώρο (βλ. 3.4) και τις υπάρχουσες τροχιές που θα δούμε (Κεφ. 4) πετυχαίνουμε υπηρεσίες τηλεφωνίας, ραδιοφωνίας, διαδικτύου, τηλεοπτικές και ένα σωρό άλλες. Και όλα αυτά αποφεύγοντας τα προβλήματα περί θορύβου, ογκώδους καλωδίωσης και άλλα που θα είχαμε στην περίπτωση της ενσύρματης επικοινωνίας που και πάλι δεν μπορεί να μας τις προσφέρει όλες αυτές με την ίδια ευχέρεια και ταχύτητα. Σήμερα, η εξοικείωση των ηλεκτρονικών μηχανικών με τη δορυφορική τεχνολογία, τις δορυφορικές επικοινωνίες και τις δορυφορικές ζεύξεις καθίσταται αναγκαία, καθώς οι δορυφορικές τηλεπικοινωνίες αναμένεται να παίζουν συνεχώς μεγαλύτερο ρόλο στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Οι δορυφόροι έχουν προωθήσει σημαντικά την επικοινωνία με την δημιουργία παγκόσμιων τηλεφωνικών συνδέσεων, ενώ χάρη σε αυτούς γίνονται εφικτές ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές μεταδόσεις σε πραγματικό χρόνο. Σαν γενική λειτουργία, ένας

δορυφόρος λαμβάνει σήμα μικροκυμάτων από έναν επίγειο σταθμό (uplink), κατόπιν ενισχύει και αναμεταδίδει το σήμα σε έναν σταθμό λήψης στη γη σε διαφορετική συχνότητα δηλαδή κατά τη κατιούσα σύνδεση (downlink). Αυτό για να πραγματοποιηθεί μπορεί να μεσολαβήσει και άλλος δορυφόρος στη σύνδεση. Ένας δορυφόρος επικοινωνίας τοποθετείται σε γεωσύγχρονη τροχιά (βλ. Παρ. 3.3 - GEO), πράγμα που σημαίνει ότι τίθεται σε τροχιά με την ίδια ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η Γη. Ο δορυφόρος μένει στην ίδια θέση σχετικά με την επιφάνεια της Γης, έτσι ώστε ο σταθμός αναμετάδοσης δεν θα χάσει ποτέ την επαφή με τον δέκτη έτσι δεν θα χάσουμε ποτέ το σήμα. Αρκετές φορές υπάρχει και η κινητικότητα μεταξύ των δορυφόρων, όταν λόγω φόρτου ή μειωμένης κάλυψης ο ένας δορυφόρος μεταφέρει την συνέχιση της δορυφορικής κλήσης σε έναν άλλο. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στη χαμηλή τροχιά (λόγω μικρών καθυστερήσεων), στον αστερισμό Iridium από κάποιες εταιρίες. Με αυτά που έχουν ειπωθεί μέχρι στιγμής, γίνεται νομίζω κατανοητό το όφελος που μας προσφέρουν.

### 3.1 Τύποι- Κατηγορίες Δορυφόρων

Υπάρχουν πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς και όσο περνάει ο καιρός εξελίσσονται ακόμα περισσότερο και «γεννιούνται» νέες. Για παράδειγμα η πρόβλεψη καιρού, η χαρτογράφηση περιοχών, τα συστήματα πλοήγησης, η παρατήρηση της γης και η διαστημική έρευνα. Ακόμα επιστημονικές και στρατιωτικές υπηρεσίες και η υλοποίηση τηλεπικοινωνιακών δικτύων τηλεφωνίας και διαδικτύου είναι μερικές που κυριολεκτικά μας «έχουν λύσει τα χέρια» και μας προσφέρουν απεριόριστες ανέσεις. Η βασική πρόκληση για τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπολογιστών νέας γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών ευρείας ζώνης, αδιάλειπτα στο χώρο και το χρόνο, ακόμα και σε κινητούς χρήστες. Τα δορυφορικά δίκτυα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο πλαίσιο αυτό καθώς διαθέτουν την μοναδική ιδιότητα να καλύπτουν μεγάλες περιοχές της γήινης επιφάνειας, επιτρέποντας έτσι την επικοινωνία σε διασκορπισμένα γεωγραφικά σημεία ανά τον κόσμο. Έτσι οι δορυφόροι ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρουν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Επικοινωνιακοί δορυφόροι (communication satellites)
- Δορυφόροι πλοήγησης (navigation satellites)
- Μετεωρολογικοί δορυφόροι (weather forecasting satellites )
- Δορυφόροι παρατήρησης της Γης (Earth observation satellites)
- Επιστημονικοί δορυφόροι (scientific satellites)
- Στρατιωτικοί δορυφόροι (military satellites)



### 3.1.1 Εμπορικοί τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι

Οι εμπορικοί δορυφόροι παρέχουν ένα ευρύ φάσμα των υπηρεσιών επικοινωνιών. Τα τηλεοπτικά προγράμματα αναμεταδίδονται διεθνώς, προκαλώντας το φαινόμενο γνωστό ως «παγκόσμιο χωριό». Οι δορυφόροι αναμεταδίδουν προγράμματα στα συστήματα καλωδιακών τηλεοράσεων καθώς επίσης και στα σπίτια που εξοπλίζονται με δορυφορικές κεραιές (πιάτα). Επιπλέον, τα πολύ μικρά τερματικά (VSATs) αναμεταδίδουν τα ψηφιακά στοιχεία για ένα πλήθος επιχειρησιακών υπηρεσιών. Οι δορυφόροι INTELSAT διαθέτουν 100.000 τηλεφωνικά κυκλώματα, με την αυξανόμενη χρήση της ψηφιακής μετάδοσης. Οι ψηφιακές μέθοδοι κωδικοποίησης πηγής έχουν οδηγήσει σε δεκαπλάσια μείωση του ποσοστού μετάδοσης που απαιτείται για να μεταφερθεί ένα κανάλι φωνής, ενισχύοντας, κατά συνέπεια, την ικανότητα των υπαρχουσών εγκαταστάσεων και μειώνοντας το μέγεθος των επίγειων σταθμών που παρέχουν την τηλεφωνική υπηρεσία διεθνής κινητός δορυφορικός οργανισμός (INMARSAT), που ιδρύεται το 1979 ως διεθνής θαλάσσιος δορυφορικός οργανισμός, είναι ένα κινητό δίκτυο τηλεπικοινωνιών, που παρέχει τις συνδέσεις ψηφιακών στοιχείων, το τηλέφωνο, και τη μετάδοση αντιγράφων, ή με φαξ, την υπηρεσία μεταξύ των σκαφών, τις παράκτιες εγκαταστάσεις, και τους με βάση την παράκτια περιοχή σταθμούς σε όλο τον κόσμο. Επίσης τώρα επεκτείνει τις δορυφορικές συνδέσεις για τη φωνή και τη μετάδοση φαξ στα αεροσκάφη στις διεθνείς διαδρομές.

### 3.1.2 Μέθοδοι βελτίωσης δορυφορικών επικοινωνιών

Για την βελτίωση της απόδοσης των υπηρεσιών των δορυφορικών συστημάτων από το ξεκίνημα τους μέχρι και σήμερα έχουν δημιουργηθεί και εξελιχθεί πολλές μέθοδοι. Κατά κύριο λόγο αυτές οι μέθοδοι δημιουργήθηκαν για να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο το κανάλι επικοινωνίας με την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και τον διαμερισμό του σε χρονικές στιγμές, συχνότητες και διαφορετικές πολώσεις. Οι χρήστες αυτών των συστημάτων ολοένα και αυξάνονται έτσι οδηγηθήκαμε στην ανάγκη εξυπηρέτησης τους. Αυτές οι τεχνικές που θα αναφερθούν χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις ασύρματες μεταδόσεις σημάτων και όχι μόνο στις δορυφορικές. Τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών εισήγαγαν μεγάλες περιόδους μετάβασης λόγω του μεγάλου μήκους και ανεκμετάλλευτου καναλιού, αυτό έπρεπε να διορθωθεί. Αυτό ήταν ιδιαίτερα αισθητό στις από σημείο προς σημείο (point-to-point) επικοινωνίες μεταξύ των δορυφόρων και των μεγάλων, δαπανηρών επίγειων τερματικών, και στις σημείο προς πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) επικοινωνίες, αλλά εδώ με μικρότερου όγκου κανάλι λόγω της διαίρεσης του σε πιο μικρά, άρα και με μικρότερα και χαμηλότερου κόστους επίγεια τερματικά-σταθμούς. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Time Division Multiple Access (TDMA). Με αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνταν κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες για την ανερχόμενη και οι αντίστοιχες για την κατερχόμενη ζεύξη. Εδώ για την επίτευξη της πολλαπλής πρόσβασης γίνεται διαίρεση του χρόνου (χρονοθυρίδες) όπως προδίδει και το όνομά της. Δηλαδή ο κάθε χρήστης παίρνει μέρος στη ζεύξη σε συγκεκριμένες χρονοθυρίδες και όλη την υπόλοιπη ώρα εκτελεί άλλες λειτουργίες

μέχρι να έρθει και πάλι η σειρά του. Φυσικά τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές που ο προαναφερόμενος χρήστης δεν στέλνει ή λαμβάνει τις χρησιμοποιούν άλλοι. Έτσι με το ίδιο εύρος φάσματος και την ίδια κατανάλωση ενέργειας από τον δορυφόρο εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται και στο GSM (παγκόσμια κινητή τηλεφωνία). Μια άλλη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης επιτυγχάνεται με την διαίρεση της συχνότητας, Frequency Division Multiple Access (FDMA). Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στους δορυφόρους να επικοινωνήσουν με διάφορους επίγειους σταθμούς χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα κατά το πέρασμα του χρόνου. Αντίθετα όμως με την προηγούμενη που αναφέραμε, αυτή που δέχεται διαμερισμό είναι η συχνότητα. Έτσι έχουμε την βασική φέρουσα σήματος για την επικοινωνία η οποία τεμαχίζεται σε μικρότερες (πιο στενές από πλευράς φάσματος) υποφέρουσες για την χρησιμοποίησή τους από πολλούς χρήστες. Υπάρχουν και άλλες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης για παράδειγμα CDMA, QAM και άλλες που θα αναφερθούν σε επόμενο κεφάλαιο μαζί με τις ήδη αναφερθείσες για την περαιτέρω ανάλυση τους. Όλες τους χρησιμοποιούνται κυρίως στις ασύρματες γενικά επικοινωνίες και αποτελούν μέρος των ψηφιακών διαμορφώσεων και όχι των αναλογικών τουλάχιστον για τις δορυφορικές ζεύξεις. Κάθε μία έχει και τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και πολλές φορές γίνεται συνδυασμός των μεθόδων για την καλύτερη απόδοση ενός συστήματος επικοινωνιών. Για να λειτουργήσουν αρμονικά μεταξύ τους επειδή δεν μιλάμε για καλώδια αλλά για ένα κοινό μέσο μετάδοσης, έπρεπε να δημιουργηθούν κάποια πρότυπα όπως το ALOHA και άλλα πρωτόκολλα που θα αναφέρουμε παρακάτω. Οι δορυφορικές κεραίες δεν έχουν σχεδιαστεί για μία συγκεκριμένη ζώνη και μπορούν να λάβουν και να στείλουν κάποια σήματα σε διαφορετικές συχνότητες, πλώσεις και διαμορφώσεις. Μπορούν επίσης να ρυθμίζουν την κατεύθυνση αποστολής ώστε να χρησιμοποιείται η μικρότερη δυνατή κατανάλωση ισχύος ρυθμίζοντας το πλάτος του σήματος. Η ισχύς ενός σήματος εξαρτάται μόνο από το πλάτος του και όχι από τη συχνότητα ή τον τύπο διαμόρφωσης του. Έτσι με τον ίδιο ανακλαστήρα γίνεται η κατάλληλη ρύθμιση του πλάτους ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής που θέλουμε να καλύψουμε μια ζεύξη ή την απόσταση που πρέπει να διανύσει το μεταδιδόμενο κύμα. Μια τεχνική σχετικά νέα για την επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων και επίγειων σταθμών είναι η χρήση ακτινών λέιζερ. Συνήθως γίνεται εκπομπή στα 500nm ( $10^{-9}$ ) όπου αντιστοιχεί περίπου μεταξύ των ζωνών του πράσινου και του γαλάζιου του ορατού φάσματος συχνοτήτων. Το μήκος κύματος ( $\lambda$ ) είναι η απόσταση μεταξύ 2 διαδοχικών μεγίστων ή ελαχίστων του κύματος και είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας ( $f$ ), ( $\lambda=c/f$ ) όπου ( $c=3*10^8$  m/s) είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός. Από αυτά συνεπάγεται ότι το παραπάνω  $\lambda$  που αναφέραμε αντιστοιχεί στην συχνότητα των  $600*10^{12}$  Hz ή 600 THz. Σε αυτή την πολύ υψηλή συχνότητα λόγω του δείκτη διάθλασης και άλλων ιδιοτήτων διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ποσοστό μετάδοσης είναι πολύ χαμηλό επειδή ένα μεγάλο ποσό του απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Άρα η τεχνική αυτή δεν είναι πολύ αποτελεσματική για τις μεταδόσεις γενικά, αλλά χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων και των υποβρυχίων επειδή μπορεί να διαχέεται στο νερό χωρίς να εξασθενεί πάρα πολύ. Παρακάτω θα δούμε στις τροχιές ότι με τη χρήση των χαμηλών τροχιών (LEO) και το σύστημα διάταξης-αστερισμού Iridium μπορούμε να πετύχουμε παγκόσμια κάλυψη για την κινητή τηλεφωνία. Το είχαμε αναφέρει αυτό και στο προηγούμενο κεφάλαιο όταν εξηγήθηκε η χρησιμότητα των δορυφόρων και των πλεονεκτημάτων τους. Αυτή βέβαια η υπηρεσία χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου δεν

έχουμε άλλο τρόπο επικοινωνίας λόγω του υψηλού κόστους συνδρομής, χρεώσεων ανά λεπτό ομιλίας, αλλά και του πολύ ακριβού δορυφορικού τηλεφώνου που λειτουργεί μόνο σε συγκεκριμένες ζώνες της αντίστοιχης εταιρίας που παρέχει την υπηρεσία αυτή.

### 3.2 Τμήματα δορυφόρων

Η ανάλυση που έχουμε κάνει πάνω στους δορυφόρους, μας προϊδεάζει ότι είναι ένα πολύπλοκο εξάρτημα με αυξημένη τεχνολογία και αρκετές απαιτήσεις επειδή πρέπει να καλύψει πολλές εφαρμογές και αρμοδιότητες. Πρέπει να έχει αυξημένη μηχανική αντοχή με όσο το δυνατόν μικρότερο μέγεθος για την εύκολη εκτόξευση του. Στο μικρό αυτό μέγεθος πρέπει να χωρέσουν οι κεραίες καθώς και άλλα συστήματα για την επικοινωνία, την σταθερότητα της θέσης του σε τροχιά και πολλά άλλα. Για να εκτελεί όλες αυτές τις λειτουργίες πρέπει να του παρέχεται και η αντίστοιχη ενέργεια όπου την περισσότερη την παίρνει από τον ήλιο και ένας μέρος από άλλες πηγές όπως η πυρηνική και μπαταρίες που διαθέτει οι οποίες έχουν την δυνατότητα να επαναφορτίζονται. Έτσι λοιπόν ένας δορυφόρος αποτελείται από:

- Κυρίως σώμα
- Όργανα - Συσκευές για την σταθεροποίηση του δορυφόρου σε τροχιά
- Πηγές παροχής ενέργειας
  - Σύστημα επικοινωνίας
  - Υπολογιστικό σύστημα

#### 3.2.1 Κυρίως σώμα

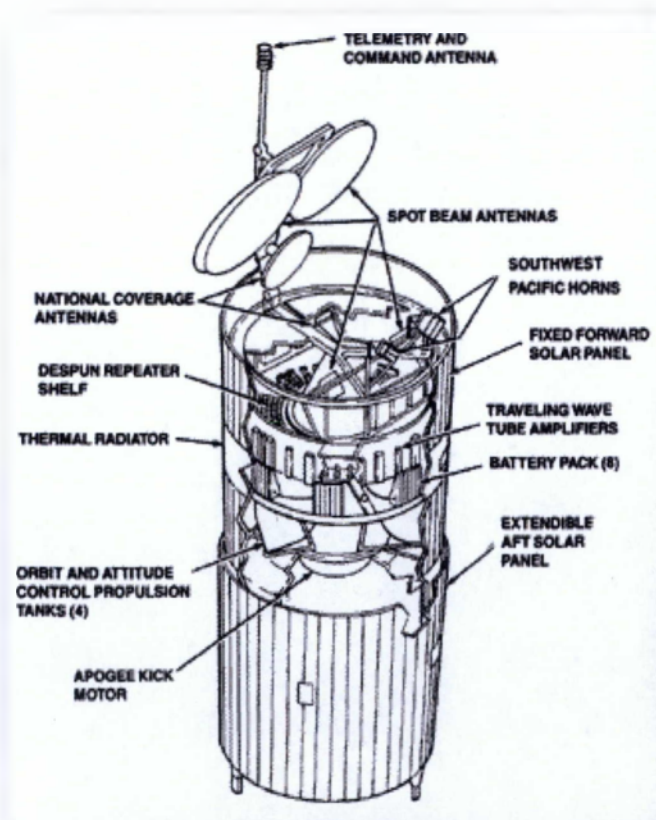
Το σώμα ενός δορυφόρου, επίσης γνωστό ως λεωφορείο του δορυφόρου, περιέχει όλο τον επιστημονικό εξοπλισμό και άλλα απαραίτητα συστατικά του δορυφόρου. Οι δορυφόροι συνδυάζουν πολλά διαφορετικά υλικά που αποτελούν τα συστατικά μέρη τους. Δεδομένου ότι οι δορυφόροι είναι ουσιαστικά κομμάτια του επιστημονικού ή εξοπλισμού επικοινωνιών που πρέπει να πάει στο διάστημα, οι μηχανικοί πρέπει να σχεδιάσουν ένα λεωφορείο που θα μεταφέρει τον εξοπλισμό ακίνδυνα στο διάστημα.

Υπάρχουν διάφοροι σημεία που οι μηχανικοί πρέπει να προσέξουν κατά την επιλογή των υλικών για το λεωφορείο του δορυφόρου. Μεταξύ αυτών είναι:



- Εξωτερικό στρώμα: προστατεύει το δορυφόρο από τις συγκρούσεις με μικρομετεωρίτες ή άλλα μόρια που αιωρούνται στο διάστημα
- Αντιραδιενεργή προστασία: προστασία του δορυφόρου από την ακτινοβολία του ήλιου
- Θερμική κάλυψη: χρησιμοποίηση της θερμικής κάλυψης για να διατηρείται ο δορυφόρος στην ιδανική θερμοκρασία που χρειάζονται τα όργανα για να λειτουργήσουν ομαλά
- Σύστημα απομάκρυνσης της θερμότητας μακριά από τα ζωτικής σημασίας όργανα του δορυφόρου
- Δομική υποστήριξη
- Σύνδεση των υλικών

Γενικά, όσο μικρότερος είναι ένας δορυφόρος, τόσο καλύτερος είναι. Κατά την επιλογή των υλικών για το κυρίως σώμα του, συνήθως λαμβάνονται υπόψη και οι ακόλουθοι παράγοντες: κόστος, βάρος, μακροζωία (πόσο καιρό θα αντέξει το υλικό), και εάν το υλικό έχει αποδειχθεί λειτουργικό σε άλλους δορυφόρους πριν.



Κυρίως σώμα δορυφόρου



### 3.2.2 Έλεγχος Θέσης στην Τροχιά

Επειδή ακόμα και στο διάστημα υπάρχουν τριβές και διάφορα μικροαντικείμενα που κινούνται στο διάστημα, μπορεί να εκτρέψουν τον δορυφόρο από την κανονική του θέση σε τροχιά. Για αυτούς τους λόγους χρειάζονται κάποια συστήματα ώστε να τον κρατούν σταθερό στην επιθυμητή του θέση. Οι ενέργειες που ακολουθούνται για να πραγματοποιηθεί αυτό γίνονται κατά ένα μέρος από τον ίδιο τον δορυφόρο ή από σταθμούς βάσης στη γη ειδικά κατά την πρώτη φορά μετά την εκτόξευση. Συνήθως οι συχνότητες επικοινωνίας για την σταθεροποίηση είναι διαφορετικές από αυτές που θα χρησιμοποιεί ο δορυφόρος μετά για ανταλλαγή δεδομένων.

Τεχνικές για τη σταθεροποίηση ενός δορυφόρου:

- Με χρήση πηνίων από τα οποία περνάει ηλεκτρικό ρεύμα. Απαιτούνται ηλιακοί συλλέκτες για την παροχή ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται σε μπαταρίες (βλ. 3.2.3) που βρίσκονται στο εσωτερικό του δορυφόρου.
- Με χρήση προωθητηρίων. Με αυτό τον τρόπο αλλάζει η ταχύτητα και η κατεύθυνση κίνησης του δορυφόρου κατάλληλα ώστε να μην παρεκκλίνει από την επιθυμητή του θέση.

### 3.2.3 Πηγές ενέργειας

Κάθε δορυφόρος χρειάζεται κάποια πηγή ενέργειας η οποία να τον τροφοδοτεί για να επιτελέσει όλες του τις λειτουργίες. Χωρίς αυτές δεν θα λειτουργούσαν οι κεραίες για την ύπαρξη επικοινωνίας και ο δορυφόρος κάποια στιγμή θα έβγαινε από τη τροχιά του καθώς δεν θα λειτουργούσε το υπολογιστικό σύστημα το οποίο ελέγχει όλες του τις λειτουργίες. Έτσι για την παροχή ενέργειας χρησιμοποιούνται:

- Ηλιακοί Συλλέκτες που μετατρέπουν την ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια
- Μπαταρίες που αποθηκεύουν την ηλιακή και θερμική ενέργεια που έχει μετατραπεί σε ηλεκτρική
- Πυρηνική ενέργεια μέσω θερμοηλεκτρικών γεννητριών ραδιοϊσοτόπων.
- Παραβολικό πιάτο που αντανakλά τη θερμότητα του ήλιου σε ένα boiler που κάνει τη μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι ηλιακοί συλλέκτες και το παραβολικό πιάτο χρησιμοποιούν την ενέργεια από τον ήλιο, αλλά οι πρώτοι μαζεύουν την ηλιακή ακτινοβολία και το παραβολικό πιάτο την θερμότητα του ήλιου για να την μετατρέψουν μετά σε ηλεκτρική.

### 3.2.4 Επικοινωνιακό σύστημα

Όλοι οι δορυφόροι πρέπει να έχουν μερικούς τρόπους επικοινωνίας με τη Γη, καθώς ο δορυφόρος πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνει οδηγίες και να διαβιβάζει πληροφορίες που συλλέγει, αλλά και να μπορεί να αναμεταδώσει τις πληροφορίες που στέλνονται σε αυτόν σε μια άλλη περιοχή στη γη. Αυτό γίνεται γενικά χρησιμοποιώντας κάποιο τύπο κεραίας.

Οι κεραίες είναι απλό κομμάτι του εξοπλισμού, που επιτρέπει τη μετάδοση και την υποδοχή των ραδιοσημάτων. Δεδομένου ότι οι πληροφορίες μεταδίδονται χρησιμοποιώντας τα ραδιοκύματα, τα οποία κινούνται με την ταχύτητα του φωτός, αυτή η μέθοδος επιτρέπει πολύ γρήγορες επικοινωνίες, με μία πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση.

Τύποι κεραίων:

- Κλασική κεραία. Είναι ένας συρμάτινος αγωγός με μήκος ανάλογο του μήκους κύματος του σήματος. (συνήθως  $\lambda/4$ )
- Παραβολικού δίσκου (όπως είναι το σχήμα των περισσότερων επίγειων)
- Δικτυωτές κεραίες - patch array antennas (μοιάζουν με τις παραπάνω αλλά είναι φτιαγμένες από πλέγμα και όχι από συμπαγή υλικό)
- Inflatable antennas. Μοιάζουν με επίπεδο αλεξιπτωτο. (παρόμοιες είχαν οι πρώτοι παθητικοί τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι σε σχήμα τυμπάνου)

### 3.2.5 Υπολογιστικό σύστημα

Το υπολογιστικό σύστημα ενός δορυφόρου πραγματοποιεί τις μετρήσεις, καταγράφει τις ενέργειες του δορυφόρου, ελέγχει τη θέση του και ότι άλλο αφορά τον έλεγχο της θέσης του. Επίσης είναι αρμόδιο για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, ώστε να επεξεργαστούν και να μεταδοθούν με την σωστή διαμόρφωση. Εδώ επίσης επιλέγεται το είδος καθώς και η απολαβή της κεραίας ανάλογα την απόσταση μετάδοσης. Ακόμα σε αυτό το τμήμα του δορυφόρου ανήκει και το σύστημα τηλεμετρίας, ανίχνευσης και ελέγχου (telemetry tracking & control), όπου εκτελεί τις παραπάνω εφαρμογές καθώς και την εστίαση της κάμερας για δορυφορικές αεροφωτογραφίες για την παρατήρηση της γης. Και τέλος χάρη σε αυτό λειτουργούν τελευταίας τεχνολογίας υπηρεσίες όπως το σύστημα GPS.

### 3.3 Οι πρώτοι Τηλεπικοινωνιακοί Δορυφόροι

**Τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος** ονομάζεται ο μη επανδρωμένος τεχνητός δορυφόρος (*unmanned artificial satellite*), μέσω του οποίου παρέχονται υπηρεσίες μεγάλων αποστάσεων, όπως τηλεοπτικής και ραδιοφωνικής μετάδοσης, τηλεφωνικών επικοινωνιών και συνδέσεων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι δορυφόροι έχουν τη μοναδική δυνατότητα να παρέχουν κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών και να διασυνδέουν μακρινούς και δυσπρόσιτους τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και γι' αυτό τα δορυφορικά δίκτυα αποτελούν σήμερα αναπόσπαστο τμήμα των περισσότερων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία των δορυφορικών συστημάτων συνεχώς προοδεύει και η χρήση γεωσύγχρονων δορυφόρων για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων αναπτύσσεται ταχύτατα.

Σήμερα, η εξοικείωση των ηλεκτρονικών μηχανικών με τη δορυφορική τεχνολογία, τις δορυφορικές επικοινωνίες και τις δορυφορικές ζεύξεις καθίσταται αναγκαία, καθώς οι δορυφορικές τηλεπικοινωνίες αναμένεται να παίζουν συνεχώς μεγαλύτερο ρόλο στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Οι δορυφόροι έχουν προωθήσει σημαντικά την επικοινωνία με την δημιουργία παγκόσμιων τηλεφωνικών συνδέσεων, ενώ χάρη σε αυτούς γίνονται εφικτές ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές μεταδόσεις σε πραγματικό χρόνο. Ένας δορυφόρος λαμβάνει σήμα μικροκυμάτων από έναν επίγειο σταθμό (*uplink*), κατόπιν ενισχύει και αναμεταδίδει το σήμα σε έναν σταθμό λήψης στη γη σε διαφορετική συχνότητα (η κατιούσα σύνδεση). Ένας δορυφόρος επικοινωνίας τοποθετείται σε γεωσύγχρονη τροχιά, πράγμα που σημαίνει ότι τίθεται σε τροχιά με την ίδια ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η Γη. Ο δορυφόρος μένει στην ίδια θέση σχετικά με την επιφάνεια της Γης, έτσι ώστε ο σταθμός αναμετάδοσης δεν θα χάσει ποτέ την επαφή με τον δέκτη.

#### 3.3.1 Σειρά Άτλας

Ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος ήταν της σειράς Άτλας που μετά από κάποιες προσπάθειες (μισές αποτυχημένες) κατάφερε να εκτοξευτεί για πρώτη φορά στις 11 Ιουνίου το 1957 (Άτλας 1) με τη βοήθεια της εταιρίας βαλλιστικών όπλων (ICBM). Όλη σχεδόν η σειρά των δορυφόρων Άτλας δημιουργήθηκαν υπό το σχέδιο SCORE (Signal Communications Orbit Relay Equipment) που αφορούσε τους πρώτους δορυφόρους τηλεπικοινωνιών. Μέχρι και τους επόμενους δύο δορυφόρους της σειράς αυτής η σχεδίαση ήταν ίδια σε πολλά μέρη των δορυφόρων. Πολύ αργότερα είχε εξελιχθεί η τεχνολογία τους και δεν λειτουργούσαν μόνο με παθητικό τρόπο. Ειδικότερα στον Άτλας 5 που ξεκίνησαν οι δοκιμαστικές του πτήσεις το 2002, σε τροχιά πιο χαμηλή και από τη Leo. Στην συνέχεια



σχεδιάστηκαν και σχεδιάζονται και άλλοι που ακόμα και σήμερα είναι στην σειρά αναμονής δοκιμών □ βάση προγράμματος μέχρι και το 2012 με ονόματα Άτλας 401, 501, 531 και άλλα. Οι νέοι εξελιγμένοι δορυφόροι έρχονται με περισσότερες προσδοκίες καθώς θα πετάνε στον ουρανό σε όλες τις δυνατές τροχιές.

### 3.3.2 Δορυφόροι Echo 1 & 2

Οι Echo 1 και 2 ήταν πρώτοι δορυφόροι επικοινωνιών που εκτοξεύτηκαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες στις αρχές της δεκαετίας του '60. Τα μεγάλα αυτά μπαλόνια μετέδιδαν τα ραδιοσήματα πίσω στη γη. Οι δορυφόροι Echo προετοίμασαν το έδαφος για τους πιο πρόσφατους και πιο περίπλοκους δορυφόρους επικοινωνιών. Ήταν και αυτοί παθητικοί δορυφόροι όπου είχαν κεραίες με σχήμα μεγάλου μπαλονιού για να μπορούν να μεταδώσουν ξανά πίσω στη γη τα σήματα που λάμβαναν ώστε να μην χαθούν στο υπερπέραν. Ο «Echo 1», που εκτοξεύθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες το 1960, κατασκευάστηκε από επαργυρωμένο πλαστικό μπαλόνι διαμέτρου 30 μ. Το 1964 ακολούθησε ο «Echo 2» με 41 μ. διάμετρο. Ο τρόπος κατασκευής τους και ειδικότερα αυτής της κεραίας-μπαλόνι δεν τους επέτρεπε πολύ αποδοτική μετάδοση γιατί χρειαζόνταν πανίσχυρος εξοπλισμός στη γη για να σταλθεί ένα πολύ ισχυρό σήμα ικανό να φτάσει στην μικρής απόδοσης κεραία του δορυφόρου. Αυτό συνεπάγεται αυξημένη κατανάλωση ισχύος αλλά και κόστος. Επίσης για την λήψη αντίστοιχα των σημάτων στη γη ήταν απαραίτητη η χρήση πολύ μεγάλων επίγειων κεραιών. Δεν έπαψαν όμως να είναι οι πρώτοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι που άνοιξαν το δρόμο για τους μεταγενέστερους.

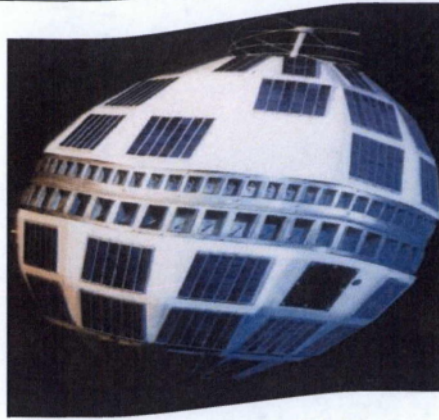


ECHO 1

### 3.3.3 Δορυφόρο Telstar

Ο Telstar ήταν ένας από τους πρώτους ενεργούς δορυφόρους επικοινωνιών. Εκτοξεύτηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες το 1962. Μετέδωσε τις πρώτες ζωντανές τηλεοπτικές εικόνες μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης, και θα μπορούσε επίσης να μεταδώσει τηλεφωνικές κλήσεις. Κατάφερε δηλαδή να ενώσει δύο ηπείρους.

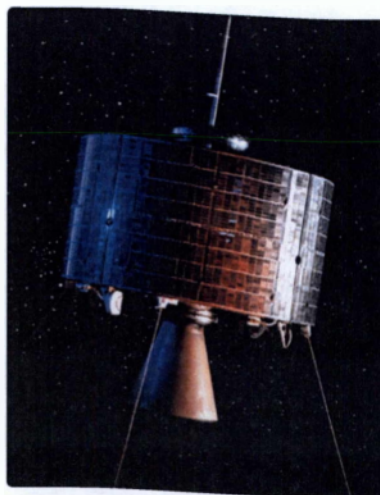




Telstar

### 3.3.4 Δορυφόρο Syncom 4

Ο δορυφόρος επικοινωνιών Syncom 4 εκτοξεύτηκε το 1964 από διαστημικό λεωφορείο. Τα διαστημικά λεωφορεία εκτοξεύονται και μετά αφήνουν στο ουρανό τμήματα τους όπως δεξαμενές καυσίμων που χρειάστηκαν για την εκτόξευσή τους και μετά κάποια άλλα τμήματα προφύλαξης του δορυφόρου που τελικά θα μπει σε τροχιά. Ο Syncom 4 ακολουθεί μια γεωσύγχρονη τροχιά που έχει την ίδια ταχύτητα με της γήινης περιστροφής, ώστε να παραμένει ο δορυφόρος σε μια σταθερή θέση σε σχέση με τη Γη. Αυτός ο τύπος τροχιάς επιτρέπει τις συνεχείς συνδέσεις επικοινωνίας μεταξύ των επίγειων σταθμών (βλ. GEO). Ο πρώτος όμως δορυφόρος σε γεωσύγχρονη τροχιά ήταν ο προκάτοχος του με το ίδιο όνομα και με (3) τον αριθμό. Οι σύγχρονοι δορυφόροι επικοινωνιών λαμβάνουν, ενισχύουν και αναμεταδίδουν τις πληροφορίες πίσω στη γη. Δεν λειτουργούν δηλαδή μόνο σαν απλοί αναμεταδότες. Λόγω της τροχιάς τους μπορούν να πετύχουν υπερατλαντικές ζεύξεις και έχουν την ικανότητα να παρέχουν δορυφορική τηλεόραση, τηλέφωνο, τηλεομοιοτυπία, ραδιόφωνο, και μεταφορά κάθε είδους ψηφιακού δεδομένου που δεν απαιτεί ελάχιστες καθυστερήσεις.



Syncom 4

### 3.4 Αστερισμοί – διάταξη δορυφόρων στο χώρο

Οι δορυφόροι εκτός από τις υπηρεσίες που προσφέρουν και τα είδη τροχιών τους, κατατάσσονται και σε κατηγορίες ανάλογα την διάταξη τους στον χώρο δηλαδή τον σχηματισμό που ακολουθούν που ονομάζεται αστερισμός.

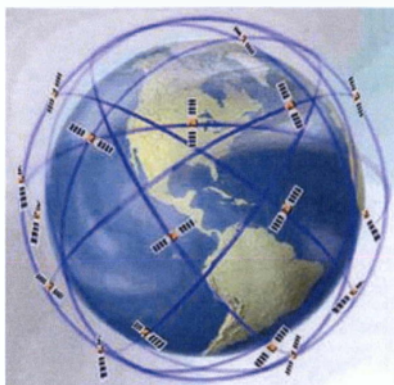
Κατηγορίες διάταξης δορυφόρων στον χώρο:

- Τεχνολογία ARCHIMEDES
- Τεχνολογία ARIES
- Τεχνολογία GEOSTAR
- Τεχνολογία GLOBALSTAR
- Τεχνολογία INMARSAT
- Τεχνολογία INTELSAT 5
- Τεχνολογία INTELSAT 6,7
- Τεχνολογία IRIDIUM
- Τεχνολογία MSAT

#### 3.4.1 Τεχνολογία GLOBALSTAR

Δύο βασικές τεχνολογίες από τις παραπάνω αναφερόμενες είναι η Globalstar και η Iridium. Αυτές οι δύο παρέχουν κυρίως υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Λόγω της χαμηλής τροχιάς και της διάταξής τους στον χώρο δεν επιφέρουν καθυστερήσεις και παρέχουν κάλυψη σε κάθε σημείο του πλανήτη.

Η πρώτη εκ των δύο που συζητάμε στα τέλη του 2006 με αρχές του 2007 άλλαξε τον σχηματισμό της που αποτελούνταν από 40 δορυφόρους σε 48 με την εξέλιξη της σε δεύτερης γενιάς Globalstar και έχει 4 εναλλακτικούς. Αυτό για να εξαλείψει τα κενά που παρουσιάζονταν σε ακάλυπτες περιοχές. Σε αντίθεση με την IRIDIUM δεν εκτελεί πολικές τροχιές γιατί έχει χαμηλή τροχιακή θέση 52° (μοιρών). Ξεκίνησε να υποστηρίζει το πρότυπο CDMA και μετά για λόγους συμβατότητας με άλλες εταιρίες δορυφορικών κινητών, υποστηρίζει το CDMA / IS-41 όπου είναι βελτιωμένο πρότυπο του προηγούμενου και το GSM. Είχαν ακουστεί παράπονα από χρήστες για το μικρό διαθέσιμο χρόνο κλήσης στα 2 λεπτά περίπου και ορισμένες φορές η κλήση διακόπτονταν. Όλα αυτά από δημοσίευμα του περιοδικού (Big Game Fishing Journal). Επίσης έχει ακουστεί ότι κάποιοι δορυφόροι έχουν φύγει από την τροχιά τους. Παρ' όλα αυτά δεν παύει να είναι μία από τις πλέον διαδεδομένες τεχνολογίες με αυξημένες υπηρεσίες.



GlobalstarConstellation

### 3.4.2 Τεχνολογία IRIDIUM

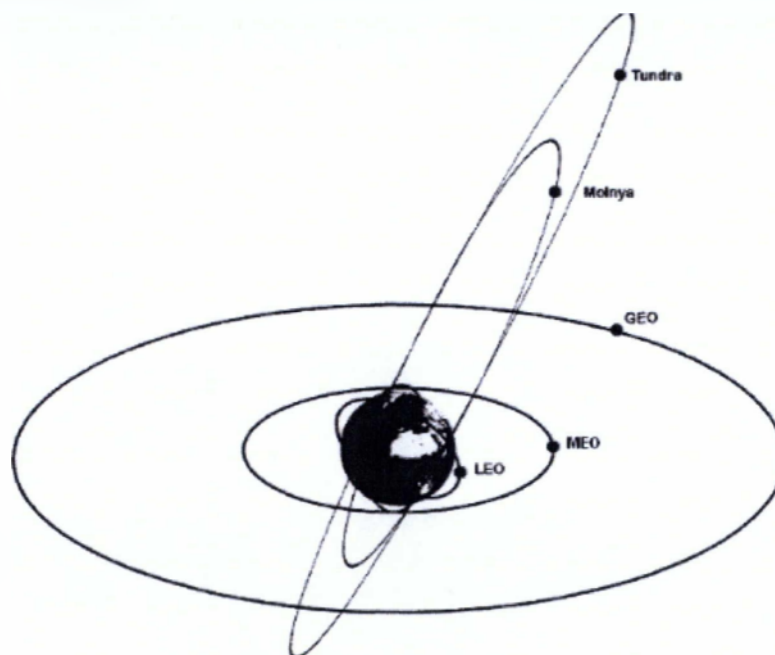
Η τεχνολογία IRIDIUM είναι από τις πιο γνωστές και χρησιμοποιείται στην (LEO) χαμηλή τροχιά (781χλμ.). Η LEO τροχιά δεν επιφέρει μεγάλες καθυστερήσεις έτσι, χρησιμοποιείται ευρέως για επικοινωνία μεταξύ δορυφορικών τηλεφώνων. Η παγκόσμια κάλυψη επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση 66 δορυφόρων σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (11 δορυφόροι επί 6 τροχιακά επίπεδα) ώστε να καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης. Αυτού του τύπου οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με κεραιές ανά 120 μοίρες (τριγωνικό σχήμα), και πέφτοντας πάνω τους το ηλιακό φως αντανακλάται προς την γη. Έτσι λόγω της μικρής απόστασής τους από τη γη έχει σαν αποτέλεσμα να είναι ορατή μια λάμψη που καμιά φορά μπορεί να γίνει ορατή και την ημέρα. Είναι ένα πολύ φαντασμαγορικό φαινόμενο. Πήραν το όνομα τους από τον ατομικό αριθμό του ιριδίου που είναι 77 επειδή κατά την σχεδίαση του, τόσοι ήταν οι δορυφόροι που θα το αποτελούσαν.



coverage\_iridium

## 4. Τροχιές των δορυφόρων

Τροχιά ονομάζεται η ένωση όλων των νοητών σημείων από τα οποία περνάει ένας δορυφόρος, μέχρι να ολοκληρώσει μία πλήρη περιστροφή γύρω από τη γη. Συνήθως η μορφή αυτής της κίνησης είναι ελλειπτική ή κυκλική. Αν ενώσουμε όλα αυτά τα σημεία, θα διαπιστώσουμε ότι η τροχιά αυτή θα ανήκει σε επίπεδο που περνά από το κέντρο της γης. Η ταχύτητα του δορυφόρου είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόσταση από τη γη. Έτσι ανάλογα την απόσταση που βρίσκεται ένας δορυφόρος από τη γη, έχει μικρότερη ταχύτητα, ή έχει ακριβώς την ίδια (GEO), ή μεγαλύτερη (LEO). Φυσικά παίζει και μεγάλο ρόλο πόση γεωγραφική έκταση μπορεί να καλύψει ένας δορυφόρος, όπου στην μικρή τροχιά δεν έχουμε μεγάλη κάλυψη περιοχών αλλά δεν εισάγονται και μεγάλες καθυστερήσεις. Μέχρι τώρα είδαμε κατηγορίες δορυφόρων που χωρίζονται ανάλογα τις υπηρεσίες που παρέχουν και τον αστερισμό τους. Τώρα όσον αφορά την απόσταση τροχιάς τους γύρω από τη γη, οι δορυφόροι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Τους δορυφόρους LEO (low earth orbit), τους MEO (medium earth orbit), τους GEO (geostationary earth orbit), και τους HEO (Highly Elliptical Orbits). Οι τρεις πρώτοι κινούνται σε κυκλική τροχιά, ενώ ο τελευταίος σε ελλειπτική. Στην εργασία μας θα μας απασχολήσουν οι τρεις πρώτοι τύποι. Άσχετα με τις κατηγορίες αυτές αλλά κυρίως στην χαμηλή τροχιά υπάρχουν δορυφόροι που κινούνται κατά μήκος του ισημερινού, των πόλων της γης ή με κάποια κλίση τροχιακού επιπέδου ως προς τον ισημερινό που μετριέται σε μοίρες. Οι δορυφόροι στην ελλειπτική τροχιά συνήθως έχουν αυτή τη κλίση που αναφέραμε. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια απλή απεικόνισή τους.



Απεικόνιση τροχιών



#### 4.1 Δορυφόροι χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO)

Όπως αναφέραμε το είδος των τροχιών, ένας τυπικός LEO δορυφόρος μπορεί να πραγματοποιήσει δύο ειδών τροχιές, είτε κυκλικές είτε πολικές. Οι κυκλικές τροχιές είναι μικρού ύψους περίπου 800Km, και έχουν περίοδο πλήρους περιστροφής περίπου 1,5 ώρες ανάλογα την απόσταση. Όπως καταλαβαίνεται κινούνται πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής της γης (24 ώρες). Το σημείο αναφοράς για την μέτρηση της κλίσης του τροχιακού επιπέδου είναι ο ισημερινός. Έτσι οι πολικές τροχιές έχουν κλίση περίπου 90° (μοίρες) ενώ οι ισημερινές σχεδόν 0 μοίρες. Ο αστερισμός Iridium για παράδειγμα έχει και πολικές τροχιές για να επιτύχει παγκόσμια κάλυψη. Μια πολική τροχιά είναι λοιπόν ένας ιδιαίτερος τύπος χαμηλής γήινης τροχιάς. Η μόνη διαφορά είναι ότι ένας δορυφόρος στην πολική τροχιά ταξιδεύει στην κατεύθυνση βορρά-νότου, παρά την πιο κοινή ανατολής-δύσης κατεύθυνση. Οι πολικές τροχιές είναι χρήσιμες για την παρατήρηση της επιφάνειας του πλανήτη. Δεδομένου ότι ένας δορυφόρος τίθεται σε τροχιά σε μια βορρά-νότου κατεύθυνση, η γη περιστρέφεται κάτω από αυτόν σε μια ανατολής-δύσης κατεύθυνση. Κατά συνέπεια αυτού του συνδυασμού κινήσεων της γης και του δορυφόρου στην πολική τροχιά, ένας τέτοιος δορυφόρος μπορεί τελικά να ανιχνεύσει ολόκληρη την επιφάνεια της γης, τεμαχίζοντας σε λωρίδες τον φλοιό της κατά την ταυτόχρονη κίνηση τους. Ανιχνεύει γύρω - γύρω μια λωρίδα τη φορά, και τελικά όλη τη γη. Γι' αυτόν τον λόγο, οι δορυφόροι που ελέγχουν το παγκόσμιο περιβάλλον, όπως τους δορυφόρους τηλεσκοπικής και ορισμένους καιρικούς δορυφόρους, είναι σχεδόν πάντα στην πολική τροχιά. Καμία άλλη τροχιά δεν δίνει τέτοια λεπτομερή κάλυψη της γης. Εκτός βέβαια της πολικής τροχιάς μεγάλο ρόλο παίζει και το ύψος που κάνει τους δορυφόρους να κινούνται πολύ πιο από τη γη. Αλλιώς κάτι τέτοιο δεν θα ήταν εφικτό.

Οι κυριότεροι αστερισμοί των δορυφόρων είναι δύο ειδών για αυτή την τροχιά (βλ. 3.4). Με πολλά τροχιακά επίπεδα και ισομερώς τοποθετημένους δορυφόρους και με ίσο αριθμό δορυφόρων και τροχιακών επιπέδων (π.χ. 11 τροχιακά επίπεδα με 6 δορυφόρους ανά επίπεδο στο Iridium, ή 8 τροχιακά επίπεδα με 8 δορυφόρους ανά επίπεδο στο Globalstar). Οι αστερισμοί δημιουργήθηκαν με αυτό το τρόπο για να παρέχουν παγκόσμια κάλυψη χωρίς να υπάρχουν προβλήματα πλεονεξίας δορυφόρων πάνω από μία περιοχή αλλά συνάμα να μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες όλων των χρηστών μιας περιοχής κυρίως στην δορυφορική κινητή τηλεφωνία. Η κινητικότητα που προσφέρουν οφείλεται στο συνδυασμό της τεχνολογία MSS που είχαμε αναφέρει νωρίτερα και το χαμηλό ύψος τροχιάς που δεν προσδίδουν καθυστερήσεις.

### 4.1.1 Πλεονεκτήματα

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τροχιάς είναι τα μειωμένα έξοδα εκτόξευσης του δορυφόρου λόγω του μικρού μεγέθους του και της μικρής απόστασης που θα είναι αυτή. Άρα θα χρειαστούμε λιγότερα καύσιμα και πιο απλό πυραυλικό σύστημα. Η μικρή απόσταση μας επιτρέπει να έχουμε κεραιές μικρότερης εμβέλειας άρα και μικρότερη κατανάλωση στις πηγές του δορυφόρου. Επίσης λόγω της διάταξης των δορυφόρων στον χώρο και της μικρής απόστασης έχουμε ελάχιστη καθυστέρηση □ στην χειρότερη περίπτωση 20ms, που συνεπάγεται ότι οι δορυφόροι εκτός από την επικοινωνία τους με επίγειους σταθμούς προλαβαίνουν να κάνουν πολλαπλές αναμεταδόσεις μεταξύ τους. Αυτό μας παρέχει τηλεφωνικά δίκτυα με αξιοπιστία και παγκόσμια κάλυψη.

### 4.1.2 Μειονεκτήματα

Παρ' όλα αυτά που αναφέραμε δεν παύουν να υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Παραπάνω αναφέραμε ότι οι δορυφόροι έχουν την δυνατότητα πολλαπλών μεταδόσεων ακόμα και μεταξύ τους και ότι έχουν μικρό μέγεθος. Για να πραγματοποιηθεί όμως αυτό πρέπει να αναπτυχθεί ένα πολύπλοκο άρα και ακριβό σύστημα επικοινωνίας, ώστε να τίθενται οι δορυφόροι στις σωστές αποστάσεις μεταξύ τους εις βάρος βέβαια της χρησιμοποίησης του φάσματος και του χαμένου χρόνου που θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί σε ουσιώδη μεταφορά δεδομένων. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας τους οι δορυφόροι αυτοί έχουν μικρή διάρκεια ζωής που ανέρχεται στα 5 χρόνια περίπου εν αντιθέσει μεγαλύτερων τροχιών που μπορεί να φθάσει και τα 7 χρόνια. Άλλο ένα πρόβλημα λόγω αυτής της ταχύτητας είναι η δύσκολη εστίαση των κεραιών ασχέτως της μικρής απαιτούμενης απολαβής που μπορούν να έχουν όπως αναφέραμε στα πλεονεκτήματα τους. Και τέλος σαν επακόλουθα όλων αυτών παρουσιάζονται ισχυρά φαινόμενα **Doppler**  $f' = f[(u + u_1)/(u + u_2)]$  που αλλάζουν την συχνότητα του ραδιοκύματος μέχρι και αρκετά KHz. Όπου  $f$  είναι πραγματική συχνότητα του ραδιοκύματος,  $u$  η ταχύτητα του φωτός και  $f'$  η νέα συχνότητα που θα «πιάσει» ο δορυφόρος ανάλογα την ταχύτητα τους ενός  $u_1$  και του άλλου  $u_2$  και την κατεύθυνση τους.

## 4.2 Δορυφόροι μεσαίας γήινης τροχιάς (MEO)

Ένας MEO δορυφόρος έχει περίοδο περιστροφής σαφώς μεγαλύτερη από τους LEO και ανέρχεται σε μερικές ώρες. Το ύψος τους βρίσκεται μεταξύ 5000 με 12000km. Όπως φαίνεται συνήθως κινούνται κατά μήκος του ισημερινού και ορισμένες φορές με κάποια κλίση  $50^\circ$  στο τροχιακό τους επίπεδο. Αν τοποθετηθούν 12 τέτοιοι δορυφόροι (2 τροχιακά επίπεδα και 6 δορυφόροι ανά επίπεδο), μπορούμε να πετύχουμε παγκόσμια κάλυψη. Λόγω της ενδιάμεσης τροχιάς τους μπορούν να λειτουργήσουν και σαν αναμεταδότες όπως ήταν και οι πρώτοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι για αυτό και ονομάζονται και ICO (Intermediate Circular Orbits). Όπως φαίνεται λόγω του μεγαλύτερου ύψους από την γη χρειαζόμαστε λιγότερους δορυφόρους από την LEO τροχιά και κάτι παρόμοιο προμηνύεται για την επόμενη κατηγορία τροχιών. Αλλά θα επεκταθούμε και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για το κάθε είδος.

### 4.2.1 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τροχιάς είναι ότι ένας μικρός σχετικά αριθμός (πχ. 12) δορυφόρων με την διάταξη που αναφέραμε πιο πάνω, μπορεί να επιτύχει παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη. Επειδή είναι ενδιάμεσα στις δύο άλλες τροχιές, σε σχέση με τους LEO χρειάζονται λιγότεροι δορυφόροι για την κάλυψη της γης και ένας τέτοιος δορυφόρος καλύπτει μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση. Επίσης δεν έχουμε τόσο έντονα τα φαινόμενα Doppler καθώς και ευκολότερη εστίαση στις κεραιές μετάδοσης λόγω της χαμηλότερης ταχύτητας κίνησης τους. Ακόμα δεν απαιτείται τόσο πολύπλοκο σύστημα για την σωστή διάταξής τους στο χώρο.

Σε σχέση με τους GEO απαιτούν μικρότερη κατανάλωση για την εκπομπή των ραδιοσημάτων και κεραιές με μικρότερη απολαβή γιατί δεν είναι τόσο μεγάλη η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί.

### 4.2.2 Μειονεκτήματα

Αντίστοιχα όμως πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν και μειονεκτήματα που συνδυάζουν κάτι μεταξύ των δορυφόρων στις τροχιές LEO και MEO. Αλλά αυτό δεν επικαλείται τόσο προβληματικό, γιατί η επιλογή τους θα γίνει ανάλογα με το είδος της εφαρμογής για το οποίο θα χρησιμοποιηθούν. Έχουν μεγαλύτερη καθυστέρηση από την χαμηλή γήινη τροχιά έτσι δεν έχουν την ικανότητα να κάνουν πολλαπλές εκπομπές και μεταξύ των δορυφόρων και χρειάζονται μεγαλύτερη ισχύ μετάδοσης.

Χρειάζονται περισσότεροι τέτοιοι δορυφόροι για την κάλυψη της γης σε σχέση με τους GEO όπου 3 επαρκούν. Επίσης είναι απαραίτητο να τους παρακολουθούν επίγειοι σταθμοί διότι δεν βρίσκονται σε σταθερό σημείο πάνω από τη γη, όπως στην γεωσύγχρονη-γεωστατική τροχιά.

### 4.3 Δορυφόροι γεωσύγχρονης τροχιάς (GEO)

Οι δορυφόροι GEO πρέπει να βρίσκονται σε συγκεκριμένο ύψος πάνω από τη γη για να πετύχουν την ίδια ταχύτητα με αυτή και να παρακολουθούν μόνιμα συγκεκριμένη επιφάνεια. Το ύψος αυτό είναι 35.786 km που πολλές φορές για συντομία στην βιβλιογραφία γράφεται και 36.000km που είναι σχεδόν η απόσταση από τον ισημερινό της γης. Η κίνηση τους είναι αυστηρά καθορισμένη με διεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά σε κυκλικές τροχιές κατά μήκος του ισημερινού δηλαδή με κλίση στο τροχιακό επίπεδο μηδενική. Αυτές οι τροχιές ονομάζονται και ισημερινές. Η πλήρης περιστροφή της γης για να πραγματοποιηθεί χρειάζονται 24 ώρες. Η απόσταση αυτή που αναφέραμε πριν επιτρέπει στους δορυφόρους την ίδια ταχύτητα κίνησης άρα και την μόνιμη τοποθέτηση τους πάνω από ένα σημείο της. Για αυτό το λόγο πολλές φορές εκτός από γεωσύγχρονη, ονομάζεται και γεωστατική. Ένας τέτοιος δορυφόρος μπορεί να παρέχει κάλυψη σχεδόν το 43% της επιφάνειας της γης, άρα με 3 τέτοιους δορυφόρους τοποθετημένους σε τόξα των 120 μοιρών γύρω από τη γη μπορούμε να πετύχουμε παγκόσμια κάλυψη. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται για διηπειρωτικές ζεύξεις και κυρίως για την μετάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών καναλιών σε Αμερική και Ευρώπη. Για τους λόγους που αναφέραμε ένας δέκτης στη γη μπορεί να ρυθμιστεί πολύ εύκολα ώστε να λαμβάνει ένα σήμα από τους GEO και είναι αρκετά φτηνός. Για αυτό η δορυφορική τηλεόραση βρίσκεται στο απόγειο της ειδικά τα τελευταία χρόνια ακόμα και στην Ελλάδα με την άφιξη της NOVA πριν από 10 χρόνια περίπου.

#### 4.3.1 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα τους είναι σχεδόν τα αντίθετα από τα αντίστοιχα μειονεκτήματα για την χαμηλή τροχιά. Καταρχήν με 3 δορυφόρους παρέχεται παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη και δεν απαιτείται πολύπλοκος εξοπλισμός για τον συγχρονισμό μεταξύ τους και γλιτώνουμε τις άσκοπες μετεκπομπές εις βάρος του φάσματος του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Έτσι με ένα απλό διαστημικό σύστημα επιτυγχάνεται λήψη δεδομένου ότι έχουμε πάντα ορατότητα προς αυτόν σε μία μεγάλη περιοχή κάλυψης λόγω της σταθερής του θέσης πάνω από τη γη. Έτσι και τα τερματικά στη γη δεν χρειάζεται να είναι να είναι



πολύπλοκα καθώς δεν χρειάζεται να τους παρακολουθούν συνεχώς με σύστημα που να στρέφει το δορυφορικό κάτοπτρο. Τα φαινόμενα Doppler που αναφέραμε και προηγουμένως για τα άλλα είδη τροχιάς, εδώ είναι αμελητέα αφού δεν έχουμε υψηλές ταχύτητες κίνησης όπως στα άλλα είδη και ειδικά στην χαμηλή τροχιά. Επιπλέον, λόγω της μεγάλης απόστασης έχουμε και τηλεπικοινωνιακό κανάλι που χωράει μεγάλο όγκο δεδομένων. Η ισημερινή τροχιά του δεν έχει κλίση στο τροχιακό επίπεδο, άρα δεν έχουμε μεταβολές στους χρόνους καθυστέρησης αφού έχουμε σταθερή γωνία ανύψωσης. Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα και εμφανίζεται έντονα στις ελλειπτικές τροχιές.

### 4.3.2 Μειονεκτήματα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στα πλεονεκτήματά αυτού του είδους τροχιάς, έχουμε χαμηλή και σταθερή γωνία ανύψωσης που αυτό αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στην επικοινωνία ειδικά σε περιοχές με ανομοιομορφία στο ύψος και κυρίως όπου υπάρχουν πολλά βουνά. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η εκτόξευση ενός τέτοιου δορυφόρου σε τόσο μεγάλο ύψος. Από την στιγμή που εκτοξεύτηκαν οι πρώτοι δορυφόροι το 1957 μόλις το 1964 επιτεύχθηκε η πρώτη γεωσύγχρονη τροχιά. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο έπρεπε να κατασκευαστούν διαστημικά λεωφορεία με τεράστια ισχύ και πολλά καύσιμα για να τους εκτοξεύσουν σε τέτοιο ύψος. Επιπλέον λόγω της μικρής γωνίας ανύψωσης τους είναι δύσκολη η εκτόξευση που ανεβάζει την πολυπλοκότητα του συστήματος, το κόστος και το χρόνο που χρειάζεται για να κατασκευαστεί. Αλλά το σημαντικότερο πρόβλημα σε αυτό το είδος είναι οι καθυστερήσεις διάδοσης που δεν μας επιτρέπουν την παροχή υπηρεσιών σε εφαρμογές που έχουν μικρή ανεκτικότητα στους χρόνους καθυστέρησης. Αυτή η καθυστέρηση είναι ανάλογη της απόστασης που πρέπει να διανύσει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που αν και η ταχύτητα του αγγίζει την ταχύτητα του φωτός σε τέτοιες αποστάσεις είναι αισθητή. Σε ορισμένες περιπτώσεις αγγίζει περίπου τα 250ms ( $10^{-3}$  second) για την ανερχόμενη (uplink) και άλλα τόσα για την κατερχόμενη ζεύξη (downlink).

### 4.4 Κριτήρια επιλογής τροχιάς

Αναφέραμε και περιγράψαμε τα είδη των δορυφόρων καθώς επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που έχει ο καθένας ανάλογα την τροχιά κίνησης τους. Από όσα αναφέραμε παραπάνω μπορούμε να βγάλουμε κάποια κριτήρια με τα οποία θα επιλέξουμε την καταλληλότερη τροχιά. Έτσι επιλέγουμε το καταλληλότερο είδος

ανάλογα τις ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Τα δύο κυριότερα κριτήρια είναι η απόσταση τους από τη γη και η καθυστέρηση που επιφέρει κάθε είδος στη μεταφορά των δεδομένων. Μετά από αυτά στην κατάταξη, έρχεται η γεωγραφική κάλυψη που μας προσφέρει το κάθε είδος και ανάλογα επιλέγουμε την καταλληλότερη για την προς υλοποίηση εφαρμογή μας. Ένας επιπλέον παράγοντας πέραν του τεχνικού ζητήματος, είναι το κόστος που πρέπει να πληρώσουμε. Τελευταία και δευτερεύοντα έρχονται η επιθυμητή γωνία ανύψωσης και η απόδοση των εκτοξευτών αφού είναι αποτελέσματα συνήθως των ειδών τροχιάς και θα ήταν συνήθως συνυπολογισμένα από τα ανωτέρω κριτήρια.

## 5. Επίτευξη ζεύξης

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε μια αναφορά για τα δορυφορικά συστήματα και τους τρόπους που λειτουργούν. Επίσης έπρεπε να γίνει αναφορά για τους δορυφόρους και τις τεχνολογίες τους και το σημαντικότερο από όλα τις τροχιές που κινούνται. Αυτό για να μπορούν να γίνουν πιο κατανοητά στον αναγνώστη τα περαιτέρω δικτυακά κομμάτια που θα παρουσιαστούν. Για παράδειγμα όταν παρακάτω παρουσιαστεί το πρόβλημα της καθυστέρησης του σήματος σε μία ζεύξη, έπρεπε να είχε προαναφερθεί η GEO τροχιά στην οποία λόγω της μεγάλης απόστασης της από τη γη συμβαίνει αυτό το πρόβλημα σε μεγαλύτερο βαθμό από τις άλλες τροχιές. Οι επικοινωνίες που ξεκίνησαν με τους πρώτους δορυφόρους, σχεδόν το 1957 που εκτοξεύθηκαν από τις ΗΠΑ και την Ρωσία δεν ήταν και πολύ επιτυχής. Ο κυριότερος λόγος ήταν ότι οι πρώτοι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι ήταν παθητικοί και όχι ενεργοί. Λειτουργούσαν δηλαδή σαν απλοί αναμεταδότες, ενώ η πρώτη μορφή εμπορικής εκμετάλλευσης εμφανίζεται με τον Early Bird δορυφόρο που ετέθη σε τροχιά στις 6 Απριλίου 1965. Τα πρώτα δορυφορικά συστήματα δεν ήταν και τόσο βιώσιμα καθώς η σχετικά μικρή ισχύς των πυραύλων που εκτόξευαν τους δορυφόρους τους έθεταν σε τροχιά όχι μακρύτερη των 10χλμ από την γη. Η πολύ χαμηλή τροχιά είχε σαν αποτέλεσμα ο δορυφόρος να κινείται πολύ ταχύτερα από την περιστροφή της γης (ταχύτερα και από τους LEO) πράγμα που επηρέαζε την κατασκευή την γήινων σταθμών καθώς έπρεπε να περιστρέφονται συνεχώς για να παρακολουθούν τους δορυφόρους.

Στην εξέλιξη των συστημάτων αυτών κατασκευάστηκαν οι γεωστατικοί δορυφόροι (1967) που τίθενται σε τροχιά 35.786χλμ με ταχύτητα 11.040 χλμ/ώρα, ώστε να μένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της γης. Η ταχύτητα αυτή είναι ίση με την γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης και έτσι οι επίγειοι σταθμοί δεν περιστρέφονται, καθώς βλέπουν μόνιμα στο ίδιο σημείο. Κάθε γεωστατικός δορυφόρος καλύπτει έναν ορίζοντα 120 μοιρών έτσι που με τρεις τέτοιους

δορυφόρους καλύπτεται όλη η γη . Επίσης αυτά αναφέρθηκαν και στο κεφάλαιο 4 όπου μιλήσαμε για τις τροχιές. Ενώ οι πρώτοι επικοινωνιακοί δορυφόροι λειτουργούσαν απλά σαν καθρέφτες που ανακλούσαν πάλι πίσω προς τη γη το λαμβανόμενο μικροκυματικό σήμα □ το 1964 και μετά, στάλθηκαν και οι πρώτες εικόνες απεικόνισης της γης από δορυφόρο. Έπαψαν δηλαδή οι δορυφόροι να είναι παθητικοί και εκτελούσαν ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων και εφαρμογές όπως τα παγκόσμια τηλεοπτικά κανάλια.

Από πλευράς συχνοτήτων οι σημερινοί δορυφόροι χρησιμοποιούν τις μπάντες των 4 και 6 GHz για τα κατερχόμενα και ανερχόμενα σήματα αντίστοιχα. Χρησιμοποιούν επίσης συχνότητες της Ku-band αλλά και της Ka-band για τις οποίες θα αναφερθούμε παρακάτω και χρησιμοποιούνται αυστηρά και μόνο για δορυφορική επικοινωνία, ενώ κάποιες συχνότητες χρησιμοποιούνται και σε στρατιωτικές και άλλου είδους εφαρμογές. Η κάθε ζώνη έχει και κάποιο φάσμα (συνήθως 500MHz) και συγκεκριμένες συχνότητες για το ανοδικό και καθοδικό κανάλι για αμφίδρομη επικοινωνία.

Σημείωση: Οι ζώνες συχνοτήτων θα αναφερθούν παρακάτω (βλ. Παρ. 5.2)

Συγκρίνοντας τα δορυφορικά συστήματα με τα άλλα μέσα παρατηρούμε τα εξής:

- Οι δορυφόροι καλύπτουν με άνεση απαιτήσεις εκπομπής σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων
- Έχουν μεγάλη καθυστέρηση σήματος της τάξης των 250 msec που οφείλεται στην μεγάλη απόσταση. Η καθυστέρηση αυτή είναι ενοχλητική τόσο στην τηλεφωνία όσο και στην μετάδοση δεδομένων κυρίως στη μεγάλη τροχιά.
- Δεν παρέχει καμία ασφάλεια στην μεταδιδόμενη πληροφορία καθώς όλος ο κόσμος μπορεί να λάβει την πληροφορία που εκπέμπει ο δορυφόρος.

Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα συστήματα κρυπτογράφησης. Έτσι για να πραγματοποιηθεί μία ζεύξη θα πρέπει να στηθεί ένα ολόκληρο δίκτυο που θα αποτελείται από τον αποστολέα, τους τυχόν διαμεσολαβητές ή αναμεταδότες, το κανάλι επικοινωνίας και τον δέκτη (και πομπός ταυτόχρονα για αμφίδρομη επικοινωνία). Για να γίνει αυτό πραγματικότητα και με σωστό τρόπο πρέπει να μεταδοθεί το σήμα με μία συγκεκριμένη μορφή και να μην είναι επιρρεπές στις τυχόν παρεμβολές ή ακόμα και υποκλοπές κατά μήκος όλου του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι θα έχουμε συνεχής μετατροπή του σήματος με διάφορους τρόπους και διαμορφώσεις, ακόμα και αποκωδικοποιήσεις άρα και αρκετό απαιτούμενο εξοπλισμό, ο οποίος θα παρουσιαστεί παρακάτω.

## 5.1 Απαιτούμενος οικιακός εξοπλισμός

Για να επιτευχθεί μία δορυφορική σύνδεση χρειάζονται σαφώς οι δορυφόροι, οι επίγειοι σταθμοί που λαμβάνουν το σήμα από τους πρώτους, για τους οποίους αναφερθήκαμε στα κεφάλαια 2 και 3. Οι ιδιώτες για να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα δορυφορικό δίκτυο, θα πρέπει να προμηθευτούν:

- Δορυφορικό κάτοπτρο (ή πιάτο)
- LNB (Low Noise Block Downconverter)
- Δέκτης - Modem

Φυσικά θα χρειαστεί και μεταλλική βάση στήριξης του κατόπτρου για να μπορεί να σταθεροποιηθεί ώστε να “κοιτάζει” πάντα τον δορυφόρο για καλύτερη λήψη τους σήματος, χωρίς να επηρεάζεται η θέση του από τα καιρικά φαινόμενα. Επίσης θα χρειαστεί ομοαξονικό καλώδιο και καλώδιο τροφοδοσίας από και προς τον δέκτη.

### 5.1.1 Δορυφορικό κάτοπτρο

Το δορυφορικό κάτοπτρο ή αλλιώς πιάτο είναι η κεραία η οποία λόγω της κοίλης επιφάνειας της μαζεύει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα προς το κέντρο της για να τα συλλέξει στην συνέχεια το LNB. Τα σήματα αυτά στέλνονται από τους δορυφόρους και ταξιδεύουν στο περιβάλλον με κατεύθυνση προς τη γη. Η κεραία αυτή αποτελεί την εξωτερική μονάδα που μπορεί να λειτουργεί στην Ku μπάντα συχνοτήτων (ανάλογα το LNB: C ή Ku) και τοποθετείται σε εξωτερικούς χώρους για να μπορεί να συλλέξει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πριν αυτά εξασθενίσουν από τα κατασκευαστικά μέρη του σπιτιού (π.χ. τα τοιχώματα). Σε περίπτωση αμφίδρομης επικοινωνίας είναι πιο πολύπλοκα τα πράγματα και το κάτοπτρο λειτουργεί και σαν κεραία η οποία μπορεί να στείλει κιόλας με τη βοήθεια του υπόλοιπου εξοπλισμού. Ακόμη πιο περίπλοκο γίνεται για τον δέκτη και το LNB. Τελευταία έχουν κατασκευαστεί κάτοπτρα όχι μόνο μεταλλικά, αλλά από γυαλί ή η επιφάνεια τους είναι διάτρητη. Τα γυάλινα κάτοπτρα περιέχουν ένα μεταλλικό film που προσδίδει στην επιφάνεια μια διαφανή μορφή. Αυτά δεν επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία και που μπορεί να καταστρέψουν το LNB και επιπλέον μπορεί να είναι και θερμαινόμενα ώστε να διώχνουν το πάγο από την επιφάνεια του. Τα κάτοπτρα με την διάτρητη επιφάνεια δεν φέρνουν μεγάλη αντίσταση στον αέρα, άρα μένουν ακίνητα ώστε να έχουμε επιτυχή ορατότητα με το δορυφόρο και επιπλέον πετυχαίνουν μεγαλύτερη ανάκλαση του σήματος στο σημείο εστίασης του πιάτου για να συλλεχθεί από το LNB.



### 5.1.2 LNB – Μεταλλάκτης χαμηλού θορύβου

Το LNB (Low Noise Block Downconverter, μεταλλάκτης χαμηλού θορύβου) είναι μια συσκευή αρκετά πολύπλοκη αλλά απαραίτητη για την συλλογή των ραδιοσημάτων από την δορυφορική κεραία, τα οποία στη συνέχεια τα στέλνει στον ψηφιακό δέκτη. Πριν στείλει το σήμα όμως στο δέκτη, εκείνο πρέπει να υποβιβαστεί σε χαμηλότερη συχνότητα, και να ενισχυθεί κατάλληλα. Συνήθως χρησιμοποιείται από το ευρύ κοινό για ραδιοτηλεοπτικές λήψεις. Το LNB λαμβάνει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (το οποίο ανακλάται από το "πίατο" της δορυφορικής κεραίας) και το συλλέγει μέσω της χοάνης του (feedhorn). Ονομάζεται έτσι λόγω του κωνικού της σχήματος. Υπάρχουν δύο είδη LNB όσον αφορά το σχήμα της σχεδίασης τους. Τα χωρίς χοάνη ή φλάντζας και αυτά με τη χοάνη που μόλις αναφέραμε (LNBF) τα οποία συνήθως ονομάζονται απλώς LNB.

Όπως θα δούμε και παρακάτω στις δορυφορικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται πολύ υψηλές συχνότητες. Λόγω των ιδιοτήτων μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το σήμα μας δεν μπορεί να διαπεράσει για παράδειγμα το μπeton ενός κτηρίου και εξασθενεί. Δύο λύσεις σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν ειδικό καλώδιο μεταφοράς για αυτές τις συχνότητες ή χρήση κυματοδηγού που και οι δύο είναι προβληματικές και ακριβές γιατί και πάλι δημιουργούνται παρασιτικές χωρητικότητες που θα εισήγαγαν θόρυβο στο σήμα. Επιπλέον θα έπρεπε να γίνει μελέτη εκ των προτέρων κατά την κατασκευή του σπιτιού για την σωστή τοποθέτησή τους.

Άρα η μόνη και σχετικά φθηνή λύση είναι να τοποθετηθεί σε έναν εξωτερικό ανοιχτό χώρο μια κεραία όπως αυτή που αναφέραμε παραπάνω για να συλλέξει το σήμα. Εδώ έρχεται και το LNB που είναι απαραίτητο για τους λόγους που μόλις αναφέραμε. Το LNB παρακάμπτει τα παραπάνω προβλήματα υποβιβάζοντας την λαμβανόμενη συχνότητα από τον δορυφόρο σε συχνότητα που είναι δυνατόν να μεταφερθεί από το κλασσικό ομοαξονικό τηλεοπτικό καλώδιο των 75 Ωm (Ohm) στον δορυφορικό δέκτη. Είναι το γνωστό καλώδιο που χρησιμοποιούμε και στις απλές τηλεοπτικές λήψεις για την σύνδεση της κεραίας με την τηλεόραση.

Για να πετύχει τον υποβιβασμό της συχνότητας που λαμβάνει από την κεραία, το LNB χρησιμοποιεί την αρχή λειτουργίας του υπερτεροδύνου δέκτη. Τα βασικά στάδια ενός τέτοιου δέκτη είναι ο τοπικός ταλαντωτής ο οποίος είναι συντονισμένος σε κάποια συχνότητα ανάλογα την τάση τροφοδοσίας του. Το επόμενο στάδιο είναι ο μεικτής που υποβιβάζει τη ληφθείσα συχνότητα ανάλογα με την συχνότητα που λειτουργεί ο τοπικός ταλαντωτής. Το τελικό στάδιο είναι κάποιες βαθμίδες ενίσχυσης υψηλής ποιότητας ώστε να μην προστεθεί ηλεκτρονικός θόρυβος. Το LNB απαιτεί τροφοδοσία για να εκτελέσει όλες αυτές τις λειτουργίες. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς παρέχεται από το δορυφορικό δέκτη. Το ομοαξονικό καλώδιο εκτελεί δύο

λειτουργίες. Πρώτον μεταφέρει συνεχή τάση από το δορυφορικό δέκτη προς το LNB και δεύτερον μεταφέρει το δορυφορικό σήμα από το LNB προς το δορυφορικό δέκτη.

Το σήμα στην έξοδο του LNB είναι υποβιβασμένο στη μάντα L (0,950 GHz - 2,150 GHz). Οι ζώνες συχνοτήτων (bands) δορυφορικής λήψης, τις οποίες δέχεται στην είσοδό του ένα LNB, είναι οι παρακάτω:

- Ζώνη C: με συχνότητες 3,7 GHz - 4,2 GHz
- Ζώνη Ku: με συχνότητες 10,7GHz - 12,75GHz

Τα περισσότερα LNB είναι κατασκευασμένα για να λειτουργούν στη Ku μάντα λειτουργίας οπότε συνήθως αυτό δεν αναγράφεται καθόλου. Σε διαφορετική περίπτωση αν ανήκουν στην C ζώνη τότε αυτό αναφέρεται.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία του LNB, καθώς και των διαφόρων τύπων LNB, θα πρέπει να εξεταστούν οι δορυφορικές εκπομπές και τα χαρακτηριστικά τους στο πέρασμα του χρόνου.

Καταρχήν, οι δορυφόροι εκπέμπουν δύο κανάλια σε κάθε συχνότητα ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας διαφορετική πόλωση για το καθένα. Έτσι επιτυγχάνουν καλύτερη εκμετάλλευση του διαθέσιμου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος συχνοτήτων. Συνήθως εκπέμπουν με γραμμικές πολώσεις, οριζόντια και κατακόρυφη. Ο διαχωρισμός της μιας εκπομπής από την άλλη οφείλεται στο γεγονός ότι οι πολώσεις των δύο αυτών εκπομπών (καναλιών) έχουν διαφορά 90 μοιρών. Η επιλογή της πόλωσης που θα επιλεγεί από το μεταλλάκτη γίνεται ανάλογα με την τάση τροφοδοσίας που του δίνεται από το δέκτη. Υπάρχουν βέβαια και οι ενδιάμεσες καταστάσεις που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές και χρειάζονται πιο πολύπλοκο εξοπλισμό για την αποδιαμόρφωση τους καθώς ο συντονισμός του δέκτη για κάτι τέτοιο αποτελούσε πρόβλημα από την αρχή των ασύρματων επικοινωνιών. Μία άλλη πόλωση είναι η κυκλική στην οποία έχουμε μια πλήρη περιστροφή του κύματος σε μία περίοδο. Ανάλογα τη φορά της περιστροφής, έχουμε την δεξιά και την αριστερή κυκλική πόλωση.

Σε παλαιότερες εποχές οι δορυφορικές εκπομπές, οι οποίες προορίζονταν για λήψη από το κοινό, ήταν περιορισμένες σε ένα μέρος της μάντας Ku. Συγκεκριμένα, ήταν στη ζώνη 10,95 GHz - 11,75 GHz, η οποία ήταν γνωστή με την ονομασία υπηρεσίας BSS (Broadcast Satellite Service).

Το υπόλοιπο της μάντας Ku, το οποίο ονομαζόταν FSS (Fixed Satellite Service), προορίζονταν για σήματα μεταξύ τηλεοπτικών σταθμών και σήματα εξωτερικών μεταδόσεων (τα οποία δεν προσφέρονταν για λήψη από το μεγάλο κοινό). Αργότερα, αυτό έπαψε να ισχύει. Πλέον, όλη η μάντα Ku (από 10,7 GHz μέχρι 12,75 GHz) προσφέρεται για οποιοδήποτε είδους εκπομπή.

Τέλος υπάρχουν διάφορα είδη LNB που χρησιμοποιούνταν παλιότερα, ενώ μερικά χρησιμοποιούνται. Ανάλογα με την τάση τροφοδοσίας (13V ή 18V) που παίρνουν από το δέκτη επιλέγουν αν θα λειτουργήσουν στη κατακόρυφη ή στην οριζόντια πόλωση αντίστοιχα, όπου από εκεί θα δώσουν το σήμα. Αυτοί είναι οι **Single LNB**

που προορίζονται για χρήση ενός δέκτη, ενώ υπάρχουν και οι **Twin LNB** που λειτουργούν όπως και οι παραπάνω, αλλά χρησιμοποιούνται για δύο δέκτες και έτσι αποφεύγεται η χρήση δύο κατόπτρων. Οι **Dual LNB** έχουν και αυτοί δύο εξόδους μία για την κατακόρυφη και μία για την οριζόντια πόλωση. Μοιάζουν με τους τελευταίους αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για 3 ή περισσότερους δέκτες γιατί οι εξοδοί τους καταλήγουν σε έναν πολυδιακόπτη και από αυτόν παίρνουν σήμα μετά οι δέκτες. Υπάρχει όμως πρόβλημα στις ζώνες αυτές επειδή ο περιορισμός των εκπομπών για το κοινό στη ζώνη 10,95GHz – 11,75GHz δεν υφίσταται πλέον και οι δορυφορικοί δέκτες λαμβάνουν σήμα στη ζώνη 0,950GHz – 2,150GHz, δηλαδή το εύρος ζώνης τους είναι 1,2GHz. Επομένως, δεν θα μπορούσαν να λάβουν ολόκληρο το εύρος της Ku, το οποίο είναι 2,050GHz (12.75-10.5GHz). Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, η μπάντα Ku χωρίστηκε σε 2 υποζώνες. Η περιοχή 10,7GHz - 11,7GHz ονομάζεται κάτω ζώνη ενώ η περιοχή 11,7GHz - 12,75GHz ονομάζεται άνω ζώνη. Δημιουργήθηκε ένας νέος τύπος LNB, το **Universal**, το οποίο έχει δύο συχνότητες τοπικού ταλαντωτή για μείξη, στη συχνότητα 9,75GHz για την κάτω ζώνη και στη συχνότητα 10,6GHz για την άνω ζώνη. Η επιλογή συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή γίνεται με τη χρήση ενός παλμού-τόνου με συχνότητα 22KHz. Αν υπάρχει ο τόνος, τότε επιλέγεται η συχνότητα 10,6GHz (και τα κανάλια της άνω ζώνης). Αν δεν υπάρχει ο τόνος τότε επιλέγεται η συχνότητα 9,75GHz (και τα κανάλια της κάτω ζώνης). Αυτό είναι το πρόβλημα του συντονισμού που αναφέρθηκε πριν 2 παραγράφους. Έτσι αντιλαμβάνεστε ότι δημιουργούνται και άλλες υποκατηγορίες ανάλογα με τον συνδυασμό των ζωνών λειτουργίας και της επιλογής της κατακόρυφης και της οριζόντιας πόλωσης και έτσι έχουμε καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και **LNB** που λειτουργούν στη μπάντα **C** με τους αντίστοιχους σχεδόν συνδυασμούς και υποκατηγορίες.

### 5.1.3 Δέκτης – modem

Ο όρος modem που είναι γνωστός σε όλους μας κυρίως από τη ευρεία χρήση του στους υπολογιστές, προέρχεται από τις λέξεις modulator-demodulator. Δηλαδή η λειτουργία του είναι να κάνει διαμόρφωση και την αντίθετη διαδικασία αποδιαμόρφωση του σήματος που λαμβάνει και στέλνει. Τα είδη των διαμορφώσεων και των πρωτοκόλλων που πρέπει να υποστηρίζει ο κάθε δέκτης είναι πολλά και θα γίνει εκτενέστερη περιγραφή τους παρακάτω. Για παράδειγμα ψηφιακός δέκτης είναι και αυτός που χρησιμοποιείται και για την λήψη των επίγειων ψηφιακών καναλιών στην τηλεόραση και υποστηρίζει την τεχνολογία DVB-T. Είναι ένας δέκτης εικόνας και ήχου, μέσω του οποίου η τηλεόραση μπορεί να λαμβάνει και να εμφανίζει ψηφιακά τηλεοπτικά σήματα. Οι ψηφιακοί δέκτες είναι πλέον ενσωματωμένοι σε τηλεοράσεις, συσκευές εγγραφής βίντεο, συσκευές εγγραφής DVD και αποκωδικοποιητές. Επίσης, λόγω της τρέχουσας



μετάβασης από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση, όλες οι αναλογικές τηλεοράσεις θα χρειάζονται σύντομα έναν ψηφιακό δέκτη για να μετατρέπουν τα ψηφιακά σήματα σε αναλογικά, έτσι ώστε να μπορούν να τα προβάλλουν. Για την λήψη ψηφιακών καναλιών από δορυφόρο χρησιμοποιούνται δέκτες με τεχνολογία DVB-S που χρησιμοποιεί συγκεκριμένες διαδικασίες κωδικοποίησης, κρυπτογράφησης και διόρθωσης λαθών. Έτσι η οικογένεια Digital Video Broadcasting (DVB) καλύπτει προδιαγραφές για τις ψηφιακές υπηρεσίες που παρέχονται μέσω καλωδιακής, δορυφορικής και επίγειας εκπομπής, καθώς και για το Διαδίκτυο και τα κινητά συστήματα επικοινωνιών. Ειδικά για το Διαδίκτυο χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα ενθυλάκωσης και συμπίεσης όπως TCP, IP, HTTP, MPEG-1, MPEG-2 για να μπορούν να υλοποιηθούν οι υπηρεσίες multimedia-πολυμέσα σε όλο τους το εύρος με τη βοήθεια βέβαια κάποιας υπηρεσίας που να παρέχει την αντίστοιχη υπηρεσία. Ένας δέκτης που επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία στο διαδίκτυο εκτός από το καλώδιο Ethernet, έχει και είσοδο-έξοδο για το ομοαξονικό καλώδιο που τον συνδέει με την εξωτερική μονάδα (κεραία εκπομπής-λήψης).

Ο παραπάνω απεικονιζόμενος δέκτης φαίνεται ότι διαθέτει και υποδοχές για να χρησιμοποιηθούν ειδικές μνήμες αποθήκευσης ώστε να μπορούμε να αποθηκεύσουμε την αγαπημένη μας εκπομπή για να την παρακολουθήσουμε μετά.

## 5.2 Ζώνες συχνότητων στις δορυφορικές επικοινωνίες

Από την στιγμή που η επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων εξελίχθηκε από τα ενσύρματα μέσα και στα ασύρματα, δημιουργήθηκε το πρόβλημα του εύρους ζώνης που θα πρέπει να λειτουργεί κάποια υπηρεσία. Αυτό γιατί όλες οι υπηρεσίες πρέπει να συνυπάρχουν ταυτόχρονα χωρίς να παρεμβάλλει η μία την άλλη εφόσον θα έχουν όλες ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Έτσι δημιουργήθηκαν Διεθνείς Οργανισμοί που όριζαν τις ζώνες που θα λειτουργεί η εκπομπή ραδιοφωνικών σημάτων, τηλεόρασης, στρατιωτικές εφαρμογές, δορυφορικές και κινητές τηλεπικοινωνίες κ.α.. Τα κριτήρια για την επιλογή αυτή δεν ήταν τυχαία καθώς έπρεπε να υπάρχει συμφωνία μεταξύ των χωρών για λόγους συμβατότητας των συσκευών κατά την εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Έτσι υπάρχουν ζώνες που χρειάζονται και άλλες που δεν χρειάζονται άδειες εκπομπής. Ένα πρόβλημα είναι οι ιδιότητες του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που σε κάποιες συχνότητες του υπόκειται σε μεγάλες απώλειες λόγω των καιρικών φαινομένων π.χ. της βροχής και της υγρασίας η οποία απορροφάει την ενέργεια του. Επίσης ανάλογα τις υπηρεσίες που προσφέρει η κάθε τεχνολογία, είναι ανάλογο και το κόστος του εξοπλισμού, που δεν μπορεί να είναι πολύ ακριβό για τους απλούς χρήστες για μια απλή εφαρμογή. Και τέλος το σημαντικότερο κριτήριο ήταν για λόγους



διαμόρφωσης □ για να μπορέσουμε να στείλουμε ένα σήμα μακριά χωρίς αυτό να εξασθενίσει. Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα που εκπέμπουμε ένα σήμα, τόσο μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας “χωράει”. Έτσι καταλήγουμε σε υπηρεσίες όπως HDTV που χρειάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων. Εδώ μπαίνει και η συμπίεση σαν λύση στο πρόβλημα αυτό που είναι όμως ένα άλλο κεφάλαιο.

Για τις δορυφορικές επικοινωνίες οι ζώνες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

Ζώνες Συχνοτήτων	Συχνότητες
L-Band	1-2 GHz
S-Band	2-4 GHz
C-Band	4-8 GHz
X-Band	8-12,5 GHz
Ku-Band	12,5-18 GHz
K-Band	18-26,5 GHz
Ka-Band	26,5-40 GHz

Πίνακας 1. Δορυφορικές ζώνες συχνοτήτων

Οι δύο τελευταίες ανήκουν σε μία κατηγορία αλλά πολλές φορές στην περισσότερη βιβλιογραφία, διαχωρίζονται έτσι για την καλύτερη επεξήγησή τους λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης (Bandwidth).

Σε γενικές γραμμές οι L και S ζώνες χρησιμοποιούνται για επικοινωνία μεταξύ κινητών σταθμών, ενώ οι C,X,Ku,Ka ζώνες για επικοινωνία μεταξύ σταθερών επίγειων σταθμών και πιο συγκεκριμένα η X-Band ενδείκνυται για στρατιωτική χρήση. Η ζώνη συχνοτήτων Ku έχει τη μεγαλύτερη ελευθερία όσον αφορά τις άδειες εκπομπής και απευθύνεται καθαρά για δορυφορικές επικοινωνίες για την κάλυψη υπηρεσιών στο ευρύ κοινό καθώς έχει μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες ζώνες (σε GHz) για άλλες υπηρεσίες, όπως:

- Very high frequency (VHF): 0.03–0.3
- Ultra high frequency (UHF): 0.3–3
- Super high frequency (SHF): 3–30
- Extremely high frequency (EHF): 30–300

Σημείωση: Ειδικά στις παραπάνω εμφανίζονται και κάποιες συχνότητες με διαφορετικά ονόματα και αυτό γίνεται επειδή χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές υπηρεσίες. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι η μια αναιρεί την άλλη και ότι υπάρχει μειωμένη απόδοση σε κάποια υπηρεσία γιατί διαφέρουν κατά πολύ οι διαδικασίες μετάδοσης και έτσι κάθε σήμα έχει την δική του ταυτότητα. Για παράδειγμα αν εμείς βρεθούμε σε μια αίθουσα με πολλούς ανθρώπους που μιλούν διαφορετικές γλώσσες θα μπορέσουμε να βγάλουμε νόημα στο τι λέει ένας Έλληνας παρ' όλο που όλοι οι άνθρωποι παράγουμε τη φωνή μας σχεδόν στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Έτσι αν τα σήματα αυτά έχουν διαφορετική κωδικοποίηση θα μπορέσουμε στο δέκτη να τα διαχωρίσουμε.

- Q: 40–60
- V: 60–75
- W: 75–110

### 5.2.1 L-Band

Οι συχνότητες μεταξύ 1 και 2 GHz συνήθως αναφέρονται και ως L-Band. Ήταν ένα τμήμα που δεν εφαρμόζονταν για την εμπορική δορυφορική επικοινωνία μέχρι τα τέλη του 1970. Μέσα στο συνολικό εύρος του 1 GHz της ζώνης αυτής μόνο περίπου τα 30 MHz διατίθενται από την ITU (Διεθνής Οργανισμός) για την ανερχόμενη και άλλα τόσα για τη κατερχόμενη ζεύξη για τη MSS κατηγορία υπηρεσιών (βλ. 2.5.3). Η εταιρία COMSAT με τους Marisat δορυφόρους της ήταν η πρώτη που εφάρμοσε αυτή τη ζώνη. Κατά κύριο λόγο αυτοί οι δορυφόροι κατασκευάζονταν για να λύσουν την ζωτικής σημασίας επικοινωνία στη ζώνη UHF από το πολεμικό ναυτικό των Η.Π.Α. Αργότερα η εταιρία αυτή είχε την άδεια να τοποθετηθούν αναμεταδότες και στην L-Band κυρίως για επικοινωνία των πλοίων σε στρατιωτικές εφαρμογές. Έτσι ξεκίνησαν τα πρώτα MSS δίκτυα στην πράξη και έγινε η χρήση του κώδικα Μορς. Ο διάδοχος της Marisat έγινε στη συνέχεια η Inmarsat, που απέδειξε την αποτελεσματικότητα των δικτύων αυτών και μετά το 1993 αναδιοργανώνοντας και ιδιωτικοποιώντας την επιχείρηση έθεσε κρίσιμα ζητήματα ασφάλειας και λειτουργίας.

Οι πρώτοι MSS επίγειοι σταθμοί απαιτούσαν κάτοπτρο διαμέτρου 1 μέτρου που έπρεπε να «κοιτάει» προς τον δορυφόρο. Ο εξοπλισμός ήταν αρκετά ογκώδης, σύνθετος και ακριβός. Έτσι άρχισε να γίνεται ζήτηση για φορητά (portable) επίγεια τερματικά που θα υποστηρίζονταν από το δίκτυο. Ξεκίνησαν να έχουν το μέγεθος ενός αυτοκινήτου που έπρεπε να τα μεταφέρει, μετά το μέγεθος μίας βαλίτσας και τελικά φτάσαμε στα τερματικά χειρός για τους καταναλωτές.

Το ιδανικότερο μέγεθος για τις κεραίες εδάφους πρέπει να είναι μικρό και λεπτεπίλεπτο ώστε να μην υποδηλώνουν την ύπαρξη ενός δορυφόρου. Οι περισσότεροι είμαστε εξοικειωμένοι με την απλή κυψελοειδούς σχήματος κεραία – μαστίγιο που χρησιμοποιούνται για τα φορητά κινητά τηλέφωνα στα αυτοκίνητα. Οι κοινές όμως κεραίες της L-Band για χρήση με Inmarsat δεν είναι τόσο απλές γιατί πρέπει να παρέχουν κάποιο απαιτούμενο κέρδος και συγκεκριμένα προς την κατεύθυνση του δορυφόρου. Αυτό για να γίνει πρέπει να υπάρχει και κάποιο χονδροειδές σημείο (εξόγκωμα) πάνω στην κεραία, που θα περικλείει ένα πηνίο με μήκος σύρματος ανάλογο με το μήκος κύματος στην συγκεκριμένη συχνότητα εκπομπής για να μπορέσουμε να πετύχουμε συντονισμό και την κατάλληλη πόλωση του σήματος. Για να χωρέσει ένα τέτοιο πηνίο στη κεραία, είχε προσαρμοστεί το σχήμα της σε μία ράβδο μήκους 1m και διαμέτρου 2cm και έμοιαζε με χοντρή πένα.

Σημείωση: η εταιρία Inmarsat προσφέρει υπηρεσίες ακόμη και είναι μία από τις πλέον ανταγωνιστικές στο είδος της.

Σε αυτή τη ζώνη δεν εμφανίζεται το πρόβλημα της εξασθένησης λόγω της βροχής, αλλά έρχεται το στρώμα της ιονόσφαιρας για να προκαλέσει το φαινόμενο της διάθλασης. Σαν αποτέλεσμα αυτού, το RF σήμα ακολουθεί την απευθείας διαδρομή και τη διαδρομή μετά την διάθλαση (φαινόμενο πολυδιόδευσης). Έτσι το σήμα μπορεί να φτάσει στο δέκτη με τυχαία φάση και αν έχουμε 180° διαφορά φάσης (αναποδογύρισμα), έχουμε καταστροφική συμβολή όπου το σήμα εξασθενεί ολότελα.

Αν τα σήματα φτάσουν με ίδια φάση τότε προστίθενται και έχουμε ενισχυτική συμβολή. Υπάρχουν βέβαια και όλες οι ενδιάμεσες καταστάσεις που μας προβληματίζουν. Σε αυτές τις συχνότητες υπάρχει επίσης το πρόβλημα της εναλλαγής της συχνότητας λόγω του ιονοσφαιρικού σπινθηρισμού και της πόλωσης του σήματος. Έτσι συνήθως αφήνεται ένα ελεύθερο περιθώριο μεταξύ των ζωνών. Το τελευταίο πρόβλημα δεν υφίσταται στις ζώνες Ku καθώς και στις υπόλοιπες με εξίσου μεγάλες συχνότητες μετάδοσης.

Καταλήγουμε σε μια συνοπτική άποψη ότι η ζώνη αυτή τείνει να καλύψει μια πρόκληση με πολλές χρήσεις αλλά και χρήστες που την χρησιμοποιούν στο μικρό εύρος της. Με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία θα βελτιώσει την εκμετάλλευση του φάσματος με την ψηφιακή συμπίεση. Η επιχειρηματική αποτυχία των LEO συστημάτων με τις 66 δορυφορικές συνδέσεις, τους τρόπους πολλαπλής πρόσβασης και τις ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στους αστερισμούς Globalstar και

Iridium, (βλ. 3.4.1 & 3.4.2 αντίστοιχα) έχει οδηγήσει σε ορισμένες αμφιβολίες αν το φάσμα της L-Band θα μπορούσε να αυξηθεί. Υποστηρίζεται ότι η χρήση της θα ήταν πιο επικερδής στις επίγειες κινητές υπηρεσίες όπως κινητά τηλέφωνα και ασύρματη μεταφορά δεδομένων. Και έτσι αποδείχτηκε γιατί η χαμηλή τροχιά σε συνδυασμό με τους αστερισμούς που αναφέραμε παραπάνω, ενδείκνυται για αυτή τη χρήση.

### 5.2.2 S-Band

Η S-Band όπως και σχεδόν όλα τα συστήματα τελευταίας τεχνολογίας, αρχικά εγκρίθηκε για επικοινωνίες διαστήματος από τη NASA και άλλους κυβερνητικούς οργανισμούς για διαστημικές έρευνες σε όλο τον κόσμο. Έχει μία εγγενώς τάση να μην επηρεάζεται από τον θόρυβο και τις ιονοσφαιρικές αρνητικές επιπτώσεις σε σχέση με την L-band. Τα DTH (Direct-to-Home) συστήματα στην S-Band, μαζί με τις υπηρεσίες MSS και τη μετάδοση Digital Audio Radio (DAR) ήταν από τις πρώτες εφαρμογές που δόθηκαν στο ευρύ κοινό και αρχικά σε χώρες της ανατολής. Βέβαια πρώτα αυτές οι εφαρμογές δοκιμάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν όπως προαναφέραμε για άλλους σκοπούς. Στις εφαρμογές αυτές είναι κρυμμένες οι μεγαλύτερες προοπτικές για διευρυμένη εμπορική χρήση σε παγκόσμια βάση.

Ως αποτέλεσμα της δημοπρασίας του φάσματος, χορηγήθηκαν άδειες ραδιοεκπομπής από την Federal Communications Commission (FCC), όπου αυτό λειτούργησε το 2001 – 2002. Το φάσμα της S-Band κατανεμήθηκε ισομερώς (2.320 – 2.345 MHz) μεταξύ των επιχειρήσεων XM Radio και Sirius Satellite Radio. Οι δορυφόροι για την ανερχόμενη ζεύξη (uplink) λειτουργούσαν στις συχνότητες (7.025 – 7.075 MHz). Και οι δύο επιχειρήσεις είχαν στήσει αναμεταδότες για να καλύψουν τις νεκρές ζώνες όπου δεν έφτανε το σήμα επαρκώς στο εσωτερικό των αστικών περιοχών. Οι ανταγωνιστικές αυτές τάσεις μας οδήγησαν στο γεγονός της επίτευξης της ομιλίας σε κινητά οχήματα που διέθεταν κεραία με μικρή απολαβή. Για να πραγματοποιηθεί αυτό όμως χρειάστηκε μία ισοτροπική κεραία (Equivalent isotropically radiated power – EIRP) με ονομαστική ισχύ 68 dBW, όπου οι δορυφόροι μπορούσαν να στείλουν με επιτυχία συμπιεσμένο ψηφιακό ήχο στα οχήματα (σαν τερματικά) αυτά.

Επειδή η S-Band εκπέμπει σε υψηλότερη συχνότητα από την L-Band, δεν υποφέρει τόσο πολύ από ατμοσφαιρικές απώλειες όπως αναφέραμε παραπάνω αλλά έχει και αυτή μια δυσκολία στην ικανότητα της να προσαρμόζεται στη μετάδοση σε έδαφος με αρκετές υψομετρικές ανωμαλίες. Οι LEO και οι MEO δορυφόροι είναι ίσως οι καλύτεροι για αυτή τη ζώνη δεδομένου ότι η απώλεια του σήματος είναι εγγενώς λιγότερη σε σχέση με τους δορυφόρους GEO, λόγω της σαφώς μεγαλύτερης απόστασης από τη γη για τους τελευταίους. Επίσης επειδή αυτοί οι δορυφόροι έχουν μια καλύτερη άποψη του χώρου από την μικρή τροχιά και ειδικότερα σε περιοχές με την ανομοιομορφία που αναφέραμε. Αυτό βέβαια



μπορεί να αντισταθμιστεί με μεγαλύτερη επιτυχία και καλύτερα αποτελέσματα στην Ku-Band που θα δούμε παρακάτω.

### 5.2.3 C-Band

Αυτή η ζώνη μπορεί να πει κανείς ότι παραμένει ακόμα και τώρα η πιο αναπτυχθείσα όσον αφορά το κομμάτι του φάσματος που χρησιμοποιούν οι δορυφόροι. Αυτή μαζί με τη ζώνη Ku είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συνήθως σε όλες δορυφορικές εφαρμογές που χρησιμοποιούμε σπίτι μας. Αυτό το οφείλει σημαντικά στο αυξημένο διαθέσιμο εύρος ζώνης της στα 800MHz από τα 500MHz που ήταν αρχικά και συνηθιζόταν να έχουν οι περισσότερες ζώνες συχνοτήτων. Αυτό το εύρος αντιστοιχεί όσο για την ανερχόμενη αλλά και για την κατερχόμενη ζεύξη. Το εν λόγω φάσμα είναι πολύ αποτελεσματικό γιατί εκτός της μεγαλύτερης χωρητικότητάς του □ πολλαπλασιάζεται με διπλό συντελεστή λόγω της διπλής πόλωσης που χρησιμοποιείται κατά την μετάδοση του σήματος. Ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 2 έως 5 ανάλογα την απόσταση μεταξύ των δορυφόρων και επηρεάζει την φάση μεταξύ των κυμάτων που στέλλονται.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και σαν επιπλέον πλεονέκτημα έχουμε αποδοτικότερο γεωγραφικό διαχωρισμό των περιοχών για την κάλυψη της γης. Έτσι η συνολική χρησιμοποίηση του φάσματος για την C-Band, το εύρος συχνοτήτων τροποποιείται στην περιοχή των 568GHz-1,44THz και μπορεί να συγκριθεί με τα χερσαία οπτικών ινών συστήματα. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτού του εύρους ζώνης είναι ότι μπορεί να παραδοθεί σε μία ολόκληρη χώρα ή την περιοχή του ωκεανού για να υλοποιηθούν οι απαιτήσεις πολλών υπηρεσιών ταυτόχρονα.

Βέβαια το κάθε αντικείμενο έχει δύο όψεις οπότε έχουμε και εδώ κάποια προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ακόμα και αν αυτό το μεγάλο εύρος ζώνης αποτελεί μια μεγάλη χωρητικότητα καναλιού, υπάρχουν καταστάσεις σε ορισμένες περιοχές που δεν είναι εύκολο να εξυπηρετήσουν επιπλέον δορυφόροι. Για παράδειγμα στη Βόρεια Αμερική υπάρχουν πάνω από 35 δορυφόροι που υποστηρίζουν την λειτουργία αυτής της ζώνης σε τροχιακό επίπεδο με τόξο 70° (μοιρών). Αυτό οδήγησε την επιτροπή FCC το 1985 να εγκρίνει την ριζοσπαστική αλλά συνάμα απαραίτητη τη χρήση της διπλής (spacing) απόστασης των δορυφόρων μεταξύ τους. Τώρα όσο αφορά τις GEO τροχιές για την C-Band και την Ku-Band ο διαχωρισμός ως προς τη χρήση τους προτάθηκε ανάλογα τις περιοχές με υψηλή βροχόπτωση και τις εγχώριες περιοχές. Η πρώτη ζώνη εκ των δύο έχει μειωμένη εξασθένιση λόγω βροχής και αποτελεί ζωτικό θέμα να χρησιμοποιηθεί ανάλογα.

Παρ' όλα τα καλά που αναφέραμε για την ζώνη αυτή δηλαδή την μειωμένη εξασθένιση του σήματος λόγω βροχής και το μεγάλο εύρος ζώνης της οι επίγειες κεραιές-κάτοπτρα πρέπει να έχουν πολύ μεγάλες διαστάσεις (διαμέτρου από 1 έως

2,4 μέτρα) για να «πιάνουν» το σήμα. Ειδικά οι επίγειοι σταθμοί για υψηλών απαιτήσεων εφαρμογές (π.χ. HD) μπορεί να έχουν κάτοπτρα που φτάνουν τα 13 μέτρα άνοιγμα. Αυτό συμβαίνει πρώτον επειδή οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι πολύ μακριά και δεν έχουν την απαιτούμενη ισχύ ώστε να λάβουν ή να στείλουν το σήμα και με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η κατευθυντικότητα της κεραίας. Και δεύτερον επειδή οι ίδιες συχνότητες χρησιμοποιούνται και σε άλλες επίγειες εφαρμογές, με το μεγαλύτερης διαμέτρου πιάτο πετυχαίνουμε επαρκή μετάδοση του σήματος χωρίς να τις παρεμβάλουμε. Τελικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η C-Band θα αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο λόγω των νέων τεχνολογιών συμπίεσης βίντεο που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας κατά την μετάδοση.

#### 5.2.4 X-Band

Βάσει των κανόνων που έχει θέσει ο διεθνής οργανισμός διαχείρισης του φάσματος (ITU), η ζώνη αυτή χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κυβερνητικούς και στρατιωτικούς σκοπούς. Πολλοί είναι αυτοί που ζήτησαν ένα μέρος του φάσματος της γιατί αυτή η ζώνη είναι εξίσου αποδοτική της προηγούμενης που αναπτύξαμε. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές όπως DTH (Direct-to-Home) και σε δίκτυα VSAT καθώς δεν θα χρειάζονταν τα μεγάλα διαμέτρου κάτοπτρα λόγω της υψηλότερης συχνότητας. Ωστόσο ο εξοπλισμός για αυτή τη ζώνη είναι δυσεύρετος και ακριβός καθώς υποστηρίζεται από υψηλή ποιότητα για να αντέχει στις συνθήκες που χρησιμοποιείται. Επίσης είναι και πολύπλοκος γιατί σε αυτές τις συχνότητες λειτουργούν και άλλες εφαρμογές (π.χ. GSM) και ακολουθείται αυστηρή κωδικοποίηση του σήματος για τις τυχόν υποκλοπές και για τον συντονισμό του ώστε να μην δημιουργούνται παρεμβολές.

#### 5.2.5 Ku-Band

Παραπάνω αναφέραμε ότι και η C-Band έχει διευρυμένο φάσμα αλλά σε αυτή την ζώνη διατίθενται 750MHz για τις υπηρεσίες FSS (βλ. Παρ. 1.5.1) και 800MHz για τις υπηρεσίες BSS (βλ. Παρ. 1.5.2), δηλαδή η Ku-Band διαθέτει ακόμα μεγαλύτερο φάσμα προς μετάδοση. Και σε αυτή την ζώνη χρησιμοποιούμε μετάδοση με διπλή πόλωση, δηλαδή στέλνουμε άλλα δεδομένα κατά τον κατακόρυφο άξονα και άλλα κατά τον οριζόντιο. Επίσης οι δορυφόροι σε αυτή τη ζώνη έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν διαφορετικές δέσμες σημάτων σε ξεχωριστές περιοχές. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουμε σε αυτή τη ζώνη είναι ότι σε συνδυασμό με τα παραπάνω και με τη χρήση των διαφορετικών συνδέσεων που παρέχουν οι δορυφόροι και τις διάφορες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που

χρησιμοποιούνται το φάσμα της υπολογίζεται να αγγίζει τα 4THz. Αυτό γιατί με όλες τις παραπάνω αναφερθείσες τεχνικές έχουμε 10 φορές καλύτερη απόδοση λόγω της επαναχρησιμοποίησης του φάσματος. Ακόμα η υψηλή συχνότητα μετάδοσης σε αυτή την ζώνη καθιστά τη χρήση φτηνών τερματικών γιατί οι κεραιές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι μικρού διαμετρήματος και με την ίδια απόδοση στην ανάλογη ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) συγκριτικά με την C-Band που χρειαζόμαστε μεγάλα κάτοπτρα. Έτσι έγινε εφικτό να διατεθούν υπηρεσίες DTH όπως τα δίκτυα VSAT και λόγω του μειωμένου κόστους που αναφέραμε αυτή η ζώνη αγαπήθηκε από το ευρύ κοινό και έφερε την δορυφορική τηλεόραση σε πολλά σπίτια. Επίσης επωφεληθήκαμε του γεγονότος της έλλειψης μετάδοσης χερσαίων μικροκυμάτων στις ίδιες συχνότητες και των αναπτυγμένων πλέον κωδικών διόρθωσης λαθών □ και έτσι αναπτύχθηκαν οι αμφίδρομες υπηρεσίες όπως μετάδοσης φωνής και δεδομένων όπως το δορυφορικό διαδίκτυο. Το μόνο πρόβλημα που παραμένει είναι η αυξημένη εξασθένηση λόγω της βροχής σε σχέση με την C-Band που αναφέραμε παραπάνω.

### 5.2.6 Ka-Band

Η ζώνη λειτουργίας θεωρητικά για αυτή τη ζώνη είναι 26,5-40GHz και από αυτά μόνο τα 2GHz είναι διαθέσιμα για την ανερχόμενη και την κατερχόμενη ζεύξη. Πιο συγκεκριμένα διατίθενται 500MHz για τις μεταδόσεις από και προς σταθερά επίγεια τερματικά και άλλο τόσο φάσμα για άλλες υπηρεσίες που αφορούν όλες τις άλλες υπάρχουσες τροχιές εκτός της γεωσύγχρονης. Εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπηρεσίες που δεν λειτουργούν σωστά σε χαμηλότερες συχνότητες λόγω των ιδιοτήτων διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος αλλά και του αυξημένου όγκου του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Λόγω της ακόμα πιο υψηλής συχνότητας στην εν λόγω ζώνη μπορούμε να διαιρέσουμε σε περισσότερα τμήματα τις εκπομπές και θεωρητικά από περισσότερους δορυφόρους για να καλύψουμε πολλά διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση στον αριθμό χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν.

Βέβαια δεν παύει να παραμονεύει το πρόβλημα της εξασθένησης που στην εν λόγω ζώνη γίνεται ακόμα πιο αισθητό. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να μειωθεί αυξάνοντας την εκπεμπόμενη ισχύ στους δορυφόρους και την ευαισθησία στους δέκτες. Δεδομένου της συχνότητας της ζώνης τα τερματικά μπορεί να είναι και USATs (Ultra-small aperture terminals) δηλαδή εξαιρετικά μικρού διαμετρήματος και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευκολότερα (π.χ. σε σκάφη) με την ίδια ένταση της ακτινοβολούμενης ισχύος.

Η Ka-Band μπορεί να παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο με τα χαμηλού κόστους τερματικά που αναφέραμε πρωτίστως. Σύμφωνα με μελέτες πολλοί υποστηρικτές της αναφέρουν ότι οι ταχύτητες μιας αμφίδρομης

επικοινωνίας θα είναι μεταξύ των 384Kbps – 20Mbps. Αυτές οι τιμές είναι τις περισσότερες φορές ενδεικτικές και επιτυγχάνονται με συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Επίσης έχουν γίνει απόπειρες και εφαρμογές κυρίως στις μη-γεωσύγχρονες τροχιές με τους πιο γνωστούς αστερισμούς που ανά τα χρόνια ο αριθμός των δορυφόρων που θα τις υποστήριζε έχει μειωθεί σταδιακά στους 30. Κάποιο φάσμα της εν λόγω ζώνης έχει χρησιμοποιηθεί και πάλι για στρατιωτικές εφαρμογές και ένα μέρος της για απευθείας μετάδοση GBS (Global Broadcast Service) σε πλοία και άλλα χερσαία τερματικά, κυρίως λόγω των μικρών κεραιών.

### 5.2.7 Επιλογή ζώνης συχνότητων

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι οι συχνότητες άνω των 30GHz δεν χρησιμοποιούνται παρά μόνο για πειραματικούς σκοπούς λόγω του φαινομένου της εξασθένησης λόγω της βροχής και της ατμοσφαιρικής απορρόφησης που ολοένα και επιδρά αρνητικά στο εκπεμπόμενο σήμα όσο η συχνότητα αυξάνεται. Έτσι οι ζώνες Q-Band, V-Band και W-Band που θεωρητικά υπάρχουν ακόμα μελετούνται και προσπαθούν να βρεθούν βελτιώσεις ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εκτός από αυτές τις ζώνες, στην παράγραφο (3.1.2) αναφερθήκαμε σε κάποιες νέες τεχνικές βελτίωσης της μετάδοσης. Εκεί σημειώθηκε ότι χρησιμοποιείται και η χρήση ακτινών λέιζερ για τις ανάγκες της μετάδοσης. Αυτός ο τρόπος δεν είναι πολύ αποδοτικός αλλά είναι απαραίτητος για την επικοινωνία με υποβρύχια καθώς αυτή η συχνότητα μπορεί να μεταδοθεί στο νερό. Ωστόσο η επιλογή της ζώνης γίνεται ανάλογα την εφαρμογή και τον όγκο δεδομένων που χρειάζεται για την σωστή λειτουργία της. Όσο μεγαλύτερο όγκο χρειαζόμαστε, καταφεύγουμε σε μεγαλύτερο τηλεπικοινωνιακό κανάλι (απόσταση) και σε υψηλότερη συχνότητα. Επίσης γίνεται λεπτομερής εξέταση των αρνητικών επιπτώσεων που υφίσταται σε κάθε ζώνη λόγω της βροχής και τους χρόνους καθυστέρησης που έχει η κάθε μία ανάλογα τον αστερισμό που χρησιμοποιεί και το είδος της τροχιάς. Άρα ένας παράγοντας είναι και το κλίμα που έχει η κάθε περιοχή. Συνυπολογίζοντας το κόστος και το μέγεθος του εξοπλισμού, τις χρεώσεις και όλες τις παραπάνω παραμέτρους θα είμαστε σε θέση να επιλέξουμε την σωστότερη ζώνη για την προς λειτουργία εφαρμογή μας.



### 5.3 Το τηλεπικοινωνιακό κανάλι και τα χαρακτηριστικά του

Το τηλεπικοινωνιακό κανάλι είναι το μέσο μετάδοσης για την επίτευξη μιας ζεύξης μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη. Το φυσικό μέσο αυτό θα μπορούσε να είναι ένα συρμάτινο ζεύγος το οποίο μεταφέρει το ηλεκτρικό σήμα, μία οπτική ίνα που η πληροφορία σε αυτή θα ήταν διαμορφωμένη σαν φωτεινή δέσμη ή ένα υποβρύχιο κανάλι στη θάλασσα που το σήμα θα ήταν ακουστικό ή ακόμα με τη μορφή δέσμης λέιζερ όπως αναφέραμε παραπάνω.

Στην περίπτωση την δική μας το σήμα μεταφέρεται μέσω της ατμόσφαιρας ή ακόμα καλύτερα και πέραν από αυτή με τη χρήση μίας κεραίας που ακτινοβολεί ραδιοσήματα.

Το κοινό πρόβλημα που παρουσιάζεται σε όλα τα κανάλια μετάδοσης είναι ο **προσθετικός θόρυβος**. Το επίθετο 'προσθετικός' οφείλεται στην ιδιότητα του θορύβου που είναι ένα τυχαίο σήμα με πολύ υψηλή συχνότητα επειδή επικάθεται πάνω στο σήμα της καθαρής πληροφορίας κυρίως στις κορυφές του. Μπορεί να είναι θερμικός λόγω των διατάξεων (πχ. αντιστάσεις) είτε να προέρχεται από άλλους χρήστες που χρησιμοποιούν το κανάλι ή από άλλες ακτινοβολίες ή ακόμα από το ίδιο το μέσο. Επιδρά αρνητικά στο πλάτος και την φάση του σήματος με αποτέλεσμα να το αλλοιώνει και να μειώνει την ισχύ του. Ωστόσο θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί αλλά τίθενται κάποιοι περιορισμοί στην ισχύ του πομπού αλλά και στους ρυθμούς μετάδοσης. Αυτοί οι περιορισμοί οφείλονται στις ιδιότητες των υλικών που είναι φτιαγμένοι οι πομποί και οι δέκτες αλλά και στο φυσικό μέσο. Υπάρχουν και άλλα είδη θορύβου που θα τα αναλύσουμε παρακάτω. Για να έχουμε μια αξιόπιστη μετάδοση θα πρέπει να υπακούσουμε στο **θεώρημα Shannon** και στο λόγο Σήματος προς Θόρυβο S/N (Signal to Noise Ratio) που θα αναπτύξουμε παρακάτω. Αν δηλαδή ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας (R) είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με τη χωρητικότητα (C) του καναλιού, τότε και μόνο θα μπορούμε να πετύχουμε μια κωδικοποίηση με λιγιστά σφάλματα. Ο θόρυβος επίσης τείνει να αυξάνεται όσο ανεβάζουμε το ρυθμό μετάδοσης και κάνουμε πιο πολύπλοκη την κωδικοποίηση. Σε ένα ιδανικό κανάλι βάσει του Nyquist, η **χωρητικότητά** (C) του θα εξαρτιόταν μόνο από το εύρος ζώνης (B) και τον αριθμό (M) που θα χαρακτήριζε τις διάφορες στάθμες του σήματος:  $C = 2B \log_2 M$ .

Ένα άλλο πρόβλημα είναι η **καθυστέρηση** που παρουσιάζεται κατά την μετάδοση του σήματος. Τα ραδιοσήματα είναι και αυτά κύματα και κινούνται με την ταχύτητα του φωτός ( $3 \cdot 10^8$  m/s). Είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί στο σύμπαν και όσο και να μας φαίνεται παράξενο έχουμε καθυστέρηση του σήματος λόγω της απόστασης. Είναι ένα φυσικό φαινόμενο και γίνεται ιδιαίτερα αισθητό στις μεγάλες αποστάσεις. Ειδικότερα στην επικοινωνία επίγειων σταθμών με τους δορυφόρους στην γεωστατική τροχιά λόγω των 35.786Km που τους χωρίζουν. Για μία αμφίδρομη επικοινωνία θα έχουμε την διπλάσια απόσταση άρα και διπλάσια καθυστέρηση που ανέρχεται περίπου στα 550ms. Μέχρι τώρα αναφέραμε για τους δορυφόρους ότι δεν

λειτουργούν απλώς σαν αναμεταδότες, αλλά λαμβάνοντας ένα σήμα μπορεί να το υποβιβάσουν σε χαμηλότερη συχνότητα, να το κωδικοποιήσουν και να το κρυπτογραφήσουν. Όταν γίνει όλη αυτή η διαδικασία θα πρέπει με το υπολογιστικό τους σύστημα να επιλέξουν την δέσμη που θα στείλουν και να υπολογίσουν την ισχύ με την οποία θα το κάνουν αυτό. Όλη αυτή επεξεργασία σε συνδυασμό και με το πότε θα εκπέμψουν ανάλογα τον όγκο του καναλιού, επιφέρει μια επιπλέον καθυστέρηση και ονομάζεται *καθυστέρηση επεξεργασίας*. Επίσης έχουμε αρνητική συνεισφορά σε αυτή την καθυστέρηση όταν γίνεται *έλεγχος λαθών* και όταν το κανάλι επικοινωνίας έχει αυξημένη *συμφόρηση*. Έχει αποδειχτεί ότι όταν σε μία ζεύξη έχουμε πολλούς διαμεσολαβητές και όχι απευθείας μετάδοση η συχνότητα λαθών αυξάνεται. Τα δύο τελευταία που αναφέραμε μαζί με το ελάχιστο εύρος ζώνης που θα δούμε παρακάτω, μας αναγκάζουν να έχουμε ένα σύστημα ανατροφοδότησης μακροχρόνιο που πρέπει να ξαναστέλλει ένα πακέτο TCP (θα αναφερθούμε σε αυτό παρακάτω) όταν αντιληφθεί ότι δεν μεταδόθηκε σωστά ή ότι δεν έχει λάβει επιβεβαίωση αποστολής. Όπως είχαμε δει (Παρ. 5.2) στις ζώνες συχνοτήτων έχουμε κάποιο περιορισμό στη χρήση του *εύρους ζώνης* και αυτός μπορεί να είναι είτε φυσικός επειδή δεν έχουμε απεριόριστο φάσμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε από Διεθνείς Οργανισμούς που δίνουν άδειες χρησιμοποίησης κάποιου φάσματος σε συγκεκριμένους φορείς για συγκεκριμένες υπηρεσίες. Για παράδειγμα ένα μέρος διατίθεται για κινητές, άλλο για δορυφορικές επικοινωνίες ή ακόμα για ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές. Η μεγάλη απόσταση της ζεύξης συνεπάγεται και αυξημένη καθυστέρηση που αν πολλαπλασιαστεί με το διαθέσιμο εύρος ζώνης μας δίνει το γινόμενο *delay\*bandwidth (DBP)*. Αυτό το γινόμενο μας περιγράφει τον όγκο πληροφορίας που μπορεί να μεταφερθεί στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι. Αυτή η πληροφορία είναι η μέγιστη που μπορεί να σταλθεί πριν το κανάλι «γεμίσει» και απαριθμεί όλα τα πακέτα που βρίσκονται μεταξύ πομπού και δέκτη, δηλαδή την ώρα που μεταφέρονται. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε αυτό το γινόμενο για να έχουμε μέγιστη χρησιμοποίηση του καναλιού χωρίς να χάνουμε δεδομένα. Φυσικό είναι το γινόμενο αυτό να αυξάνεται αν έχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε ένα κανάλι μεγάλης χωρητικότητας.

### 5.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά επίγειων σταθμών

Μέχρι τώρα μιλήσαμε για την επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων με τους επίγειους σταθμούς και αναλύσαμε τα είδη των δορυφόρων και την όλη λειτουργία τους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε βασικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού σταθμού βάσης. Σε μία αμφίδρομη επικοινωνία οι σταθμοί βάσης μοιάζουν με τους δορυφόρους όσον αφορά το τμήμα επεξεργασίας του σήματος. Συνήθως οι σταθμοί βάσης λαμβάνουν ένα

σήμα που μεταφέρεται από το διαμορφωμένο φέρον. Οι ζώνες που χρησιμοποιούνται για το uplink και το downlink είναι διαφορετικής συχνότητας για να μην υπάρχουν παρεμβολές. Το φέρον που λαμβάνεται από τον οποιοδήποτε σταθμό προέρχεται από έναν ή περισσότερους δορυφόρους και ξεχωρίζεται με ζωνοδιαβατό φίλτρο. Για την περαιτέρω επεξεργασία του σήματος το υποβιβάζουμε σε χαμηλότερη συχνότητα γιατί η υλοποίηση φίλτρων σε τόσο υψηλές συχνότητες θα απαιτούσε υψηλού βαθμού φίλτρα και θα ανέβαζε το κόστος. Έτσι μόλις πραγματοποιηθεί αυτό, το σήμα πλέον είναι βασικής ζώνης και επεξεργάζεται. Για να σταλεί κάνει πάλι την αντίθετη διαδικασία όπου το σήμα διαμορφώνεται ξανά, ενισχύεται και είναι έτοιμο για εκπομπή.

Στο εισαγωγικό κομμάτι αυτής της ενότητας μιλήσαμε για τη χωρητικότητα ενός καναλιού που εξαρτάται από το εύρος ζώνης. Έτσι και εδώ όταν αναφερόμαστε σε ένα σταθμό βάσης και τον θεωρούμε σαν απλό πομπό τότε η **συνολική χωρητικότητα** του είναι ανάλογη του εύρους ζώνης που έχει στην διάθεση για να εκπέμψει. Αν όμως έχει την δυνατότητα να στείλει και σε άλλα τερματικά, τότε η χωρητικότητα του εξαρτάται και από τον αριθμό των τερματικών που πρόκειται να στείλει, υπολογίζοντας πάντα και διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων που έχει. Τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά ισχύουν και για τους δορυφόρους.

Όταν αναφερθήκαμε στα LNB είδαμε ότι για να πετύχουμε καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος, χρησιμοποιούμε δύο διαφορετικές πόλωσης. Το σήμα που δέχεται ένα LNB στέλνεται συνήθως αμέσως από τους δορυφόρους. Υπάρχουν όμως εφαρμογές όπου το σήμα φτάνει πρώτα σε έναν σταθμό βάσης και μετά στέλνεται και σε άλλα τερματικά. Έτσι οι σταθμοί χρησιμοποιούν **γραμμική πόλωση** και στέλνουν δύο διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα. Άλλο για τη κατακόρυφη και άλλο για την οριζόντια πόλωση. Για να πετύχουμε τα μέγιστα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την κατάλληλη πόλωση ανάλογα με ποιον τρόπο στάλθηκε το σήμα. Αν πάλι κάνουμε το αντίθετο το σήμα που θα λάβουμε θα είναι εξασθενημένο πάρα πολύ και δεν θα μπορούμε να το αποδιαμορφώσουμε. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιείται και κυκλική πόλωση αλλά αυτό σπάνια γιατί είναι πιο επιρρεπής στο θόρυβο και απαιτεί πολύπλοκο εξοπλισμό για την αποδιαμόρφωσή της.

Για να λειτουργήσουν σε αρμονία οι επίγειοι σταθμοί με τους δορυφόρους πρέπει ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουν τη θέση των δορυφόρων και αυτό επιτυγχάνεται με ένα σήμα που στέλνεται από τους τελευταίους και ονομάζεται αναγνωριστικό ή **ραδιοφάρος (Beacon)**. Αυτό το φαινόμενο συνηθίζεται στις χαμηλές τροχιές λόγω των γρήγορων ταχυτήτων κίνησης των δορυφόρων. Σε αντίθεση με τους GEO δορυφόρους που παραμένουν σταθεροί πάνω από ένα σημείο της γης και ένα τέτοιο σήμα δεν είναι συνήθως απαραίτητο. Το σήμα αυτό στέλνεται σε συγκεκριμένη συχνότητα και συνήθως είναι διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιούν για εκπομπή και λήψη. Σε συνδυασμό με το αναγνωριστικό σήμα υπάρχει και το **footprint** που σημαίνει **αποτύπωμα**. Όπως το προδίδει το όνομα του, χρησιμοποιείται για να απεικονίσουμε τις περιοχές που στέλνει ο



δορυφόρος αλλά και με τι ισχύ το πετυχαίνει αυτό. Έτσι γίνεται η κατάλληλη επιλογή του πιάτου που θα χρησιμοποιηθεί. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η ισχύς (που μετριέται σε dB) μειώνεται η διάμετρος του τερματικού που πρέπει να τοποθετηθεί. Για παράδειγμα το τερματικά των 60cm (VSATs) που χρησιμοποιούνται συνήθως για τηλεοπτική λήψη λαμβάνουν σήμα έντασης 52dBW. Η λήψη των δεδομένων στους σταθμούς γίνεται ακτινοβολία. Οι δορυφόροι μπορούν να στείλουν το σήμα με *δέσμες-beams* που είτε παραμένουν σταθερές και εκπέμπουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο, είτε είναι κινούμενες ή ακόμα θα χρησιμοποιούνται για σήματα ραδιοφάρου (υπερδέσμες). Ουσιαστικά η δέσμη εκφράζει την κατεύθυνση του κεντρικού λοβού της κεραίας. Εκ φύσεως επειδή ο δορυφόρος έχει συγκεκριμένο εύρος έντασης ακτινοβολίας όταν τη τεμαχίζει σε πολλές δέσμες, θα καταλήξουμε σε ασθενή σήματα συγκριτικά με το αν χρησιμοποιούσε όλη την ισχύ για μία δέσμη. Όπως αναφέραμε και πρωτότερα, οι υπερδέσμες συνήθως απαιτούνται για τους δορυφόρους στις χαμηλότερες τροχιές ενώ η μονή θεωρητικά δέσμη στους GEO δορυφόρους.

Για να λειτουργήσουν όλα τα παραπάνω και να έχουμε μια επιτυχή ζεύξη, οι σταθμοί βάσης δέχονται αρκετές πληροφορίες όσον αφορά τις συχνότητες και το εύρος ζώνης που λειτουργεί ένας δορυφόρος, με ποια δέσμη το πετυχαίνει αυτό, καθώς και σε ποια άλλα τερματικά στέλνει με την ταυτότητα του καθενός. Ακόμα από το εύρος ζώνης πρέπει να γνωρίζει και ποιες συχνότητες αντιστοιχούν για την ανερχόμενη και την κατερχόμενη ζεύξη και με τι πόλωση. Τις πληροφορίες αυτές που δέχεται τις ταξινομεί σε ένα πίνακα που ονομάζεται *πίνακας συχνοτήτων (Frequency plan)*. Για παράδειγμα όταν λάβει όλα τα στοιχεία ειδικά για το εύρος, θα υπολογίσει το κέρδος της κεραίας του ώστε να λάβει το σήμα επαρκώς και χωρίς να καταναλώσει παραπάνω ενέργεια από την απαιτούμενη.

### 5.3.2 Μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης και προσπέλασης

Με τη μέχρι τώρα αναφορά που έχουμε κάνει για τις μεταδόσεις και πιο συγκεκριμένα για τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την μετάδοση στο τηλεπικοινωνιακό κανάλι καταλήξαμε ότι πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόδοση ενός δορυφορικού συστήματος, είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Έτσι για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε στο έπακρον το μέσο μετάδοσης χρησιμοποιούμε διάφορες τεχνικές ώστε να εξυπηρετηθούν οι όλο και αυξανόμενοι χρήστες των δορυφορικών συστημάτων. Κάποιες από τις τεχνολογίες δημιουργήθηκαν πριν ακόμα καταφύγουμε σε αυτά τα συστήματα μετάδοσης, και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στις κάθε είδους ασύρματες επικοινωνίες. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι για να φτάσουμε στο στάδιο της πολλαπλής πρόσβασης (*multiple access*), περάσαμε πρώτα από τα σκαλοπάτια των από σημείο προς σημείο (*point-to-point*) και από σημείο προς πολλά σημεία (*point-to-multipoint*) τεχνολογιών. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν έπαψαν εντελώς να



χρησιμοποιούνται. Πρέπει να υπενθυμισθεί ότι τα σήματα που δέχονται και λαμβάνουν οι δορυφόροι και οι επίγειοι σταθμοί μετατρέπονται σε ραδιοσήματα και μεταδίδονται με ένα διαμορφωμένο φέρον. Ωστόσο στο εσωτερικό τους για να τα επεξεργαστούν σωστά και να τα στείλουν εκεί που πρέπει, τα σήματα αυτά μετατρέπονται σε πακέτα και τεμαχίζονται (κυρίως χρονικά ή συχνοτικά) με τη βοήθεια κάποιων πρωτοκόλλων που θα αναφέρουμε παρακάτω. Επίσης πρέπει να θυμηθούμε το γινόμενο  $\text{delay} \cdot \text{bandwidth}$  που επηρεάζεται από τις καθυστερήσεις και το εύρος ζώνης. Σε άλλα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας δεν έχουμε τόσο μεγάλους χρόνους καθυστέρησης και χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα όπως το CSMA/CD για την αποφυγή συγκρούσεων στην τυχόν ταυτόχρονη εκπομπή. Στις δορυφορικές επικοινωνίες λόγω του μεγάλου χρόνου καθυστέρησης (π.χ. 500ms) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παραπάνω πρωτόκολλο. Έτσι αναλαμβάνει το υποεπίπεδο MAC (Media Access Control) που ανήκει στο δεύτερο επίπεδο του μοντέλου OSI και ονομάζεται επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer). Το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία της επιτυχής ζεύξης και το σωστό διαμερισμό των προς μετάδοση πακέτων προς τους χρήστες με τις τεχνικές επιμερισμού συχνότητας, χρόνου, κώδικα και χώρου. Έτσι πολλαπλή πρόσβαση ονομάζεται ο συνδυασμός όλων των διαδικασιών και των πρωτοκόλλων που απαιτούνται για την επίτευξη σωστής επικοινωνίας μεταξύ των δορυφόρων με τους επίγειους σταθμούς άνευ παρεμβολών από τους άλλους σταθμούς.

### 5.3.2.1 Polling

Για να επικοινωνήσει ένας επίγειος σταθμός με κάποιον δορυφόρο, πρέπει πρώτα να στείλει ένα σήμα ειδοποίησης προς τον δορυφόρο. Λόγω των αυξημένων χρόνων καθυστέρησης στις δορυφορικές ζεύξεις, το σήμα αυτό καθυστερεί να δοθεί και αν εκείνη τη στιγμή ήδη κάποιος άλλος σταθμός επικοινωνεί με τον δορυφόρο αυτό δημιουργείται πρόβλημα στη ζεύξη. Άρα πρέπει να δημιουργηθεί κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Αυτό δεν μπορεί να υλοποιηθεί από τον δορυφόρο γιατί απαιτείται πολύπλοκο και ακριβό σύστημα. Αν υποθετικά μιλώντας υπήρχε αυτό και πάθαινε βλάβη θα ήταν αναγκαία η εκτόξευση ενός νέου δορυφόρου, ενώ τώρα είναι ευκολότερο να διορθωθεί κάτι τέτοιο στους σταθμούς βάσης. Έτσι με το polling δημιουργείται ένα λογικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών, όπου ο καθένας έχει για κάποιο χρόνο στην διάθεση του ένα «κουπόνι ζήτησης εξυπηρέτησης». Αυτός που έχει κάθε φορά το κουπόνι αυτό, μπορεί να μεταδώσει δεδομένα προς τον δορυφόρο μέσω της ανερχόμενης ζεύξης. Όπως σημειώθηκε πιο πάνω οι σταθμοί βάσης έχουν για κάποιο χρόνο το κουπόνι ο καθένας. Αυτός ο χρόνος όπως γίνεται αντιληπτό αυξάνεται ανάλογα τον αριθμό των σταθμών. Αν ο συνολικός αυτός χρόνος είναι μικρότερος από τον χρόνο μετάδοσης του σήματος από τους επίγειους σταθμούς προς τον δορυφόρο, τότε το σύστημα αυτό θα είναι αποδοτικό.

### 5.3.2.2 ALOHA

Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε από το πανεπιστήμιο της Χαβάης το 1970 για τη δικτύωση των υπολογιστών. Το αρχικό πρωτόκολλο δεν ήταν πολύ αποδοτικό γιατί η λειτουργία του ήταν πολύ απλή και έφτανε στη καλύτερη περίπτωση στο 18% της χρησιμοποίησης του διαύλου. Για αυτό ονομάστηκε και pure-Aloha. Η λειτουργία του ήταν να επιτρέπει στους σταθμούς που έχουν να στείλουν δεδομένα να μεταδίδουν και μόνο αν συνέβαινε κάποια σύγκρουση τους επέβαλε να στείλουν αργότερα. Το αργότερα όμως είναι σχετικό και οι συγκρούσεις ήταν πολλές γιατί όλο και κάποιος θα έστελνε την ίδια χρονική στιγμή. Αργότερα εμφανίστηκε ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο το Slotted-Aloha που διαίρεσε τους χρόνους που επιτρέπεται η εκπομπή. Έτσι με τις χρονοθυρίδες αυτές μειώθηκε η πιθανότητα που θα έστελναν δύο σταθμοί την ίδια χρονική στιγμή, άρα μειώθηκε και πιθανότητα σύγκρουσης. Έτσι διπλασιάστηκε η απόδοση του συστήματος αυτού (36%) σε σχέση με το προγενέστερό του. Και πάλι όμως δεν υπάρχει συγχρονισμός για το ποιος σταθμός θα «μιλήσει» και αυτό το πετυχαίνει ο δορυφόρος χρησιμοποιώντας ισόχρονα τμήματα για τη αποστολή και λήψη των σημάτων. Αυτή την ικανότητα την έχει ο δορυφόρος επειδή έχει ευρεία κάλυψη προς τους σταθμούς βάσης. Λόγω του ίσου χρονικά διαμερισμού προς τους σταθμούς, όσο λιγότερους σταθμούς έχουμε, το σύστημα γίνεται αποδοτικότερο.

### 5.3.2.3 FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Η ακριβής μετάφραση αυτής της τεχνικής είναι πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας. Όπως προδίδει και το όνομα της, πραγματοποιείται χρήση του διαθέσιμου φάσματος όπου διαμερίζεται σε μικρότερα φάσματα. Οι λεγόμενες υποφέρουσες είναι αυτές που χρησιμοποιεί ο κάθε επίγειος σταθμός για να στείλει προς τον δορυφόρο (σε συγκεκριμένη συχνότητα η κάθε μια για το ανοδικό κανάλι). Το φάσμα των υποφερουσών εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών βάσης που όσο περισσότεροι είναι, τόσο μικρότερο τείνει να γίνεται το φάσμα. Ένα πρόβλημα σε αυτή την τεχνική είναι η σπατάλη φάσματος γιατί ενδιάμεσα των ζωνών αυτών πρέπει να αφήνεται ένας κενός χώρος για την αποφυγή παρεμβολών. Ο δορυφόρος εφόσον λάβει ολόκληρο το φάσμα, το αναμεταδίδει προς όλους τους σταθμούς που εξυπηρετεί αφού το διαμορφώσει πρώτα στη συχνότητα της κατερχόμενης ζεύξης. Οι επίγειοι σταθμοί με την σειρά τους λαμβάνουν το μεταδιδόμενο σήμα (όλο το φάσμα) και με κατάλληλα φίλτρα επιλέγουν την υποφέρουσα που τους αντιστοιχεί και το αποδιαμορφώνουν. Ο τρόπος διαμοιρασμού των συχνοτήτων είναι αναλογικός και έτσι αρχικά χρησιμοποιήθηκε για αναλογικές τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αργότερα για μετάδοση τηλεοπτικών καναλιών και πλέον ψηφιακών τηλεφωνικών συνδιαλέξεων. Ένα κανάλι ελευθερώνεται μόνο όταν το σήμα πλέον βρίσκεται στην

κατερχόμενη ζεύξη και ο επίγειος σταθμός ενημερώσει τους υπόλοιπους. Υπάρχουν δύο στρατηγικές ανάθεσης της χωρητικότητας (που θα δούμε παρακάτω) για την καλύτερη χρησιμοποίηση του φάσματος όταν δεν έχουμε πλήρη χρησιμοποίηση του από τους σταθμούς βάσης.

#### 5.3.2.4 TDMA (Time Division Multiple Access)

Σε αντίθεση με την προηγούμενη μέθοδο, εδώ τα κανάλια διαχειρίζονται χρονικά. Όπως και στο S-Aloha που είχαμε αναφέρει πιο πάνω απαιτείται χρονισμός μεταξύ των σταθμών για το πότε θα στείλουν, το ίδιο συμβαίνει και εδώ. Στην προκειμένη περίπτωση ένας σταθμός (ο κύριος) με την βοήθεια του δορυφόρου συγχρονίζει και τους υπόλοιπους. Αυτό είναι απαραίτητο να γίνει γιατί οι χρήστες χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες αλλά για διαφορετικές χρονικές στιγμές και όχι συνεχόμενα. Μεταξύ των εκπομπών μπορεί να υπάρχουν και κάποιες διατομές. Παρατηρώντας αυτές τις διατομές οι υπόλοιποι σταθμοί, μπορούν να καταλάβουν πότε ένα σήμα απευθύνεται σε αυτούς καθώς και πότε μπορούν εκείνοι να μιλήσουν. Αυτός είναι ένας αρκετά σύνθετος τρόπος πολυπλεξίας και όταν υπάρχουν πολλοί σταθμοί, απαιτείται δυναμικός και όχι στατικός διαμοιρασμός (κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στην FDMA και λύνεται με στρατηγική ανάθεσης βάση ζήτησης).

Υπάρχουν τρεις διατάξεις όσον αφορά τον διαμοιρασμό των διατομών. Η διάταξη **Binder** είναι η πιο απλή αλλά όχι και η πιο αποδοτική. Ένας σταθμός έχει προκαθορισμένη μία διατομή για να στέλνει. Όταν δεν θέλει να την χρησιμοποιήσει την σπαταλάει και την στέλνει κενή. Έτσι οι υπόλοιποι σταθμοί την χρησιμοποιούν μέχρι να κάνουν και αυτοί το ίδιο ή μέχρι να την χρειαστεί σταθμός που του ανήκει. Έτσι γίνεται και μεγάλη σπατάλη σε κάθε εναλλαγή σταθμού που την χρησιμοποιεί, αλλά και κάποιος σταθμός πρέπει να συγκρουστεί με κάποιον άλλο. Στην επόμενη διάταξη την **Crowther**, η λειτουργία γίνεται όπως το απλό Aloha. Εδώ δηλαδή δεν υπάρχει κάποιος κάτοχος της διατομής και όταν κάποιος σταθμός θέλει να στείλει, το κάνει τυχαία. Φυσικά με αυτό τον τρόπο δεν αποκλείονται οι πολλαπλές συγκρούσεις για την απόκτηση και εύρεση της διατομής. Η τρίτη διάταξη **Roberts**, θυμίζει το αναβαθμισμένο S-Aloha όπου έχουμε υποδιαίρεσεις του χρόνου σε μικρότερα τεμάχια (time-slots). Όταν κάποιος σταθμός επιθυμεί να μιλήσει καταφεύγει σε μια προσπάθεια να στείλει σε μια χρονοθυρίδα. Αν το επιτύχει αυτό χωρίς σύγκρουση από κάποιον άλλο, τότε συνεχίζει την αποστολή του για τις επόμενες χρονοθυρίδες που ακολουθούν. Με την τις χρονοθυρίδες αυτές (μικρότερες χρονικά διατομές), πρώτον δεν συμβαίνουν τόσο συχνά συγκρούσεις και δεύτερον ανάλογα με τον αριθμό τους ξέρουν οι υπόλοιποι σταθμοί πότε να προβούν και εκείνοι σε αποστολή για να μην υπάρχει σύγκρουση.



### 5.3.2.5 CDMA (Code Division Multiple Access)

Αυτή η μέθοδος επιτυγχάνει πολυπλεξία με διαίρεση κώδικα. Είναι η πιο πρόσφατη σε σχέση με τις ανωτέρω μεθόδους. Η λειτουργία της βασίζεται στη εξαπλωμένου εύρους πολλαπλή πρόσβαση (SSMA – Spread Spectrum Multiple Access). Αυτό το πετυχαίνει γιατί είναι ένα υβριδικό σύστημα μεταξύ πολυπλεξίας χρόνου και συχνότητας ανάλογα την απαίτηση ζήτησης που υπάρχει στο κανάλι επικοινωνίας, αλλά χωρίς την απαίτηση χρονικού συγχρονισμού. Έτσι μπορούμε να πετύχουμε ευρύτερη κάλυψη του ήδη δοθέντος φάσματος καθώς στέλνουμε σε περισσότερες δέσμες με τους δορυφόρους. Η αποστολή μπορεί είναι συνεχόμενη καθώς ενδιάμεσα στέλνονται και αναγνωριστικά σήματα και άλλα που μπορεί να μοιάζουν με θόρυβο (Pseudo-Noise). Με την ευρεία αυτή κάλυψη μπορεί να στέλνεται σε πολλούς δορυφόρους το ίδιο σήμα. Ο καθένας από αυτούς κάνει αποκωδικοποίηση στο σήμα που τον ενδιαφέρει και το υπόλοιπο φάσμα το αντιλαμβάνεται σαν θόρυβο. Με τη χρήση κώδικα και συγκεκριμένα ορθογώνιου, πετυχαίνουμε κανάλι με μικρό (BER-Bit Error Rate) ποσοστό σφαλμάτων με τη βοήθεια βέβαια άλλων συμπληρωματικών κωδικών, διόρθωσης λαθών και άλλους που θα δούμε παρακάτω. Αυτή η τεχνική βέβαια έχει και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Λόγω του μη απαιτούμενου συντονισμού και του ψευδοθορύβου συνεπάγεται η μειωμένη χωρητικότητα, η δυσκολονόητη και πολύπλοκη λειτουργία του. Επιπροσθέτως για να είναι αποδοτικό ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να κρατήσει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και συνεπώς και σφαλμάτων χαμηλούς, και ο αριθμός των χρηστών να είναι μεγάλος ώστε να με την ευρεία κάλυψη να αντισταθμίσουμε τη μειωμένη χωρητικότητα. Δεν παύει βέβαια να είναι η μοναδική ασφαλής μετάδοση συγκρινόμενη με τις παραπάνω λόγω της χρήσης κώδικα που δεν είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση και υποκλοπή σε οποιοδήποτε δέκτη. Επίσης με τη χρήση κώδικα δεν απαιτείται επιπλέον πληροφόρηση στο δέκτη για το ποιο σήμα είναι δικό του, και η ευρεία κάλυψη μπορεί να γίνει χωρίς την άδεια αποστολής καθώς η «ταυτότητα» του κάθε σήματος το καθιστά μοναδικό ανάμεσα σε πολλά άλλα μέσα στο κοινό κανάλι επικοινωνίας και δεν έχουμε παρεμβολές. Η ασφάλεια που παρέχεται σε αυτό το είδος την έκανε προσιτή στις στρατιωτικές εφαρμογές. Η αναβαθμισμένη σύγχρονη-CDMA (*S-CDMA*) με τον συνδυασμό χρόνου και συχνότητας που αποτελεί αυτή τη μέθοδο μαζί με τις μειωμένες παρεμβολές συνετέλεσαν στην εξέλιξη των MSS που μπορούσαν να λειτουργήσουν και με πολύ μικρές κεραιές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η CDMA χωρίζεται στην *DS-CDMA* (Direct Sequence) και την *FH-CDMA* (Frequency Hopping). Η πρώτη μπορούμε να πούμε ότι βασίζεται στη χρήση του ψευδοκώδικα που αναφέραμε παραπάνω. Έχουμε δηλαδή μία άμεση ακολουθία με παλμοσειρές που αποτελούνται από το σήμα δεδομένων και ανά χρονικά διαστήματα (chip) εισάγουμε έναν ψευδοθόρυβο-κώδικα. Έτσι δημιουργούμε ένα κωδικοποιημένο σήμα και το στέλνουμε. Ο κάθε



δέκτης είναι σε θέση να αναγνωρίσει το κάθε σήμα και να το αποκωδικοποιήσει σωστά μόνο όταν γνωρίζει τον ίδιο PN-code. Έτσι την κωδικοποιημένη ακολουθία που λαμβάνει τη ξανά πολλαπλασιάζει με τον ίδιο κώδικα για να πάρει το σωστό σήμα.

Η δεύτερη κατηγορία, δηλαδή η (*FH-CDMA*) μοιάζει σαν λειτουργία με την παραπάνω αλλά η διαφορά εδώ είναι ότι δεν έχω προκαθορισμένο κώδικα, αλλά μία ψευδοτυχαία ακολουθία. Στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούνται εντελώς τυχαίες παλμοσειρές, αλλά μία αρκετού μήκους ακολουθία που επαναλαμβάνεται (περιοδική). Όπως περιγράφει και το όνομά της περιοδική συχνότητα.

Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει το πρόβλημα του συντονισμού στο δέκτη ώστε να γίνει σωστά η αποκωδικοποίηση. Άλλο ένα πρόβλημα είναι το φαινόμενο πολυδιόδευσης (multipath) που μπορεί να αλλάξει τη φάση του σήματος και όταν έχουμε αντιστροφή (διαφορά φάσης  $180^\circ$ ) λόγω του απευθείας σήματος και του ανακλώμενου μπορεί να έχουμε μέχρι και καταστροφική συμβολή. Για παράδειγμα στο δορυφορικό ραδιόφωνο χρησιμοποιούνται και διαφορετικές πολώσεις για σήματα ίδιας συχνότητας στο TDMA και διαφορετικής στο FDMA. Έτσι με τέτοιες τεχνικές πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και με κάποιες άλλες προσπαθούμε να εξαλείψουμε τις παρεμβολές μεταξύ των δορυφορικών και των επίγειων εκπομπών, όπως με τη ρύθμιση της απολαβής και της κατευθυντικότητας της κεραίας. Τα τελευταία επιτυγχάνονται με τη σωστή ρύθμιση των ακτινών δεσμών που στέλνει ο δορυφόρος ανάλογα με τη επιθυμητή γεωγραφική κάλυψη. Ένα παράδειγμα είναι η μεταφορά δεδομένων με ένα κανάλι μόνο ανά φέρουσα, δηλαδή (*SCPC*) *Single Carrier Per Channel* που στέλνουν σε συγκεκριμένη συχνότητα και εύρος ζώνης. Ακόμα στη TDM πολυπλεξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αποστολή από σημείο προς σημείο ή προς πολλά σημεία με χρήση πολλαπλών καναλιών με πολλές υποφέρουσες, δηλαδή η (*MCPC*) *Multiple Carrier per Channel*.

### 5.3.2.6 Τεχνικές ανάθεσης χωρητικότητας με FAMA και DAMA

Αυτές οι δύο τεχνικές χρησιμοποιούνται και στην πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA), αλλά και με διαίρεση χρόνου (TDMA). Όταν αναφερόμασταν παραπάνω στις δύο αυτές τεχνικές, διαπιστώσαμε ότι παρουσιάζουν κάποια προβλήματα όσον αφορά τη σπατάλη του φάσματος που χρησιμοποιούν και στις καθυστερήσεις που δημιουργούνται κατά την αλλαγή και επιλογή των σταθμών βάσης που θα επικοινωνήσουν. Παρατηρήσαμε ότι σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος παίζει ο αριθμός των επικοινωνούντων επίγειων σταθμών και των σπασμωδικά ανενεργών. Για να λυθούν αυτά τα προβλήματα χρησιμοποιούμε την τεχνική *FAMA* όταν έχουμε πληρότητα χρήσης και αριθμού σταθμών που χρησιμοποιούν στο έπακρο το μέσο. Με αυτή τη μέθοδο έχουμε *πολλαπλή πρόσβαση με (fixed) προκαθορισμένη και σταθερή ανάθεση* του μέσου δηλαδή η διαθέσιμη χωρητικότητα που έχει

μοιραστεί στους σταθμούς είναι αμετάβλητη και σχεδόν ίδια με την συνολική χωρητικότητα του καναλιού. Αυτό μπορεί να υποστηριχθεί με μια δέσμη εκπομπής των δορυφόρων (SCPC) όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα. Η τεχνική *DAMA* υποστηρίζει πάλι *πολλαπλή πρόσβαση αλλά με ανάθεση ανάλογα την ζήτηση*. Αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου δεν έχουμε πλήρη αξιοποίηση του καναλιού και οι χρήστες δεν στέλνουν πολύ συχνά. Έτσι όταν κάποιος αποφασίσει να στείλει θα έχει στη διάθεση του μεγάλο εύρος ή χρόνο (ανάλογα την τεχνική) μόλις το απαιτήσει-ζητήσει για να αποδώσει σε μεγάλο βαθμό στέλνοντας πολλά δεδομένα σε μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό το σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί με χρήση πολλών δεσμών και υποφερουσών με τη βοήθεια της (MCPC) που είδαμε παραπάνω.

### 5.3.3 Βασικά χαρακτηριστικά κεραιών

Κάνοντας μια εισαγωγή για τις κεραιές πρέπει να πούμε ότι είναι ο μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα ή την τάση (συνήθως υψηλής συχνότητας) σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα ώστε να είναι ικανά να μεταδοθούν μέσω της γήινης ατμόσφαιρας ή στην περίπτωση μας □ ακόμα παραπέρα στο διάστημα ώστε να φτάσουν στους δορυφόρους. Τώρα όσον αφορά τα σήματα που κατευθύνονται προς τη γη από τους τελευταίους, η κεραιά έχει την αρμοδιότητα να τα συλλέξει. Αυτό το πετυχαίνει με το παραβολικό της σχήμα όπου τα προσπίπτοντα κύματα ανακλώνται και λόγω της καμπυλότητας της συλλέγονται προς το κέντρο της όπου συλλέγονται από το LNB (βλ. Παρ. 4.1.2) που έχουμε ήδη αναφέρει. Υπάρχουν αρκετά είδη κεραιών για διαφορετικές εφαρμογές και κυρίως το σχήμα τους επιλέγεται ανάλογα την συχνότητα του σήματος, την ισχύ του, την πολικότητα του, το κέρδος και την κατευθυντικότητα που πρέπει να έχει η κεραιά. Για παράδειγμα η συλλογή ή η εκπομπή των ραδιοκυμάτων απαιτεί και κάποιο συντονισμό στην κεραιά, άρα η κάθε κεραιά λειτουργεί σε κάποιο συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Στην περίπτωση των δορυφορικών κεραιών, έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σχεδόν σε όλες τις συχνότητες και η επιλογή των συχνοτήτων πραγματοποιείται από το LNB. Κυρίως κατασκευάζονται από μεταλλικά υλικά γιατί έτσι έχουμε καλύτερη απόδοση στην εκπομπή ή λήψη του σήματος. Στην περίπτωση των δορυφορικών τηλεπικοινωνιών η καταλληλότερη κεραιά είναι παραβολικού τύπου και παραπάνω περιγράφηκε η λειτουργία της. Κατά την επιλογή της διαμέτρου της, σημαντικό ρόλο παίζει η συχνότητα του σήματος που πρόκειται να λάβουμε ή να στείλουμε. Συνήθως με μεγαλύτερο κάτοπτρο επιτυγχάνουμε καλύτερα αποτελέσματα, όμως όπως είδαμε στις ζώνες συχνοτήτων (βλ. Παρ. 4.2) όσο αυξάνουμε την συχνότητα, ολοένα και μικρότερο μέγεθος κεραιάς χρειαζόμαστε γιατί με τις υψηλές συχνότητες έχουμε και περισσότερο κέρδος όσον αφορά το σήμα. Αυτό συνεπάγεται και μεγαλύτερη κομψότητα ή ακόμα και φορητότητα που είναι αναγκαία για ορισμένες εφαρμογές

αλλά και μειωμένο κόστος κατά την αγορά μιας μικρότερης κεραίας για δορυφορική λήψη στο σπίτι. Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν θέματα όπως το κέρδος ή απολαβή της κεραίας, την πολικότητα και την κατευθυντικότητα ώστε να κατανοήσουμε τη λειτουργία της. Τέλος ένα σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάζεται σε όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις, έτσι και η κεραία μπορεί να εισάγει θόρυβο στο σήμα αλλά σε αυτό θα αναφερθούμε σε επόμενη υποενότητα.

### 5.3.3.1 Απολαβή και ακτινοβολία κεραίας

Την ισχύ των σημάτων γενικά στις τηλεπικοινωνίες την μετράμε σε dB (decibel) όπου είναι μια λογαριθμισμένη έκφραση του ποσοστού της ισχύος. Αυτό το κάναμε για λόγους διευκόλυνσης. Είναι ένας εύκολος τρόπος συνεννόησης των τεχνικών αλλά και των επιστημόνων που ασχολούνται με τέτοιου είδους θέματα και εκτός αυτών ο μαθηματικός υπολογισμός απλοποιείται καθώς για να υπολογίσουμε την συνολική ενίσχυση ή εξασθένιση καταφεύγουμε σε απλές προσθέσεις ή αφαιρέσεις αντίστοιχα. Μιλώντας για έναν ενισχυτή θα λέγαμε ότι η απολαβή του είναι η ισχύ εισόδου προς την έξοδο και για να μετρηθεί σε dB ο πλήρης τύπος είναι:  $G_p = 10 \log_{10}(P_{in}/P_{out})$ , ενώ μιλώντας για απολαβή τάσης είναι ο ακόλουθος τύπος  $G_v = 20 \log_{10}(V_{out}/V_{in})$ . Αντίστοιχα αν θεωρήσουμε μια ιδανική κεραία που εκπέμπει ισοτροπικά (προς όλες τις κατευθύνσεις) και δεν υπάρχουν απώλειες, τότε απολαβή είναι ο λόγος της έντασης τη ακτινοβολίας που εκπέμπει η κεραία και τροφοδοτείται με την ίδια ισχύ και αντίστοιχος τύπος:  $G = 4\pi(I_{rad}/P_{in})$  όπου εδώ το  $G$  είναι η απολαβή, το  $I_{rad}$  η ένταση της ακτινοβολίας,  $V$  η τάση και  $P_{in}$  η ισχύς τροφοδοσίας της.

Το κέρδος όμως της κεραίας και συγκεκριμένα εδώ μιας παραβολικής δεν επηρεάζεται μόνο από χαρακτηριστικά όπως η τάση τροφοδοσίας. Επίσης άλλοι πολλοί σημαντικοί παράγοντες είναι η απόσταση εκπομπής, η διάμετρος της κεραίας και η συχνότητα που στους παρακάτω τύπους εκφράζεται με το (αντιστρόφως ανάλογο) μήκος κύματος του σήματος. Όσον αφορά την απόσταση, έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα για το εγγύς πεδίο και διαφορετικά για πιο μακρινές περιοχές καθώς και τις μεταβατικές. Επίσης η διάμετρος όπως έχει ξανά αναφερθεί παίζει θετικό ρόλο στην απόδοση της κεραίας και αυτό είναι λογικό γιατί η επιφάνεια που συλλέγει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όταν είναι μεγάλη μπορεί να «πιάσει» περισσότερα σήματα. Εγγύς πεδίο (near field region) θεωρείται η περιοχή που εκτείνεται κυκλικά προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από τη κεραία σε κάποια απόσταση που υπολογίζεται:  $R = (D^2/4\lambda)$ . Στην περιοχή αυτή η πυκνότητα ισχύος έχει την μέγιστη τιμή της και παραμένει σταθερή, και εκφράζεται από τον τύπο:  $S = (16 \cdot P_{in} / \pi \cdot D^2)$ .



Για να φτάσουμε σε αυτούς τους τύπους θεωρήσαμε ακόμα ότι η κεραία έχει απόδοση 1 δηλαδή κέρδος που δίνεται από τον τύπο:  $G=(\pi D/\lambda)^2$ . Αντίθετα για μία περιοχή σε μακρινή απόσταση (far field region), η πυκνότητα ισχύος που εκπέμπεται υπολογίζεται ως εξής:  $S=(P_{in}\cdot G/4\pi R^2)$ .

Πρέπει να αναφερθούν τα σύμβολα παρ' όλο που κάποια έχουν ειπωθεί, όπου:

R , η απόσταση

D, διάμετρος κεραίας

$\lambda$ , μήκος κύματος ( $\lambda=c/f$  όπου c η ταχύτητα του φωτός και f η συχνότητα)

P, ισχύς σε W

S, πυκνότητα ισχύος και μετρείται σε  $W/m^2$

G, η απολαβή σε (dB)

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι βάσει του τελευταίου τύπου που σημειώθηκε πιο πάνω γίνεται ο υπολογισμός της πυκνότητας ισχύος για οποιοδήποτε σχεδόν σημείο σε μεγάλη απόσταση από την κεραία αλλά στο G μπαίνει ένας δείκτης ( $\theta$ ) που εκφράζει τις μοίρες στις οποίες εκπέμπει η κεραία, Έτσι μετατρέπεται σε  $G_{(\theta)}$  όπου αυτό εκφράζει κατά κάποιο τρόπο την κατευθυντικότητα της κεραίας και παίζει σημαντικό ρόλο στην σχεδίαση και την απολαβή της κεραίας.

### 5.3.3.2 Κατευθυντικότητα, λοβοί κεραίας και πόλωση

Όλα τα χαρακτηριστικά των κεραιών που θα αναφερθούν εδώ μαζί με την απολαβή που είδαμε πιο πάνω σχετίζονται μεταξύ τους και το ένα επηρεάζει άμεσα το άλλο. Πιο πάνω αναφέρθηκε με προσεγγίσεις για ευκολία στην κατανόηση η ισοτροπική κεραία που εκπέμπει ομοιόμορφα και σφαιρικά γύρω της. Εκτός από αυτές τις κεραίες υπάρχουν και οι ημικατευθυντικές και οι κατευθυντικές. Οι τελευταίες όπως γίνεται αντιληπτό εκπέμπουν μόνο σε μία κατεύθυνση και αυξάνουν το κέρδος της κεραίας και την απόσταση εκπομπής συγκρίνοντας την πάντα για την ίδια ισχύ ακτινοβολίας με μία ισοτροπική. Έτσι κατευθυντικότητα μπορεί να οριστεί η αναλογία της έντασης ακτινοβολίας σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση σε σχέση με μία ισοτροπική κεραία. Τα δορυφορικά κάτοπτρα είναι κατευθυντικά και εκπέμπουν σε μία στενή ζώνη που εκτός από την απολαβή και την απόσταση έχουμε το επιπλέον πλεονέκτημα ότι επειδή δεν έχουμε και πλαϊνές εκπομπές αποτρέπεται η είσοδος θορύβου στο σήμα και ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές, τα παράσιτα και το φαινόμενο πολυδιόδευσης (multipath) του σήματος.

Η στενή αυτή ζώνη ονομάζεται και κεντρικός λοβός της κεραίας. Φυσικά είναι αδύνατο από τη φύση να στενέψουμε πολύ ένα φάσμα και αυτό το πρόβλημα το αντιμετωπίζουμε και στα φίλτρα. Έτσι όταν προβούμε σε μια τέτοια ενέργεια, εμφανίζονται και πλευρικές ζώνες συχνοτήτων που βέβαια είναι σαφώς εξασθενημένες. Έτσι και εδώ στην (Εικόνα 21) απεικονίζεται το διάγραμμα



ακτινοβολίας μιας κατευθυντικής κεραίας, όπου ο κεντρικός λοβός της είναι αρκετά στενός και έχει την μέγιστη δυνατή ακτινοβολία. Επίσης εμφανίζονται οι δύο πλαϊνοί λοβοί που είναι εξασθενημένοι και οι δύο πίσω ακόμα μικρότερης ακτινοβολίας. Επειδή η κλίμακα των dB είναι λογαριθμική πρέπει να σημειωθεί ότι για κάθε 3dB εξασθένισης (-3dB), έχουμε και υποδιπλασιασμό του κέρδους.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι το  $(\theta)$  μετριέται σε μοίρες και δείχνει το άνοιγμα της δέσμης και ονομάζεται αζιμούθιο της κεραίας. Κατά την τοποθέτηση της κεραίας σημαντικό ρόλο εκτός από το αζιμούθιο παίζει και η γωνία ανύψωσης  $(\varphi)$  που και αυτή μετριέται σε μοίρες και με σωστή ρύθμιση πετυχαίνουμε την αποδοτικότερη λήψη του σήματος στοχεύοντας τον δορυφόρο. Έτσι συνοψίζοντας το κέρδος, την κατευθυντικότητα και τις γωνίες  $(\theta, \varphi)$  καταλήγουμε σε ένα τύπο:  $G = k * D$ . Όπου D ορίζεται η κατευθυντικότητα και εκφράζεται από το τύπο:  $D = 41000 / (\varphi * \theta)$  και k είναι ο συντελεστής απόδοσης της κάθε κεραίας και εξαρτάται από τις ωμικές απώλειες που έχει αυτή. Όπως φαίνεται το D είναι αντιστρόφως ανάλογο του εύρους των γωνιών  $\theta$  και  $\varphi$ .

Σημείωση: Το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας ισχύει για το μακρινό πεδίο (Far Field Region) που αναφέραμε παραπάνω.

Για να αναφερθούμε την πόλωση πρέπει να υπενθυμίσουμε την παράγραφο 4.1.2 και την Εικόνα 15. Εκεί έγινε κάποια αναφορά στις πολώσεις και την επιλογή που κάνει το LNB για ταύτιση με τον πομπό ώστε να έχουμε μέγιστη απόδοση στη λήψη του σήματος. Επίσης στην εν λόγω εικόνα απεικονίζεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και πως ταξιδεύει στο χώρο. Φαίνεται ότι το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους και είναι κάθετα μεταξύ τους. Ειδικά για τη μετάδοση στο κενό (διάστημα) όπου δεν υπάρχουν φορτία η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου είναι αυτή που διατηρεί και το μαγνητικό. Οι δυνατές πολώσεις που μπορούν να έχουν οι κεραίες είναι κυκλική, οριζόντια και κάθετη πόλωση. Την ονομασία της πόλωσης την ορίζει το ηλεκτρικό πεδίο. Η κυκλική πόλωση έχουμε όταν κατά τη μετάδοση του σήματος το επίπεδο της πόλωσης περιστρέφεται κυκλικά εκτελώντας μία πλήρη περιστροφή γύρω από τον νοητό άξονά του κατά τη διάρκεια μίας περιόδου. Η φορά αυτή της κίνησης μπορεί να είναι δεξιόστροφη και ονομάζεται δεξιά κυκλική (RHC – Right Hand Circular). Αν πάλι κινείται αριστερόστροφα ονομάζεται αριστερή κυκλική (LHC – Left Hand Circular). Αυτή το είδος πόλωσης δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις για την αποφυγή αντανακλάσεων. Οι πολώσεις που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι η κατακόρυφη και η οριζόντια. Έχουμε σαν σημείο αναφοράς και πάλι το ηλεκτρικό πεδίο όπου όταν αυτό διαδίδεται κάθετα ως προς την επιφάνεια της γης, έχουμε κατακόρυφη πόλωση, ενώ όταν διαδίδεται οριζόντια έχουμε και οριζόντια πόλωση. Μια απλή κεραία που έχει κατακόρυφη πόλωση όταν την στρέψουμε κατά  $90^\circ$  τότε αλλάζει και η πόλωση της. Για να πετύχουμε τα μέγιστα της απόδοσης στο «πιάσιμο» του σήματος πρέπει ο πομπός και ο δέκτης να λειτουργούν στην ίδια πόλωση, αλλιώς έχουμε απώλειες που

μπορεί να αγγίξουν και τα 20dB. Όταν μεταδίδουμε ταυτόχρονα και κατακόρυφα και οριζόντια, έχουμε την λεγόμενη γραμμική πόλωση με τα σήματα να έχουν και πάλι διαφορά μεταξύ 90 μοίρες. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνουμε επαναχρησιμοποίηση του φάσματος γιατί μεταδίδουμε σήματα ταυτόχρονα και στις ίδιες συχνότητες. Έτσι μπορούμε να εξυπηρετήσουμε περισσότερους χρήστες. Επιπλέον έχουμε μείωση των ανακλάσεων άρα και μείωση του φαινομένου multipath.

### 5.3.4 Θόρυβος και απώλειες

Ο θόρυβος όπως έχουμε ήδη αναφέρει είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα σε όλων των ειδών τις μεταδόσεις και γενικά σε όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις και επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση και την ποιότητα σε ένα σύστημα. Ο θόρυβος είναι ένα σήμα υψηλής συχνότητας που επικάθεται στις κορυφές των κυματομορφών και μπορεί να αλλάξει την μορφή τους ή ακόμα και να την εξασθενίσει. Είναι επίσης ένα τυχαίο σήμα και δεν μπορούμε να τον προβλέψουμε παρά μόνο να προσπαθήσουμε να τον περιορίσουμε. Ειδικά όταν μιλάμε για διανύσματα, ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει την φορά και τη διεύθυνσή του και να έχουμε σαν αποτέλεσμα μια λάθος απόφαση στο φωρατή του δέκτη ειδικά σε διαμορφώσεις για μεταφορά πολλών bit όπως για παράδειγμα στην M-QAM με το M να παίρνει υψηλές τιμές. Έτσι η απόσταση του ενός διανύσματος από το άλλο είναι πολύ μικρή και το μοντέλο αυτό δεν είναι ανθεκτικό σε κανάλι επικοινωνίας με θόρυβο. Σχεδόν σε κάθε βαθμίδα μιας διάταξης μπορεί να έχουμε την εισαγωγή του θορύβου, ακόμα και στα τελικά στάδια της μεταφοράς του σήματος μέσω κάποιου καλωδίου, από εξωτερικές παρεμβολές. Για παράδειγμα η κεραία μπορεί να εισάγει θόρυβο στο σήμα και μπορεί να οφείλεται σε **εσωτερικό θόρυβο** όπου τα αίτια είναι τα υλικά κατασκευής της διάταξης που μπορεί να παρουσιάζουν ωμική αντίσταση, να μην είναι γραμμικά στοιχεία, οι παρεμβολές των σημάτων στο εσωτερικό λόγω κάποιας αλλοίωσης ή κακής σχεδίασης. Ακόμα μπορεί να είναι υπαίτια κάποια προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Αν πάλι ο **θόρυβος** είναι **εξωτερικός** μπορεί να οφείλετε στον ανθρώπινο παράγοντα ή το περιβάλλον. Σε γενική βάση μπορούμε να χωρίσουμε τα είδη θορύβου σε εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες.

### 5.3.4.1 Εξωτερικός θόρυβος

Αναλύοντας τον εξωτερικό θόρυβο και συγκεκριμένα αυτόν που επηρεάζει μια κεραία (θόρυβος κεραίας), μπορούμε να αναφέρουμε τους παράγοντες που τον προκαλούν και είναι οι εξής:

- Αστρικός θόρυβος
- Θερμικός θόρυβος
- Θόρυβος περιβάλλοντος

Ο *αστρικός ή αλλιώς διαστημικός θόρυβος* μπορεί να προέρχεται από τον ήλιο ή από άλλους πλανήτες του γαλαξία μας ή ακόμα και από άλλους γαλαξίες. Όλα αυτά τα γιγάντια σώματα μαζί με τους μετεωρίτες μπορεί να μετατρέπουν την ακτινοβολία της φωτεινότητας τους (ήλιος, άστρα) σε μορφή ακτινοβολίας που επιδρά στα ραδιοκύματα. Έχουν γιγάντια μάζα και μεταξύ τους εμφανίζονται τεράστιες δυνάμεις. Ο συνολικός αριθμός όλων αυτών των πηγών θορύβου είναι αμέτρητες στο διάστημα και η συνολική ένταση του θορύβου είναι το άθροισμα που προκαλεί η καθεμία. Λόγω της διαφορετικότητας της κάθε πηγής σαν αυτές, έχουν διαφορετική συχνότητα και έτσι το εύρος του θορύβου είναι μεγάλο ξεκινώντας περίπου από τα 8MHz μέχρι τα 1,5GHz. Η ακτινοβολία αυτή του θορύβου επηρεάζει βαθύτατα όταν εισβάλλει στον κύριο λοβό ακτινοβολίας της κεραίας. Περισσότερο δυσάρεστα αποτελέσματα έχουμε όταν ευθυγραμμιστεί ένας δορυφόρος με τον ήλιο. Μια πολύπλοκη εξίσωση που μπορεί να περιγράψει τον συνολικό θόρυβο είναι:  $T=(N_s/k)+(7 \times 10^{26}/f^3)+T_b$ . Όπου ο πρώτος όρος από μόνος του εκφράζει την ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου. Συνθέτοντας το τύπο ολόκληρο με τον δεύτερο όρο προσθέτουμε τον διαστημικό θόρυβο και με τον τρίτο όρο ( $T_b=2726K$ ) τον υπόλοιπο θεωρητικά ιστροπικό θόρυβο της «μεγάλης έκρηξης» και των αποτελεσμάτων της.

*Θερμικός θόρυβος* είναι αυτός που προέρχεται από το έδαφος της γης και είναι επικρατέστερος από τον διαστημικό. Σε κάθε θερμοκρασία και ιδιαίτερα στις πιο υψηλές τα μόρια του ζεστού εδάφους, δημιουργούν κάποια σήματα που λειτουργούν σαν παράσιτα. Ο θερμικός αυτός θόρυβος ονομάζεται και *θόρυβος εδάφους*. Μπορούμε να τον περιορίσουμε στρέφοντας την χοάνη του LNB να κοιτάει όσο τον δυνατόν γίνεται τον ουρανό και όχι το έδαφος. Επίσης όσο μικρότερο λοβό ακτινοβολίας χρησιμοποιεί μία κεραία, τόσο πιο αποδοτική είναι και δεν είναι επιρρεπής στο θόρυβο. Αυτές οι δύο κατηγορίες μαζί με την παρακάτω που θα αναπτύξουμε συντελούν το θόρυβο μίας κεραίας. Η θερμοκρασία του θορύβου αυτού μετριέται σε βαθμούς Kelvin και η τυπική τιμή των 290° K (ή 17° C) αναγράφεται στα χαρακτηριστικά των κεραίων από την κάθε κατασκευάστρια εταιρία όπως επίσης για παράδειγμα αναγράφεται και το k που εκφράζει τον συντελεστή απόδοσης της κάθε κεραίας.



Στον *θόρυβο περιβάλλοντος* θα συμπεριλάβουμε τόσο τον ανθρώπινο παράγοντα, όσο και το θόρυβο από τα καιρικά φαινόμενα. Είναι όλοι οι θόρυβοι που οφείλονται στο γειτονικό περιβάλλον της κεραίας. Όσον αφορά τον *ανθρώπινο παράγοντα* τα παράσιτα μπορεί να δημιουργηθούν κυρίως από συσκευές και μηχανήματα που χρησιμοποιούμε. Οτιδήποτε μπορεί να δημιουργήσει σπινθήρα όπως το άναμμα ενός αναπτήρα, μίας λάμπας ή το κλείσιμο και το άναμμα ενός διακόπτη δημιουργεί παράσιτα και θεωρητικά ένα παλμό *dirac* με μεγάλο πλάτος σε μικρή χρονική στιγμή λόγω της απότομης μεταβολής της έντασης του ρεύματος. Βάσει της ανάλυσης Fourier το εύρος συχνοτήτων σε αυτή την περίπτωση είναι θεωρητικά άπειρο. Ακόμα μία συσκευή με μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη όπως μία μίζα αυτοκινήτου και γενικά τα μοτέρ που διαθέτουν περιέλιξη δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που επιδρούν αρνητικά στα ραδιοκύματα. Επίσης λόγω της αμέλειας του ανθρώπου μπορεί μία συσκευή να μην έχει μονωθεί καλά και να επηρεάζει μία άλλη ή ακόμα την ίδια λόγω ανεπάρκειας στο φιλτράρισμα της τροφοδοσίας της.

Ο θόρυβος που οφείλεται στα *καιρικά φαινόμενα* περικλείει και τον διαστημικό όπου είναι πολύ σημαντικός, αλλά στις δορυφορικές επικοινωνίες δεν επιδρά πολύ καθώς στις συχνότητες πάνω των 1,5GHz τείνει να εξασθενεί. Αυτοί που υπερτερούν είναι ο *ατμοσφαιρικός* και η *βροχόπτωση*. Βέβαια το εύρος τους είναι μικρό και είναι της μορφής παλμών. Σε αυτή τη κατηγορία αυτά που επηρεάζουν λιγότερο είναι οι κεραυνοί, οι αστραπές και οι θύελλες. Ενώ η υγρασία, τα σύννεφα και η βροχόπτωση επηρεάζουν μακράν την απόδοση των δορυφορικών επικοινωνιών και εκτείνονται σε όλο σχεδόν το φάσμα συχνοτήτων παρ' όλο το μικρό σχετικά εύρος τους. Ένα σήμα κατά την μετάδοση του και την πορεία του από/προς τη γη περνάει εκτός από το χώρο του διαστήματος και τα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα ηλεκτρικά φορτία που υπάρχουν εκεί μπορεί να φορτίσουν το σήμα που διέρχεται μέσα τους. Ιδιαίτερη ζημία προκαλούν και τα αεροπλάνα που όταν μετακινούνται στο χώρο αυτό, φορτίζονται και τα ίδια με αποτέλεσμα να δημιουργούν εκκενώσεις. Το λαμβανόμενο σήμα λόγω αυτών των φαινομένων φτάνει φορτισμένο στο δέκτη και αυτό αποτελεί ένα είδος θορύβου. Αυτό μπορεί να εξαλειφτεί με συσκευές αποφόρτισης στα αεροπλάνα ή τον δέκτη που θα γειώσουν τα περαιτέρω φορτία και θα «καθαρίσουν» το σήμα. Επίσης όταν τα ραδιοκύματα εισέρχονται στην ατμόσφαιρα ανακλώνται και εξασθενούν ή αλλάζουν την μέχρι τώρα γωνία τους ανάλογα με τον δείκτη διάθλασης στην κάθε συχνότητα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το σήμα λόγω της μεγάλης απόστασης της ζεύξης και τα διαφορετικά περιβάλλοντα που διέρχεται, αν και εμείς δεν το βλέπουμε, θα περάσει μέσα από ανομοιογενείς περιοχές με λιγότερα ή περισσότερα σύννεφα και βροχοπτώσεις. Στη συνολική απόσβεση σημαντικό ρόλο παίζει η συχνότητα του σήματος, το μήκος ζεύξης, το ύψος του σταθμού από την επιφάνεια της θάλασσας, η γωνία ανύψωσης του κατόπτρου και η ανομοιογένεια της βροχής. Με όλες αυτές τις παραμέτρους και με τη βοήθεια ενός εμπειρικού μοντέλου CCIR μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής απόσβεσης λόγω της βροχής.



Ο αέρας πολλές φορές μπορεί να γίνει κορεσμένος σε υδρατμούς για δύο λόγους. Πρώτον από ψύξη την ψύξη του και δεύτερον από την ίδια την συσώρευση των υδρατμών. Οι μορφές που αντιλαμβανόμαστε εμείς είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, ή ακόμα και ο πάγος. Η διαδικασία κατασκευής των μορφών αυτών διαφέρει ανάλογα την θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση, έτσι καθεμιά συνεισφέρει διαφορετικά στην εξασθένηση του ραδιοκύματος. Φυσικό είναι κάθε περιοχή να έχει διαφορετική βροχόπτωση, θερμοκρασία και δύναμη αέρα και ανάλογα να χρησιμοποιεί και την κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα εξασθένησης. Όπως είχε αναφερθεί στις ζώνες συχνοτήτων η εξασθένηση λόγω αυτών των φαινομένων γίνεται εντονότερη όσο αυξάνεται η συχνότητα. Ο λόγος είναι γιατί το πολύ μικρό μήκος κύματος (στις υψηλές συχνότητες π.χ. Ku) συμπίπτει με το μήκος ή με υποπολλαπλάσιο των σταγονιδίων της βροχής και έτσι τα τελευταία είναι ικανά να απορροφήσουν ένα μέρος της ενέργειας των σημάτων με αποτέλεσμα να τα εξασθενούν ή ακόμα και να επηρεάσουν την πόλωση τους.

#### 5.3.4.2 Εσωτερικός θόρυβος

Ο εσωτερικός θόρυβος οφείλεται στις διατάξεις κυρίως του πομπού και του δέκτη, αφού το κανάλι μετάδοσης είδαμε ότι επηρεάζεται από εξωτερικούς θορύβους. Ήδη αναφέραμε ότι μπορεί να προέρχεται από κάποια αστοχία υλικών, μία βλάβη ή από προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης. Ο δέκτης μπορεί να οριστεί σαν ένα τετράπολο που αποτελείται από την κεραία φίλτρα, τον εξασθενητή και τον ενισχυτή. Για να μπορέσει να γίνει εφικτή η μέτρηση της θερμοκρασίας του θορύβου, θα απλοποιήσουμε το διάγραμμα του δέκτη και θα επιμείνουμε στα τμήματα που μας ενδιαφέρουν. Έτσι θα αναφέρουμε πως ο θόρυβος μπορεί να αντιμετωπιστεί εν μέρει αν δεν μπορεί να εξαλειφτεί. Κάθε κεραία που εισάγει θόρυβο από το εγγύς περιβάλλον που την περικλείει έχει και έναν συντελεστή απόδοσης και μια θερμοκρασία θορύβου και αναγράφεται στα τεχνικά της χαρακτηριστικά. Η ωμική αντίσταση εισόδου της κάθε κεραίας επηρεάζεται από τον θόρυβο και μεταβάλλεται ανάλογα (συνήθως προσθετικά). Η συνολική αυτή αντίσταση προκύπτει από το άθροισμα της αντίστασης εισόδου και του θορύβου. Αν το κέρδος της κάθε βαθμίδας και το εύρος ζώνης λαμβάνουν μεγάλες τιμές, τότε ο συντελεστής θορύβου θα παραμείνει μικρός και δεν θα επηρεάσει πολύ το σύστημα. Αν όμως η ισχύς εξόδου της κάθε βαθμίδας είναι και αυτή μεγάλη τότε ενισχύεται και ο παραμικρός θόρυβος που υπάρχει στο σήμα. Άρα η ρύθμιση των παραμέτρων για μία διάταξη είναι πολύπλοκη αφού πρέπει να έχουμε αρκετή ισχύ, αλλά παράλληλα και όχι πολύ μεγάλη ώστε να μην ενισχύεται και ο θόρυβος. Μία βαθμίδα που προσπαθεί να εξομαλύνει τη στάθμη θορύβου είναι ο εξασθενητής. Αυτή δημιουργεί διατάξεις με αντιστάσεις θερμοκρασίας κατάλληλα ρυθμισμένες ώστε η ισοδύναμη αντίσταση να είναι ισοδύναμη με του θορύβου για να τον

αναιρέσει. Η διάταξη αυτή μπορεί να αποτελείται από αρκετά στάδια βαθμίδων σε διαδοχή για την επιτυχή τιμή της αντίστασης.

Οι δέκτες επίσης διαθέτουν προσαρμοσμένα φίλτρα ζωνοδιαβατά για την επιλογή των συχνοτήτων που αναφέρονται σε αυτούς. Όταν όμως ο θόρυβος κάνει αισθητή τη παρουσία του, τότε η βαθμίδα ενίσχυσης του δέκτη μπορεί και να **υπεροδηγηθεί** με αποτέλεσμα να **μειώσει την απόδοση** του αυτόματα. Έτσι τα σήματα που πρέπει να ληφθούν δεν ενισχύονται και έχουμε παύση της επικοινωνίας. Πολλές φορές με την ύπαρξη του θορύβου και του φαινομένου multipath εμφανίζονται στην είσοδο του δέκτη παραπλήσιες συχνότητες που αν πάρουμε και τις αρμονικές τους, τα φίλτρα αυτά δεν θα μπορούν να ξεκαθαρίσουν το πραγματικό σήμα. Αυτό γιατί ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός φίλτρου σε τόσο υψηλές συχνότητες και τέτοιας τάξης φίλτρου είναι πράγμα ακατόρθωτο. Συνήθως γίνεται πρώτα υποβιβασμός της συχνότητας και στη συνέχεια συναντάμε σταδιακές βαθμίδες φίλτρων. Γίνεται έτσι κατανοητή η πολυπλοκότητα των διατάξεων και η άμεση επιρροή του θορύβου. Αν ο θόρυβος επηρεάσει το πλάτος ενός σήματος μπορεί η βαθμίδα ενίσχυσης να υπερδηγηθεί και να πάψει να λειτουργεί στην γραμμική περιοχή. Η υπερδηγήση συμβαίνει γιατί κάθε ενισχυτής είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί σε κάποιες συχνότητες και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένο πλάτος του σήματος εισόδου. Έτσι αν το σήμα μαζί με το θόρυβο έχει μεγάλο πλάτος, θα οδηγηθεί ο ενισχυτής εκτός των σωστών ορίων λειτουργίας του. Σαν αποτέλεσμα αυτών ή θα σταματήσει να ενισχύει και θα χαθεί η μετάδοση, ή να μεταβεί σε μη γραμμική περιοχή. Αυτό μπορεί να προκαλέσει και το **φαινόμενο ενδοδιαμόρφωσης**. Με το φαινόμενο που αναφέραμε δημιουργούνται αρμονικές συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της πραγματικής και τα πλάτη τους διαφέρουν μεταξύ τους και μειώνονται όσο αυξάνεται η συχνότητα. (π.χ. αν έχω τη συχνότητα 1KHz θα πάρω τις **αρμονικές** 2,3,..KHz). Έτσι οι επόμενες βαθμίδες θα εκλάβουν αυτές τις συχνότητες σαν πραγματικό σήμα. Εκτός από τα φαινόμενα της μείωσης της απολαβής και τη δημιουργία αρμονικών συχνοτήτων, η υπάρχει και το πρόβλημα της **ανάστροφης μίξης** λόγω ύπαρξης ηλεκτρικού θορύβου στον τοπικό ταλαντωτή του δέκτη. Η λειτουργία του τοπικού ταλαντωτή (αναφέρθηκε ελάχιστα και στο LNB) είναι να παράγει μία συγκεκριμένη συχνότητα βάσει της οποίας θα διαμορφωθεί το σήμα. Το διαμορφωμένο πλέον σήμα (φέρων) έχει τα στοιχεία της καθαρής πληροφορίας τοποθετημένα στη συχνότητα αυτή του τοπικού δηλαδή είναι μίξη αυτών των σημάτων. Αν τώρα ο τοπικός αυτός ταλαντωτής δεν είναι υψηλής ποιότητας ή επηρεαστεί από κάποιον εξωτερικό παράγοντα θα δημιουργήσει κάποιο θόρυβο. Όταν το σήμα της πληροφορίας που ληφθεί είναι πολύ κοντά στη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή τότε αυτός θα διαμορφώσει μαζί και τον θόρυβο θεωρώντας τον καθαρό σήμα. Αυτός ο θόρυβος πολλές φορές είναι τελείως καταστροφικός και επικάθεται και στις δύο πλευρές ενός σήματος με υψηλό πλάτος αφού διαμορφώθηκε σαν σήμα πληροφορίας.

### 5.3.4.3 Απώλειες ελευθέρου χώρου

Απώλεια σήματος είναι η εξασθένιση που παρουσιάζει το μεταδιδόμενο σήμα καθώς ταξιδεύει στον ελεύθερο χώρο. Ελεύθερος χώρος είναι μια υποθετική έννοια και θεωρούμε το περιβάλλον όπου τα ραδιοκύματα δεν θα συναντήσουν στο δρόμο τους εμπόδια όπως ψηλά κτήρια, δέντρα κ.α. ώστε να εξασθενήσουν ή να χωριστούν σε διαφορετικές διαδρομές (multipath). Επίσης θεωρούμε ότι γύρω του δεν θα υπάρχουν πηγές θορύβου και παρεμβολές όπως αυτές που αναφέρθηκαν μόλις πριν. Ακόμα και ο αέρας θεωρείται ιδανικό μέσο μετάδοσης χωρίς να προκαλεί εξασθένιση από την ύπαρξη οξυγόνου, υδρατμών ή υγρασίας.

Έτσι με τον ακόλουθο τύπο βρίσκουμε τις απώλειες διάδοσης ελευθέρου χώρου (Free-space path loss) :

$$L_{FS} = 20 \log_{10} (4\pi R/\lambda)$$

Όπου:

$\lambda$  είναι το μήκος κύματος και έχει ήδη ειπωθεί

$R$  είναι η απόσταση

$$\pi = 3,14$$

$f$  η συχνότητα

Από τον παραπάνω τύπο έχει δημιουργηθεί ένας άλλος εμπειρικός μόνο που οι συχνότητες πρέπει να είναι σε MHz, και η απόσταση να αντικατασταθεί στο τύπο σε Km.

$$L_{fs} = (32.5 + 20 \log_{10} R + 20 \log_{10} f)$$

Η τιμή που θα υπολογιστεί μετά από αυτόν τον τύπο θα είναι σε dB.

## 5.4 Διαμορφώσεις σημάτων μετάδοσης

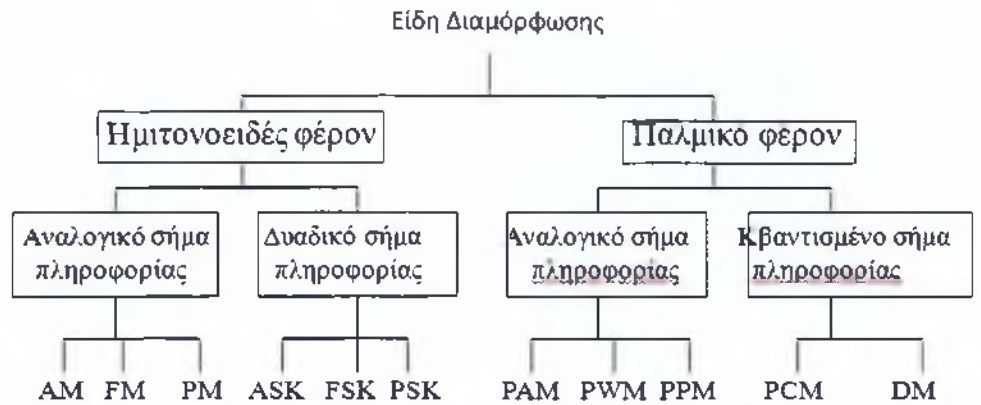
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις διαμορφώσεις των σημάτων μετάδοσης. Γενικά διαμόρφωση, είναι η διαδικασία μετασχηματισμού κατά φάση, πλάτος, συχνότητας ή ακόμα και συνδυασμού αυτών, μιας ηλεκτρονικής πληροφορίας-σήματος, σε μια κατά πολύ υψηλότερη συχνότητα (φέρον) και με συγκεκριμένο εύρος, για να μπορεί να μεταδοθεί. Για παράδειγμα στη ραδιοφωνία

κυρίως χρησιμοποιούνται οι διαμορφώσεις AM και FM, με διαμόρφωση του σήματος κατά πλάτος και συχνότητα αντίστοιχα. Αυτές οι δύο μαζί με την διαμόρφωση φάσης ήταν οι αρχικές που χρησιμοποιήθηκαν στην μετάδοση φωνής και γενικά σε χαμηλού κόστους συνδέσεις στις κοντινές δορυφορικές ζεύξεις. Υπάρχουν αναλογικές και ψηφιακές διαμορφώσεις αλλά στις δορυφορικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον οι δεύτερες και σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις κυριότερες που μας απασχολούν. Παραπάνω στις υποενότητες 5.3.2.3 - 5.3.2.6, όταν αναφερθήκαμε στις τεχνικές πολυπλεξίας ξεκινήσαμε να αφηγούμαστε κατά κάποιο τρόπο και στις διαμορφώσεις.

Ωστόσο πρέπει να αναφερθεί ότι ένα αναλογικό σήμα για να μετατραπεί σε ψηφιακό πρέπει να περάσει από την διαδικασία της δειγματοληψίας με συχνότητα τουλάχιστον διπλάσια από τη μέγιστη του αναλογικού σήματος. Στη συνέχεια να κβαντιστεί, όπου το σήμα σε αυτή τη φάση λαμβάνει συγκεκριμένες διακριτές τιμές όσον αφορά το πλάτος του. Είναι λογικό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας και όσο μικρότερο είναι το βήμα κβάντισης, θα έχουμε αυξημένη πιστότητα του σήματος και ελάχιστη εισροή θορύβου. Και τέλος απαραίτητη είναι και η κωδικοποίηση πηγής για τα επόμενα στάδια μετάδοσης.

Στις τηλεπικοινωνίες διαμόρφωση ονομάζεται η διαδικασία μεταβολής ενός περιοδικού σήματος, συνήθως υψίσυχνου, με στόχο την κωδικοποίηση σε αυτό ενός σήματος χαμηλής συχνότητας το οποίο μεταφέρει κωδικοποιημένη πληροφορία. Το υψίσυχνο σήμα τότε καλείται φέρον και συνήθως είναι σήμα απλής συχνότητας (π.χ. μία ημιτονοειδής κυματομορφή). Η διαμόρφωση απαιτείται για να μπορέσει να διέλθει ένα σήμα από κάποιο τηλεπικοινωνιακό κανάλι (ένα καλώδιο, στις ενσύρματες επικοινωνίες, ή ο ελεύθερος χώρος, στις ασύρματες επικοινωνίες) το εύρος ζώνης του οποίου δεν επικαλύπτεται με το εύρος ζώνης του σήματος. Στο άλλο άκρο της επικοινωνίας, στον παραλήπτη, λαμβάνει χώρα η αντίστροφη διαδικασία προκειμένου να ανακτηθεί το αρχικό σήμα, η αποδιαμόρφωση. Μία συσκευή η οποία μπορεί να επιτελεί και τις δύο διεργασίες, έτσι ώστε να λειτουργεί και ως αποστολέας και ως παραλήπτης, ονομάζεται μόντεμ (modem, εκ των αγγλικών λέξεων Modulator-Demodulator).





A=Amplitude, F=Frequency, P=Phase, M= Modulation

K=Keying

W=Width, P=Pulse, Position

D=Delta

$$x(t) = A \cos(2\pi ft + \phi)$$

$$x(t) = \sum A_k p(t - t_k)$$

#### 5.4.1 Αναλογική διαμόρφωση

Το **αναλογικό σήμα** είναι κάθε συνεχές σήμα το οποίο μεταβάλλεται και λαμβάνει συνεχείς τιμές κατά την διάρκεια εξέλιξης του χρόνου. Το αναλογικό αναφέρεται συνήθως σε ένα ηλεκτρικά σήματα, αλλά και άλλα συστήματα μπορεί να μεταφέρουν αναλογικά σήματα όπως π.χ. μηχανικά, αέρια ή υδραυλικά συστήματα. Το Αναλογικό σήμα χρησιμοποιεί ορισμένες ιδιοκτησίες του μέσου μετάδοσης για να μεταφέρει τις πληροφορίες του σήματος. Στις αναλογικές διαμορφώσεις το σήμα πληροφορίας που διαμορφώνεται είναι σε αναλογική μορφή. Οι κυριότερες μέθοδοι των αναλογικών διαμορφώσεων είναι οι:

- Διαμόρφωση πλάτους (AM)
- Διαμόρφωση συχνότητας (FM)

#### 5.4.1.1 Διαμόρφωση πλάτους (AM)

Η διαμόρφωση Πλάτους (AM - Amplitude Modulation) είναι μία αναλογική διαμόρφωση σήματος. Στην διαμόρφωση AM μεταβάλλεται το πλάτος του υψίσυχνου φέροντος κύματος ανάλογα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας (ακουστικού σήματος). Το διαμορφωμένο σήμα AM που προκύπτει έχει σταθερή συχνότητα και μεταβαλλόμενο πλάτος. Η κύρια εφαρμογή της διαμόρφωσης AM είναι στην ραδιοφωνία. Η τεχνική της AM όμως μειονεκτεί σε σχέση με την FM στο ότι επηρεάζεται εντονότερα από τον ηλεκτρονικό θόρυβο (παράσιτα). Τα κυκλώματά της όμως πλεονεκτούν σε χαμηλές συχνότητες και έτσι εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε εκπομπές στην ζώνη των μακρών και των μεσαίων κυμάτων. Με διαμόρφωση AM διαμορφώνεται και το σήμα εικόνας του αναλογικού τηλεοπτικού σήματος (το σήμα ήχου διαμορφώνεται με FM).

#### 5.4.1.2 Διαμόρφωση συχνότητας (FM)

Η διαμόρφωση συχνότητας (FM - Frequency Modulation) είναι μία αναλογική διαμόρφωση σήματος. Στην διαμόρφωση συχνότητας η συχνότητα του υψίσυχνου σήματος (φέρον κύμα) μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας (ακουστικό σήμα). Το διαμορφωμένο σήμα που προκύπτει έχει σταθερό πλάτος αλλά μεταβαλλόμενη συχνότητα και μοιάζει να παρουσιάζει «πυκνώματα» και «αραιώματα». Ο τρόπος με τον οποίο το πλάτος του ακουστικού σήματος επηρεάζει το φέρον είναι ο εξής. Όπου το ακουστικό σήμα έχει μεγάλο πλάτος έχουμε αύξηση της συχνότητας του φέροντος και όπου το ακουστικό σήμα έχει μικρό πλάτος έχουμε μείωση της συχνότητας του φέροντος. Η κύρια εφαρμογή της διαμόρφωσης FM είναι στην ραδιοφωνία. Η τεχνική αυτή έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι επηρεάζεται ελάχιστα από παράσιτα γι' αυτό έχει επικρατήσει στις περισσότερες εφαρμογές έναντι της παλαιότερης διαμόρφωσης, της AM. Απαιτεί όμως υψηλότερες συχνότητες φέροντος σήματος γι' αυτό σε εκπομπές σε χαμηλότερες ζώνες όπως στα μακρά και στα μεσαία κύματα χρησιμοποιείται ακόμα η AM. Η διαμόρφωση FM χρησιμοποιείται επίσης και στην διαμόρφωση του ήχου στο αναλογικό τηλεοπτικό σήμα (το σήμα εικόνας είναι διαχωρισμένο και διαμορφώνεται με διαμόρφωση AM).

## 5.4.2 Ψηφιακές Διαμορφώσεις

Ο όρος ψηφιακό σήμα αναφέρεται σε περισσότερες από μια έννοιες. Μπορεί να αναφέρεται σε ένα σήμα διακριτού χρόνου το οποίο μπορεί να πάρει συγκεκριμένες (διακριτές) τιμές στον άξονα του χρόνου. Σε αυτή τη περίπτωση μιλάμε για ένα σήμα το οποίο παράγεται μέσω μιας μεθόδου ψηφιακής διαμόρφωσης και θεωρείται περισσότερο ως αναλογικό σήμα (δηλ. ένα επεξεργασμένο αναλογικό σήμα για τη μετατροπή του σε ψηφιακό). Μπορεί επίσης να αναφέρεται στην κυματομορφή ενός σήματος συνεχούς χρόνου σε ένα ψηφιακό σύστημα το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια αλληλουχία απο bits. Σε αυτή τη περίπτωση μιλάμε για ένα εξ ολοκλήρου ψηφιακό σήμα. Στις ψηφιακές διαμορφώσεις το σήμα πληροφορίας που διαμορφώνεται είναι σε ψηφιακή μορφή. Οι κυριότερες μέθοδοι των ψηφιακών διαμορφώσεων είναι:

- Διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (FSK)
- Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (ASK)
- Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK)
- Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK)
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

### 5.4.2.1 Διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (FSK)

Διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (Frequency-shift Keying - FSK) ονομάζεται ο τύπος διαμόρφωσης σήματος όπου ψηφιακά δεδομένα παρουσιάζονται ως αλλαγές στη συχνότητα ενός φέροντος σήματος.

Τα περισσότερα από τα πρώτα μοντέλα modem χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση FSK για να στείλουν και να λάβουν δεδομένα με ρυθμούς μέχρι 300, 600 ή 1200 bits το δευτερόλεπτο (συστάσεις I.T.U. V21 και V.23[1]). Μερικοί μικρο-υπολογιστές χρησιμοποιούσαν μια ειδική μορφή διαμόρφωσης FSK, το πρότυπο Kansas City, για αποθήκευση δεδομένων σε κασέτες ήχου. Η διαμόρφωση FSK χρησιμοποιείται ακόμη στο ερασιτεχνικό ραδιόφωνο γιατί επιτρέπει μεταφορά δεδομένων από μη τροποποιημένο εξοπλισμό για μετάδοση φωνής.

#### 5.4.2.2 Διαμόρφωση μετατόπισης πλάτους (ASK)

Η πιο απλή εφαρμογή ASK είναι η λεγόμενη on-off όπου λειτουργεί ως διακόπτης. Η ύπαρξη φέροντος σήματος υποδηλώνει δυαδικό 1 ενώ η απουσία του δυαδικό 0.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για την επικοινωνία μέσω κώδικα Μορς σε ραδιοφωνικές συχνότητες.

Σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές όπου υπάρχουν περισσότερα λογικά επίπεδα, δηλαδή χρησιμοποιούνται δεδομένα άνω του ενός bit, το πλάτος του φέροντος σήματος μπορεί να πάρει περισσότερες διακριτές τιμές. Για ένα bit παίρνει 2 διακριτές τιμές, για 2 bits 4 διακριτές τιμές, για 3 bits 8 διακριτές κ.ο.κ. δηλαδή αν θέλουμε να μεταφέρουμε ένα δεδομένο  $n$  bits σε έναν παλμό τότε το πλάτος του φέροντος σήματος ιδανικά μπορεί να πάρει  $2^n$  διακριτές τιμές.

Για την μεταφορά δεδομένων πολλών bit σε έναν παλμό πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο λόγος σήματος/θορύβου ώστε να είναι δυνατή η σωστή αποδιαμόρφωση του σήματος.

#### 5.4.2.3 Διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (PSK)

Στη μέθοδο αυτή η φάση του φέροντος σήματος μεταβάλλεται για να απεικονιστεί το bit ενώ η συχνότητα και το πλάτος παραμένουν σταθερά. Η φάση του ημιτονικού φέροντος που μεταβάλλεται συναρτήσει του σήματος πληροφορίας. Η πιο απλή μορφή της είναι η δυαδική PSK (Binary Phase Shift Keying – BPSK) όπου χρησιμοποιούνται δύο φάσεις για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων 0 και 1.

#### 5.4.2.4 Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK)

Είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που παρέχει ένα υψηλό ποσοστό δεδομένων για ένα καθορισμένο ποσοστό σήματος. Το τίμημα είναι ότι ο δείκτης σήματος προς θόρυβο (S/N) στην αποδιαμόρφωση είναι χαμηλός. Το QPSK συνήθως επιλέγεται για ψηφιακή δορυφορική μετάδοση.



#### 5.4.2.5 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Η διαμόρφωση QAM είναι στην ουσία ένας συνδυασμός PSK και διαμόρφωσης πλάτους. Το QAM σήμα έχει τόσες καταστάσεις όσοι είναι οι πιθανοί συνδυασμοί πλάτους και φάσης των φέροντων σημάτων. Π.χ. αν έχουμε 2 διαφορετικές τιμές πλάτους και 4 διαφορετικές φάσεις έχουμε  $2 \times 4 = 8$  διαφορετικές καταστάσεις. Αυτή είναι η διαμόρφωση 8-QAM, στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το λεγόμενο διάγραμμα αστερισμού της (constellation diagram) όπως και της 4-QAM η οποία στην ουσία συμπίπτει με την QPSK

## Βιβλιογραφία

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Ζαχαρίας, Η., (2005),** “ Μοντελοποίηση Δορυφορικού καναλιού”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Καψάλη, Χ., Κωττή, Π., (2003),** “Δορυφορικές Επικοινωνίες”, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Κοκκινάκη, Γ., (2004),** “ Εισαγωγή στις Επικοινωνίες”, Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα
- Κωτσόπουλος, Σ., (2007),** σημειώσεις μαθήματος «Συστήματα Ευρείας Εκπομπής», , Πάτρα
- Κωττής, Π., (2003),** “ Διαμόρφωση και Μετάδοση Σημάτων”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- Millman, J., Χαλκιά, Χ., (1990),** “ Ολοκληρωμένη Ηλεκτρονική”, Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα

### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Patzold M., Wiley, (2002),** “ *Mobile Fading Channels - Modelling, Analysis & Simulation*”,
- Papoulis 3rd edition,** “ *Probability, Random Variables And Stochastic Processes- Papoulis*”
- Goldsmith, A., (2005),** “ *Wireless Communications*”
- Kudelka, O.,** διαφάνειες διαλέξεων του μαθήματος “Δορυφορικές Επικοινωνίες” ,TU Graz
- Bate, R., Mueller, D., White J., (1971),** “*Fundamentals of Astrodynamics*”, Dover Publications, New York
- Maral G., Bousquet M.,** “*Sattelite Communication Systems, Techniques and Technology*” ,
- Gonzales, G., (1984),** “ *Microwave Transistor Amplifiers, Analysis and Design*”, Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall
- Ziemer, R., Peterson, R., Borth, D. (1995),** “ *Introduction to Spread Spectrum Communications*” Prentice – Hall
- Matthei, G., Young, L., Jones, E.M.T.(1980),** “ *Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling Structures*”, Artech House Book
- Saleh, A. A. M., (1981),** “ *Frequency-Independent and Frequency-Dependent Nonlinear*

*Models of TWT Amplifiers*'', IEEE Trans. Comm., vol. COM-29, no. 11, pp. 1715-1720,

November 1981

**Charan, L.**, " *All about Traveling Wave Tube Amplifiers (TWTA)*", *Intuitive Guide to*

*Principles of Communication*''

**Stutzman, W.L., Dishman, W.K.**, " *A simple model for the estimation of rain-induced*

*attenuation along Earth-space paths at millimeters wavelengths*'', Radio

Science, Vol.17, No.6, 1465-1476

**Dissnayake, A., Allnut, J., Haidara, F.**, (1999), " *A prediction model that combines rain*

*attenuation and other propagation impairments along earth satellite paths*'', IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 45, no. 10, October 1997

**Karasawa, Y., M. Yamada M., Allnut J. E.**, (1998), " *A new prediction method for*

*tropospheric scintillation on earth-space paths*'', IEEE Trans. Ant. Propag., 36, 1608-

1614 (1988)

107

**Peeters, G., Marzano, F. S., G. d'Auria, C. Riva C., Vanhoenacker-Janvier D.**,

*Evaluation of statistical models for clear-air scintillation using Olympus satellite measurements*'' Int. J. Sat. Commun., 15, 73-88 (1997)

**Max M.J.L. van de Kamp, Jouni K. Tervonen, Erkki T. Salonen, J. Pedro V.**

**Poiarés Baptista** (1999), " *Improved Models for Long-Term Prediction of Tropospheric*

*Scintillation on Slant Paths*'', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.47, no.

2, February 1999

**Max M.J.L. van de Kamp, Carlo Riva, Jouni K. Tervonen, Erkki T. Salonen**, (1999),

" *Frequency dependence of amplitude Scintillation*'', IEEE Transactions on Antennas and

Propagation, vol.47, no. 1, January 1999

**Tri T. Ha.** « Digital Satellite Communications, » 2nd Edition

Δικτυακός τόπος ESA (European Space Agency)

<http://envisat.esa.int/>

ITU Recommendation ITU-R RPN.618-4, 1996

ITU-R, Report 718-3, 'Effects of tropospheric refraction on radio-wave propagation',

Reports of the CCIR on Propagation in Non-ionized Media, Annex to Vol. V, Geneva

(CH), 1990, pp. 172-176